

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES



Calidad del agua y nivel de eutrofización a través de indicadores de eutrofia del humedal Santa Rosa, Distrito de Chancay, Lima

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES

María Rocío Cervantes Flores

Yessica Magali Caso Revollar

ASESOR

Mario Antonio Anaya Raymundo

Lima, Perú

2024

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos de los Autores

Autor 1

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 3

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 4

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos de los Asesores

Asesor 1

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Asesor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Datos del Jurado

Presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la Obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

***Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).**



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 017 - 2024/UCSS/FCAA/DI

Siendo las 02:00 p.m. del miércoles 10 de abril de 2024 a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------|
| 1. Wilfredo Mendoza Caballero | presidente |
| 2. Segundo Octavio Zegarra Aliaga | primer miembro |
| 3. Bertha Marcelina Ruiz Jange | segundo miembro |
| 4. Mario Antonio Anaya Raymundo | asesor(a) |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada **Calidad del agua y nivel de eutrofización a través de indicadores de eutrofia del humedal Santa Rosa, Distrito de Chancay, Lima** que presentan las bachilleres en Ciencias Ambientales, **María Rocío Cervantes Flores y Yessica Magali Caso Revollar** cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el jurado acuerda:

APROBAR

DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **BUENA** y eleva la presente acta al decanato de la Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

Lima, 10 de abril de 2024.

Wilfredo Mendoza Caballero
Presidente

Segundo Octavio Zegarra Aliaga
1° miembro

Bertha Marcelina Ruiz Jange
2° miembro

Mario Antonio Anaya Raymundo
Asesor(a)

Anexo 2

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE **TESIS** / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO

Lima, 31 de julio de 2024

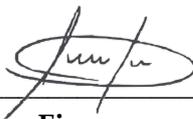
Señor(a),
Wilfredo Mendoza Caballero
Jefe del Departamento de Investigación
Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis** / informe académico/ trabajo de investigación/ trabajo de suficiencia profesional, bajo mi asesoría, con título: Calidad del agua y nivel de eutrofización a través de indicadores de eutrofia del humedal Santa Rosa, Distrito de Chancay, Lima, presentado por YESSICA MAGALI CASO REVOLLAR, con código de estudiante 2015101814, DNI 76698353 y MARÍA ROCÍO CERVANTES FLORES, con código de estudiante 2015101869, DNI 72215618 para optar el **título profesional**/ grado académico de INGENIERO AMBIENTAL ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 0 %**. Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,



Firma

Mario Antonio Anaya Raymundo

DNI N°: 09763452

ORCID: 0000-0002-7423-1595

Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales - UCSS

* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

DEDICATORIA

A Cervantes Rojas Edi Raúl y Flores Rodríguez Dila, mis padres, por ser los principales autores de mi vida, por su inmenso esfuerzo por educarme, aconsejarme, brindarme su apoyo y amor incondicional, fomentando en mí el deseo de superación y de triunfo en la vida, muchos de mis logros fueron gracias a ustedes, incluyendo este trabajo de investigación.

A mis hermanos, quienes fueron mi inspiración y motivo para desarrollarme como profesional (María Cervantes).

Este trabajo lo dedico con mucho cariño a mis padres, por ser las personas más importantes en mi vida, fueron quienes me dieron una buena educación y lucharon día a día para salir adelante, siempre fueron mis buenos consejeros y estuvieron pendientes de mí para lograr mis objetivos (Yessica Caso).

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecemos a Dios por habernos brindado la oportunidad de seguir con nuestra investigación, cuidarnos e iluminarnos a lo largo de nuestros caminos. Así también queremos agradecer a nuestros padres por haber estado siempre pendiente de nosotros, apoyándonos económica y moralmente, brindándonos consejos y buenos ánimos para continuar con nuestro trabajo.

Además, queremos agradecer al Programa Nacional de Beca 18 por darnos la oportunidad de realizar nuestra carrera universitaria y lograr que nos desarrollemos profesionalmente en nuestras vidas.

También queremos agradecer a nuestro asesor Mario Antonio Anaya Raymundo por habernos brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, asimismo, tuvo la predisposición para guiarnos en esta investigación con sus experiencias y sabiduría, para sacar adelante la investigación y culminar satisfactoriamente con el trabajo de tesis.

Asimismo, agradecemos a la Universidad Católica Sedes Sapientiae (UCSS), por habernos aceptado y formar parte de esta casa de estudio, para poder estudiar nuestra carrera, así como también a los diferentes docentes que nos compartieron e impartieron sus conocimientos y apoyo en cada una de las materias.

Nuestro agradecimiento también va dirigido al Ing. José Víctor Ruiz Ccancece docente del curso de seminario de investigación, quien con su apoyo y dedicación pudimos desarrollar y concretar la investigación.

Y para finalizar, agradecemos al Comité de Vigilancia ambiental del humedal Santa Rosa por su apoyo, acompañamiento y brindarnos facilidades para acceder y llevar a cabo el trabajo en campo.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE APÉNDICE	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Bases teóricas especializadas	10
1.2.1. Eutrofización	10
1.2.2. Proceso de eutrofización	11
1.2.3. Causas de la eutrofización.....	14
1.2.4. Consecuencia de la eutrofización.....	19
1.2.5. Definición de humedales	20
1.2.6. Eutrofización en humedales	21
1.2.7. Métodos que determinan el estado trófico.....	22
1.2.8. Calidad del agua	36
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	46
2.1. Diseño de la investigación	46
2.2. Lugar y fecha.....	46
2.3. Características del humedal Santa Rosa.....	47
2.3.1. Hábitat.....	47
2.3.2. Hidrología	48
2.3.3. Flora	48
2.3.4. Fauna.....	49
2.3.5. Características Climáticas	50
2.3.6. Amenazas antrópicas al ecosistema	50
2.4. Población y muestra.....	50

2.4.1.	Población.....	50
2.4.2.	Muestra.....	51
2.5.	Descripción de la investigación.....	52
2.5.1.	Fase preliminar	52
2.5.2.	Fase de campo	53
2.5.3.	Fase de gabinete.....	56
2.6.	Identificación de las variables y su mensuración	57
2.7.	Análisis estadístico de datos.....	59
2.8.	Materiales y equipos	59
CAPÍTULO III: RESULTADOS		61
3.1.	Cuantificar los parámetros físicoquímicos relacionados a los niveles de eutrofización y al índice de calidad del agua del humedal Santa Rosa.	61
3.1.1.	Caracterización de los parámetros <i>in situ</i> del Agua	61
3.1.2.	Caracterización del agua de los parámetros de nivel de eutrofización.....	64
3.1.3.	Caracterización del agua de los parámetros de Índice de Calidad de Agua	66
3.2.	Nivel de eutrofización del humedal Santa Rosa	70
3.3.	Índice de calidad de agua (ICA-PE) del humedal Santa Rosa	72
3.3.1.	Resultados de los parámetros físicos, químicos, biológico y microbiológico en la época húmeda y seca.....	73
3.3.2.	Resultados del cálculo del índice de la calidad de agua (ICA-PE)	76
3.4.	Calidad del agua y el nivel de eutrofización del humedal Santa Rosa.....	79
CAPÍTULO IV: DISCUSION		81
4.1.	Cuantificar los parámetros físicoquímicos relacionados a los niveles de eutrofización y al índice de calidad del agua del humedal Santa Rosa.	81
4.2.	Objetivo N°02: Determinar el nivel de eutrofización del humedal Santa Rosa	91
4.3.	Objetivo N°03: Determinar el Índice de calidad del agua (ICA-PE) del humedal Santa Rosa	95
4.4.	Objetivo 04: Determinar la relación de la calidad del agua y el nivel de eutrofización del humedal Santa Rosa	96
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES		98
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES		100
REFERENCIAS.....		102
TERMINOLOGÍA.....		1177

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Principales causas naturales y antropogénicas de eutrofización</i>	18
Tabla 2. <i>Valores establecidos para el nivel de eutrofización en los cuerpos de agua</i>	24
Tabla 3. <i>Categorías del estado trófico establecido por Toledo</i>	26
Tabla 4. <i>Valores límites establecidos por la OCDE para la categorización de estado trófico</i>	27
Tabla 5. <i>Límites de los niveles de estado trófico propuesto por Lamparelli (2004)</i>	31
Tabla 6. <i>Interpretación de la Calificación ICA - PE</i>	41
Tabla 7. <i>Puntos de muestreo del humedal Santa Rosa, Chancay - Lima</i>	51
Tabla 8. <i>Volumen de muestra de agua en ml para cada parámetro a evaluar</i>	52
Tabla 9. <i>VARIABLES y su mensuración</i>	58
Tabla 10. <i>Estado trófico del humedal Santa Rosa a través de transparencia del disco Secchi (m)</i>	70
Tabla 11. <i>Estado trófico del humedal Santa Rosa a través de la clorofila “a” (ug/L)</i>	71
Tabla 12. <i>Estado trófico del humedal Santa Rosa a través de fósforo total (ug/L)</i>	71
Tabla 13. <i>Estado trófico del humedal Santa Rosa a través de fósforo soluble reactivo (ug/L)</i>	72
Tabla 14. <i>Estado trófico del humedal Santa Rosa a través de indicadores de eutrofia</i>	72
Tabla 15. <i>Resultados de los parámetros evaluados en la época húmeda</i>	74
Tabla 16. <i>Resultados de los parámetros evaluados en la época seca</i>	75
Tabla 17. <i>Niveles de estado de calidad de agua</i>	76
Tabla 18. <i>Resultados del Índice de calidad de Agua ICA-PE en época húmeda</i>	76
Tabla 19. <i>Resultados del Índice de calidad de Agua ICA-PE en época seca</i>	77
Tabla 20. <i>Prueba t – Student para muestras independientes de los parámetros de calidad del agua y eutrofización evaluados según temporada</i>	89
Tabla 21. <i>Análisis de correlación de parámetros de calidad del agua y nivel de eutrofización</i>	80

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Eutrofización Natural e Inducida por el hombre	11
<i>Figura 2.</i> Proceso de eutrofización.....	12
<i>Figura 3.</i> Niveles de eutrofia.....	14
<i>Figura 4.</i> Fuentes de ingreso de nutrientes al sistema acuático.....	18
<i>Figura 5.</i> Distribución de probabilidad de nivel trófico de lagos cálidos tropicales basados en fósforo	29
<i>Figura 6.</i> Distribución de probabilidad de nivel trófico de lagos cálidos tropicales basados en clorofila “a”	29
<i>Figura 7.</i> Estructura química de la clorofila “a”.....	35
<i>Figura 8.</i> Mapa de ubicación del Humedal Santa Rosa, Chancay, Lima.....	47
<i>Figura 9.</i> Reconocimiento y exploración del área de estudio	53
<i>Figura 10.</i> Toma de muestra utilizando embarcación en el humedal Santa Rosa	54
<i>Figura 11.</i> Medición de parámetros in situ	55
<i>Figura 12.</i> Toma de muestras para cada parámetro a evaluar	56
<i>Figura 13.</i> Niveles de potencial de hidrógeno del agua de los 4 puntos de muestreo	61
<i>Figura 14.</i> Concentración de oxígeno disuelto del agua en los 4 puntos de muestreo	62
<i>Figura 15.</i> Temperatura del agua en los 4 puntos de muestreo	63
<i>Figura 16.</i> Transparencia del disco secchi de los 4 puntos de muestreo	63
<i>Figura 17.</i> Concentración de clorofila “a” de los 4 puntos de muestreo	64
<i>Figura 18.</i> Concentración de fósforo total de los 4 puntos de muestreo.....	65
<i>Figura 19.</i> Concentración de fósforo soluble de los 4 puntos de muestreo.....	65
<i>Figura 20.</i> Concentración de clorofila “a” de los 4 puntos de muestreo	66
<i>Figura 21.</i> Concentración de clorofila “a” de los 4 puntos de muestreo	67
<i>Figura 22.</i> Concentración de nitrógeno total de los 4 puntos de muestreo	67
<i>Figura 23.</i> Concentración de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) de los 4 puntos de muestreo	68
<i>Figura 24.</i> Concentración de sólidos suspendidos totales de los 4 puntos de muestreo	69
<i>Figura 25.</i> Concentración de coliformes termotolerantes de los 4 puntos de muestreo	69
<i>Figura 26.</i> Índice de calidad de agua de la temporada húmeda.....	78
<i>Figura 27.</i> Índice de calidad de agua de la temporada seca	78

ÍNDICE DE APÉNDICE

	Pág.
Apéndice 1. Resultados de los parámetros físico - químicos in situ del humedal Santa Rosa: Época húmeda.....	120
Apéndice 2. Resultados de los parámetros físico - químicos in situ del humedal Santa Rosa: Época seca	120
Apéndice 3. Resultados de la transparencia del agua del humedal Santa Rosa: Época húmeda	120
Apéndice 4. Resultados de la transparencia del agua del humedal Santa Rosa: Época húmeda	121
Apéndice 5. Resultados de los parámetros de eutrofia del humedal Santa Rosa: Época húmeda	121
Apéndice 6. Resultados de los parámetros de eutrofia del humedal Santa Rosa: Época seca.....	121
Apéndice 7. Resultados de los parámetros del índice de calidad de agua del humedal Santa Rosa: Época húmeda	122
Apéndice 8. Resultados de los parámetros del índice de calidad de agua del humedal Santa Rosa: Época seca.....	122
Apéndice 9. Resultado de los parámetros para el índice de calidad de agua (ICA-PE) de las dos épocas evaluadas del humedal Santa Rosa, Chancay	123
Apéndice 10. Cálculo de los excedentes de cada parámetro, factores y valor de índice de calidad de agua (ICA-PE) de las dos épocas evaluadas del humedal Santa Rosa, Chancay.....	124
Apéndice 11. Mapa de ubicación de puntos de muestreo de la época húmeda del humedal Santa Rosa.....	125
Apéndice 12. Mapa de ubicación de puntos de muestreo de la época seca del humedal Santa Rosa	126
Apéndice 13. Mapa de puntos de monitoreo con resultados del ICA-PE de la época húmeda del humedal Santa Rosa	127
Apéndice 14. Mapa de puntos de monitoreo con resultados del ICA-PE de la época seca del humedal Santa Rosa.....	128
Apéndice 15. Informe del laboratorio de los parámetros de eutrofia correspondiente a la época húmeda.....	129

Apéndice 16. Informe del laboratorio de parámetros de eutrofia correspondiente a la época seca	132
Apéndice 17. Informe del laboratorio de parámetros de calidad de agua correspondiente a la época seca.....	135
Apéndice 18. Informe del laboratorio de parámetros de calidad de agua correspondiente a la época seca.....	138
Apéndice 19. Flujograma de analisis de clorofila “a” en el laboratorio	141
Apéndice 20. Flujograma de analisis de fosforo soluble reactivo en el laboratorio	142
Apéndice 21. Flujograma de analisis de fosforo total en el laboratorio	143
Apéndice 22. Flujograma de analisis de Coliformes Fecales (termotolerantes) en el laboratorio	144
Apéndice 23. Flujograma de analisis Sólidos Suspendidos Totales -SST en el laboratorio.....	145
Apéndice 24. Flujograma de análisis de Nitrógeno Total en el laboratorio.....	146
Apéndice 25. Flujograma de análisis de Nitrógeno Total en el laboratorio.....	147
Apéndice 26. Permiso Otorgado por el Comité de vigilancia Ambiental del Humedal Santa Rosa para el desarrollo de la presente investigación.....	148
Apéndice 27. Registro Fotográfico de la investigación	149

RESUMEN

La presente investigación fue de alcance descriptivo y correlacional, tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua y el nivel de eutrofización a través de indicadores de eutrofia del humedal Santa Rosa, ubicado en el distrito de Chancay, provincia de Huaral, región Lima. Para el estudio se tomaron muestras de agua en cuatro puntos de monitoreo (P1, P2, P3 y P4) y se realizaron en dos épocas del año, época húmeda (mes de agosto de 2021) y época seca (mes de enero de 2022), los puntos de muestreo fueron ubicados según los criterios establecidos en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos superficiales. Para el análisis y desarrollo de la investigación se emplearon las metodologías: Índice de Estado Trófico de Carlson modificado por Toledo, donde se evaluaron 4 parámetros (clorofila “a”, fósforo total, fósforo soluble reactivo y transparencia del agua (disco Secchi)) y el Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) en la que se analizaron 8 parámetros (clorofila “a”, nitrógeno total, fósforo total, pH, DBO₅, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales y coliformes termotolerantes). Los resultados del nivel de eutrofización demostraron una clara tendencia del humedal de mesotrófico (P1 y P4) a eutrófico (P2 y P3) en la temporada húmeda, mientras que, en la temporada seca el humedal se clasificó como eutrófico. Los resultados del ICA-PE mostraron valores con un nivel de sensibilidad en el rango de 44 - 74 para las dos temporadas evaluadas (húmeda y seca), denominando la calidad del agua como “MALO y REGULAR”. Se concluyó que, la calidad del agua y el nivel de eutrofización del humedal presentaron una correlación significativa de los parámetros tales como: fósforo total, nitrógeno total y temperatura, además que las actividades antropogénicas influyeron negativamente en la calidad del agua del humedal Santa Rosa, afectando la conservación del ambiente acuático.

Palabras clave: *Calidad de agua, eutrofia, humedal Santa Rosa, ICA-PE, IET y nivel de eutrofización.*

ABSTRACT

The present research was descriptive and correlational, whose objective was to evaluate the water quality and the level of eutrophication through eutrophic indicators of Santa Rosa wetland, located in Chancay district, Huaral province in Lima region. For the present study, water samples were taken at four monitoring points (P1, P2, P3, and P4) and at two seasons of the year: Wet season (august 2021) and dry season and dry season (january 2022), the sampling points were located according to the criteria of the National Protocol for Monitoring the Quality of Surface Hydrological Resources. For the analysis and development of the research the methodologies were used: The Carlson Trophic State Index modified by Toledo where 4 parameters were evaluated (chlorophyll "a", total phosphorus, reactive soluble phosphorus, and transparency of water (secchi disk)) and the Water Quality Index (ICA-PE), in which 8 parameters were analyzed (chlorophyll "a", total nitrogen, total phosphorus, pH, DBO₅, dissolved oxygen, total suspended solids, and thermotolerant coliforms). The upshots of the eutrophication level demonstrated a clear tendency from mesotrophic (P1 and P4) to eutrophic (P2 and P3) in the wet season of the Santa Rosa wetland. In addition, in the dry season, the wetland was classified as eutrophic. The upshots of the ICA-PE showed values with a sensitivity level in the range of 45-74 for the two evaluated seasons (wet and dry), calling the quality of the water as "REGULAR and BAD". It was concluded that water quality and the level of eutrophication of Santa Rosa wetland presented a significant correlation of parameters such as total phosphorus, total nitrogen, and temperature and that anthropogenic activities negatively influenced the water quality of Santa Rosa wetland, affecting the conservation of the aquatic environment.

Key words: *Eutrophy, eutrophication level, ICA-PE, IET, parameter analysis, Santa Rosa wetland and water quality.*

INTRODUCCIÓN

Los humedales son sistemas naturales fundamentales para la subsistencia de los seres vivos, ya que brindan recursos productivos y naturales como agua dulce, alimentos, medicamentos, fibras, entre otros (Convención de Ramsar sobre humedales [Ramsar], 2018).

Además, los humedales son ecosistemas que albergan gran cantidad de especies de flora y fauna y generan un beneficio económico para la población aledaña, ya que funcionan como lugares de recreación y turismo. También es importante mencionar que cumplen las funciones de prevenir las inundaciones, porque retienen gran cantidad de agua, regulación del clima, conservación de la biodiversidad y mantenimiento de banco genético y el mantenimiento de valores paisajísticos, culturales y sociales (Lopez *et al.*, 2010).

Sin embargo, a pesar de la importancia que estos ecosistemas tienen, están sufriendo un proceso de eutrofización provocado por las actividades antrópicas como la agricultura, ganadería y vertimiento de aguas residuales provocando el incremento de nutrientes al sistema acuático (Goyenola, 2007).

Los humedales costeros del Perú reúnen características únicas y sirven como corredores biológicos que permiten el descanso y abastecimiento para las aves migratorias. Además, en su gran mayoría, estos ecosistemas acuáticos proporcionan recursos para las poblaciones aledañas, pero muchos de ellos no hacen un aprovechamiento sostenible de los productos y vierten aguas servidas y desechos orgánicos, provocando alteraciones en el medio (Aponte y Ramírez, 2011).

El humedal Santa Rosa forma parte de uno de los humedales costeros y representa un área ecológica con gran biodiversidad del distrito de Chancay, convirtiéndose en el pulmón más importante de la costa norte de Lima, la cual incluye también marismas y zonas inundadas con agua salada (Alcántara *et al.*, 2009).

Considerando lo mencionado anteriormente sobre las actividades antropogénicas que se desarrollan dentro o cerca del ecosistema de humedal, normalmente están asociadas a la eutrofización, la cual consiste en el aumento de nutrientes específicamente del nitrógeno, fósforo y clorofila “a”, generando una limitación y degradación en el ecosistema conllevando de un estado oligotrófico a eutrófico.

Por lo tanto, el propósito de esta investigación es determinar la calidad del agua mediante el ICA-PE y evaluar el nivel de eutrofización del humedal Santa Rosa mediante indicadores de eutrofia (fósforo total, clorofila “a”, fósforo soluble reactivo y disco Secchi), establecidos por el método TSI de Carlson modificado por Toledo, que fueron estandarizado por diferentes países y acoplados para climas tropicales.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la calidad del agua y el nivel de eutrofización a través de indicadores de eutrofia del humedal Santa Rosa, Chancay –Lima.

Objetivos específicos

- Cuantificar los parámetros físicoquímicos relacionados a los niveles de eutrofización y al índice de calidad del agua del humedal Santa Rosa.
- Determinar el nivel de eutrofización del humedal Santa Rosa.
- Determinar el índice de calidad del agua del humedal Santa Rosa.
- Determinar la relación de la calidad del agua y el nivel de eutrofización del humedal Santa Rosa.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Internacionales

Vera y Zambrano (2021) investigaron el “Grado de eutrofización del humedal La Segua”, Calceta, Ecuador; cuyo objetivo fue evaluar el grado actual de eutrofización del mencionado recurso hídrico. La investigación fue de tipo descriptiva. Establecieron 12 puntos de muestreo, las cuales fueron ubicadas en la superficie del humedal, donde analizaron los parámetros fisicoquímicos de clorofila “a”, fósforo total y la transparencia (turbidez) del agua a través del disco Sechi. El estudio fue realizado en los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero del año 2021. Para el desarrollo de la investigación aplicaron la metodología de estado trófico de Carlson, modificado por Toledo – TSI y el índice de estado trófico modificado por Lamparelli. La comparación estadística empleada por los investigadores fue el análisis de varianza (ANOVA). El resultado obtenido para el grado de eutrofización del primer método (metodología de estado trófico de Carlson, modificado por Toledo – TSI) fue de 91,09 categorizando el humedal como eutrófico, mientras que el segundo método (índice de estado trófico modificado por Lamparelli), tuvo un valor de 76,17 clasificando al sistema acuático como hipertrófico, además, estadísticamente fue comprobado que no existe una diferencia significativa entre los meses que duró la investigación. Por lo tanto, la investigación concluyó que, en las zonas de descargas por las camaroneras se observan valores más elevados de eutrofización con respecto a la zona céntrica del espejo de agua.

Zambrano (2018) evaluó el “Grado de eutrofización de la laguna natural El Carmen y su situación con las épocas del año”, Calceta, Ecuador. La investigación fue de tipo no experimental. La técnica de recolección de datos estuvo basada en la observación registrada

El estudio contempló la aplicación del índice de estado trófico de Carlson modificado por Toledo (IET). Para ello, el autor estableció tres puntos de muestreos durante las épocas de verano e invierno, donde midió los parámetros físicos *in situ* (conductividad eléctrica, temperatura, transparencia del agua, pH y oxígeno disuelto), mientras que, los parámetros químicos fueron analizados en el laboratorio basado en los criterios de la norma ISO 17025 (fósforo total, nitrógeno, clorofila “a”), de mismo modo, los parámetros microbiológicos (microalgas). Los resultados obtenidos fueron los siguientes: para la época seca la laguna presentó un estado oligotrófico con 42,71 $\mu\text{g/L}$ y para la época lluviosa presentó un estado eutrófico con 58,75 $\mu\text{g/L}$. Estos valores permitieron concluir que la laguna presentó afecciones por exceso de nutrientes y proliferación de algas, la cual conlleva la muerte de los organismos benéficos de la laguna.

Pulido-López *et al.* (2017) realizaron el estudio de “Evaluación del estado trófico de El Salitre, último humedal urbano de referencia en Bogotá”, Colombia; que tuvo como objetivo determinar el estado trófico del humedal a partir de indicadores de eutrofia. Establecieron tres puntos de muestreo en dos periodos climáticos en febrero y mayo del 2014. La metodología consistió en la aplicación de los índices de estado trófico de Nygaard para la composición taxonómica del fitoplancton y el índice de estado trófico planctónico (ITP) de Barbe e Índice de estado trófico (TSI) de Carlson, mediante los cuales analizaron y determinaron las concentraciones de nutrientes en laboratorio (compuestos nitrogenados y los ortofosfatos) y de clorofila “a” fitoplanctónica; además, analizaron parámetros tales como: temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, alcalinidad, acidez total, dureza total, DBO_5 y la transparencia del agua. Los resultados de las variables físico-químicas y biológicas demostraron que el humedal El Salitre fue encontrado en un estado oligotrófico a mesotrófico en los dos periodos climáticos, debido a las bajas concentraciones de compuestos nitrogenados, en cuanto a los índices fitoplanctónicos la especie con dominancia fue desmidias (Conjugatophyceae). Finalmente, basados en los resultados obtenidos concluyeron que este humedal presentó concentraciones bajas de nutrientes en comparación a otros humedales urbanos que existen en Bogotá, clasificándose de oligotrófico a mesotrófico para los compuestos nitrogenados y para los ortofosfatos en un nivel eutrófico.

Moreira y Sabando (2016) en la investigación “Determinación del nivel de eutrofización del embalse Sixto Duran Ballén mediante índices de estado trófico”, Calceta, Ecuador; tuvieron como objetivo conocer el estado trófico del embalse Sixto Durand Bellén en el Cantón de Bolívar. El estudio fue no experimental de carácter inductivo. La metodología aplicada por los autores fue el índice de estado trófico de Carlson adaptado por Toledo para zonas tropicales. Para ello, establecieron cinco puntos de muestreo, tres fueron ubicados en la desembocadura de los ríos principales como Río Grande, Río Barro y Caña Grande y dos puntos fueron ubicados en la parte central del embalse, el muestreo fue realizado en los tres últimos meses del año 2015 (octubre, noviembre y diciembre). Los parámetros medidos (*in situ* y laboratorio) fueron: pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, clorofila “a”, fósforo total y profundidad. El análisis de los datos fue mediante la aplicación del estudio estadístico de ANOVA (análisis de varianza con un factor). Los resultados obtenidos del IET fue de 82, lo cual indica que el embalse fue encontrado en un nivel eutrófico, por otro lado, los autores comprobaron estadísticamente que no existe variación del IET en los puntos de efluentes al embalse. En tal sentido, los autores concluyeron que el embalse Sixto Duran Ballén, presentó un estado trófico debido a las altas concentraciones de fósforo y clorofila “a”.

Nacionales

Quiroz-Santos y Mendoza-Caballero (2022) en la investigación “Evaluación de los estados tróficos de la laguna principal del Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo (ACRAMM)” Huara-Lima, Perú; tuvieron como objetivo evaluar los estados tróficos de la laguna principal de ACRAMM, en ese sentido, la metodología aplicada por los autores fue utilizar el Estado trófico de Carlson modificado por Toledo (IETM) y la formulación de modelos matemáticos para fosforo total del agua, en el cual, se estableció como variable dependiente el parámetro e independiente las reflectancias de imágenes Sentinel-2. Para tal efecto, se fijo 20 puntos distribuidas estratégicamente en el espejo de agua mas grande del ACRAMM, el muestreo se realizó en el mes de enero de 2019, donde se evaluó parámetros tales como: transparencia de disco secchi, clorofila “a” y fosforo total. Los resultados obtenidos por los investigadores señalan que durante las 5 primeras fechas evaluadas el cuerpo de agua se clasifica como eutrófico ($IETM_{PT} > 65,56$), mientras que en la ultima evaluación resultaron oligotrofico a eutrófico ($IETM_{PT} = 32,29 - 56,99$). Los autores concluyeron que, el estado trofico del ACRAMM se encuentra en la categoría mas alta del

índice, debido a fuentes contaminantes tales como: desague agrícola, vertimiento de aguas residuales industriales, poza de oxidación del Centro Poblado de Medio Mundo, estaciones de bombeo de agua instaladas en áreas adyacentes, actividades de pastoreo y turísticos.

Choque y Jalisto (2021) realizaron una investigación que consistió en la “Evaluación del grado de eutrofización de la laguna de Huatata - Chincheros”, Cusco, Perú; la cual tuvo como objetivo evaluar y analizar el grado de eutrofización de la laguna. El diseño de la investigación tuvo un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo), el tipo de estudio que abarcaron los autores correspondió al nivel descriptivo y analítico. La población estuvo constituida por el volumen de agua de la laguna. Establecieron 5 puntos de muestreo considerando las técnicas de identificación y trazado de transectos longitudinales, donde evaluaron indicadores biológicos (clorofila) y químicos (nitrógeno total y fósforo total), estos fueron analizados mediante tres métodos: la OECD (1982), APHA (1981) y Carlson (1977). Los resultados obtenidos con la metodología OECD (1982) indicaron que las concentraciones de clorofila y fósforo total ubicaron a la laguna en un estado hipertrófico, mediante la metodología del APHA (1981) resaltaron que el nitrógeno fue mayor a lo permitido, lo cual clasificó a la laguna en un estado Eutrófico y para Carlson (1977), la clorofila, nitrógeno total y fósforo total fueron mayores a lo establecido, por lo que mostraron una tendencia de mesotrófico a hipertrófico. La investigación concluyó que el estudio clasifica a la laguna Huatata en un grado de eutrofización de eutrófico a hipertrófico por los tres métodos, asimismo, señalan que la causa principal de la eutrofización es generada por la actividad agrícola y ganadera.

Ayala *et al.* (2021) realizaron un estudio sobre la “Evaluación de la calidad del agua en los canales de la Zona de Reglamentación Especial de los Pantanos de Villa”, Lima, Perú; donde el objetivo fue analizar la calidad de agua de los canales Ganaderos 1 y Vista Alegre 2, las cuales son de abastecimiento para el mencionado ecosistema. Para ello, establecieron 3 puntos de monitoreo donde analizaron los siguientes parámetros: pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, coliformes totales, *Escherichia coli*, fósforo, nitrato, DBO₅ (demanda bioquímica de oxígeno), oxígeno disuelto, aceites y grasas, detergentes y metales tóxicos. La metodología para la evaluación y comparación de la calidad del agua fue mediante el ECA-Agua (categoría 3 y 4), mientras que para la

determinación del índice de calidad del agua fue a través de la Unión Europea (ICA – UWQI). Los resultados obtenidos para el pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica, evidenciaron que la calidad del agua fue encontrada dentro del rango establecido por el ECA-Agua, mientras que los parámetros (nitrato, fósforo, DBO₅, oxígeno disuelto y *Escherichia coli*) no cumplieron con el ECA-agua respectivo, asimismo, para el ICA-UWQI obtuvieron un valor de 45,63, lo cual indica que los canales presentaron una clasificación marginal. El estudio concluyó que la calidad del agua de los canales Ganaderos 1 y Vista Alegre 2 no cumplen con los estándares de calidad, ya que los parámetros analizados exceden el límite permitido, siendo un problema para la población aledaña.

Chacón (2020) realizó la investigación “Evaluación de la biodiversidad de los Humedales de Ventanilla”, Lima, Perú; cuyo objetivo fue analizar la calidad del agua y cómo la acción humana afecta a la biodiversidad de este ecosistema. El alcance de la investigación fue de tipo descriptivo, explicativo con un enfoque cualitativo. La técnica empleada en el estudio fue la observación registrada, mientras que los instrumentos de recopilación de datos fueron la encuesta y utilización de imágenes satelitales. La población del estudio estuvo constituida por el distrito de Ventanilla y la biodiversidad de la flora y fauna del humedal, para determinar la muestra consideró la cantidad de habitantes de los asentamientos humanos y la flora y fauna presentes en el área de estudio. Para el desarrollo de la investigación, estableció 4 puntos de monitoreo, estos fueron ubicados de manera estratégica y los parámetros analizados fueron: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), amoníaco, fósforo total, pH, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, metales totales y coliformes termotolerantes. Para el análisis de estos parámetros utilizó la metodología del ICA-PE, propuesta por la Autoridad Nacional del Agua y los valores obtenidos de cada uno de ellos fueron comparadas con el ECA-Agua, perteneciente a la categoría 4: conservación de ambiente acuático; subcategoría E1 Lagos y lagunas. Los resultados obtenidos para el ICA-PE mostraron que tres puntos de monitoreo la calidad del agua se encontró en estado regular, mientras que un punto se clasificó como malo. Finalmente, la investigadora concluyó que el Área de Conservación Regional humedales de Ventanilla no se encuentra en estado óptimo para la categoría de conservación del ambiente acuático, ya que los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para un punto de muestreo calificaron como malo.

Huaman *et al.* (2020) en la investigación “Evaluación de la calidad del agua de la laguna Marvilla en los Pantanos de Villa”, Lima, Perú; tuvieron como objetivo evaluar la calidad del agua de la laguna. Para ello, establecieron tres puntos de muestreo y analizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos: pH, conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto, nitratos, fósforo total, amoníaco total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y coliformes termotolerantes. Estos parámetros fueron comparados con los estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, además, aplicaron la metodología propuesta por la Autoridad Nacional del Agua, para determinar el ICA-PE. Los resultados obtenidos determinaron que 5 parámetros evaluados no cumplieron con los límites establecidos por el ECA-agua (fósforo total, nitratos, amoníaco total, demanda bioquímica de oxígeno y coliformes termotolerantes); así mismo, el valor obtenido para el ICA-PE fue de 46,3 categorizando la calidad del agua de la laguna como regular. En tal sentido, concluyeron que la laguna Marvilla presentaba una calidad de agua regular y que ocasionalmente fue amenazada o dañada.

Alvarez (2016) desarrolló un estudio “Determinación analítica de detergentes en las aguas de los Pantanos de Villa”, Lima, Perú; cuyo objetivo fue determinar la concentración de detergentes de las aguas de los principales canales de abastecimiento y de las lagunas de los Pantanos de Villa debido al uso de detergentes por la población vecina, asimismo, determinó el contenido de los nutrientes indicadores de eutrofización en las lagunas. La investigación fue desarrollada en la época de verano e invierno, donde establecieron 13 estaciones de monitoreo, las muestras fueron preservadas cuidadosamente y los análisis fueron realizados mediante técnicas analíticas estandarizadas basadas en el método APHA y norma ASTM 3590-89. Además, para catalogar el estado trófico de las lagunas, la investigadora empleó la clasificación de lagos según la concentración de fósforo adaptado de Reddy y Delaunde (2008) donde evaluó los parámetros de nitrógeno, fósforo disuelto y fósforo total para determinar el nivel de eutrofización, a su vez, analizó parámetros tales como: pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y detergentes. El análisis estadístico de los datos fue analizado mediante correlación entre los parámetros de estudio a través del programa SPSS 22.0. Los resultados presentados mostraron que los niveles de pH exponen una tendencia a un nivel básico, la conductividad eléctrica sobrepasó el ECA agua establecido por el MINAM, las concentraciones de los nutrientes como el nitrógeno y fósforo

clasificaron a las lagunas en estado hipereutrófico y la concentración de detergentes alcanzaron niveles considerados tóxicos para la vida acuática. Por la cual, concluyó que las lagunas de los Pantanos de Villa presentan altos contenidos de concentraciones de los parámetros evaluados debido al desarrollo de diferentes actividades antropogénicas en los efluentes de abastecimiento provenientes de la zona urbana, ocasionando que la vida acuática disminuya y se genere una proliferación de macrófitas.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Eutrofización

Definición

La palabra eutrofización proviene del vocablo griego “eu” que significa “bien”, “trofé” que significa: nutrición y alimentación, y el sufijo “ción” es como resultado de la acción, entonces el significado de la palabra eutrofización es resultado de un cuerpo de agua bien nutrido (Aranda, 2004).

La eutrofización consiste en la cantidad excesiva y proliferación de materia orgánica en el agua que ocasiona el incremento rápido de la materia vegetal que, por descomposición e impedimento del ingreso de la luz solar, provoca una disminución del oxígeno necesario para la vida animal y, en consecuencia, la disminución de la actividad biológica de estos ambientes acuáticos (Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina [RAP-ALT-AL], 2010).

La eutrofización es el resultado de la contaminación de los ecosistemas acuáticos como: ríos, lagos, lagunas, embalses, mares, arroyos, pantanos, entre otros, a causa del desarrollo de las diferentes actividades que realiza el hombre. En consecuencia, la eutrofización se basa en el enriquecimiento de las aguas con nutrientes de manera acelerada, la cual, conlleva a una multiplicación excesiva de algas y otras plantas acuáticas, las mismas que al morir se depositan en el fondo de estos ecosistemas, ocasionando residuos orgánicos las

cuales empiezan a descomponerse para luego consumir gran parte del oxígeno disuelto, produciendo asfixia de la vida acuática (Goitía y Romero, 2011).

En otras definiciones, se llama eutrofización al deterioro de la calidad del recurso agua por el exceso de nutrientes y materia orgánica que ingresa del exterior hacia un sistema acuático y que se caracteriza por el estancamiento de sus aguas, la cual altera de manera temporal su equilibrio, las características del sistema, la vida acuática y en su sucesión (Margalef, 1981, como se citó en Moreno *et al.*, 2010). También Kitsiou y Karydis (2011) consideran como una alteración negativa que causa un desequilibrio en el ecosistema acuático donde habitan distintos organismos. En consecuencia, origina elevados costos económicos, sociales y de salud. En la Figura 1 se muestra el proceso de eutrofización natural y producido por el hombre:

Figura 1

Eutrofización Natural e Inducida por el hombre



Nota. Roldán y Ramírez (2008).

1.2.2. Proceso de eutrofización

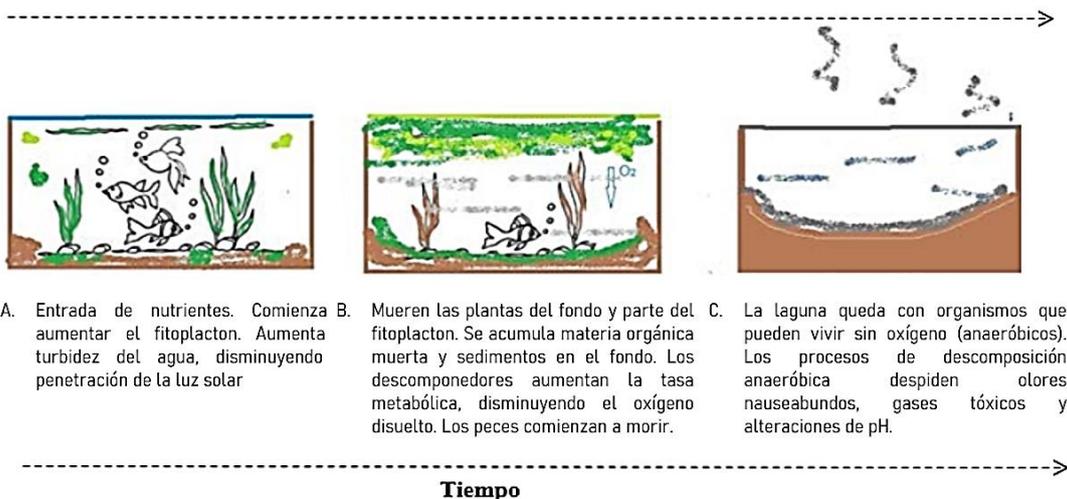
El proceso de eutrofización de un ecosistema inicia cuando un sistema acuático recibe alta carga de nutrientes formados principalmente por nutrientes de fósforo y nitrógeno que son transportados por distintas fuentes, ya sea de manera natural (ríos que arrastran materia orgánica de los aluviones) o antrópica (materiales de campos agrícolas, restos de fertilizantes y plaguicidas, aguas residuales, materiales de construcción y otros.) Posteriormente, este aporte significativo de nutrientes producirá el crecimiento acelerado de plantas acuáticas,

algas y bacterias, por lo que muchos de estos organismos fotosintéticos tendrán materia prima para funcionar y proliferar, produciendo el color verde típico de las aguas eutrofizadas. Esta proliferación y concentración masiva del fitoplancton formará una capa en la superficie del agua acaparando e impidiendo el ingreso de la luz solar, limitando la productividad en las capas inferiores, es decir, las plantas y organismos sumergidos no podrán realizar fotosíntesis (Ansaldi y Páez, 2017). En consecuencia, disminuirá el nivel de oxígeno disuelto en el agua produciendo una turbidez y una primera mortandad masiva de plantas. Luego, las plantas al morir se depositan en el fondo de estos ecosistemas, produciendo mayor cantidad de materia en descomposición, sobre el cual actúan bacterias descomponedoras, estas aumentarán rápidamente su actividad metabólica consumidora de oxígeno disuelto, modificando las condiciones del ambiente y restringiendo la vida acuática. Asimismo, el aporte de sedimentos en el fondo del ecosistema acuático reducirá la profundidad del medio del espejo de agua generando un proceso anóxico, convirtiéndose en un ecosistema anaeróbico y en consecuencia se emanan gases tóxicos principalmente: el metano (CH_4) y el amoníaco (NH_3), motivo por el cual se percibe olores pútridos. Por tanto, esto conduce a una degradación del medio acuático (Ansaldi y Páez, 2017). En la Figura 2 se muestra de manera gráfica y descriptiva el proceso de eutrofización.

Figura 2

Proceso de eutrofización

Entrada de alta carga de nutrientes (N y P)



- A. Entrada de nutrientes. Comienza a aumentar el fitoplancton. Aumenta turbidez del agua, disminuyendo penetración de la luz solar
- B. Mueren las plantas del fondo y parte del fitoplancton. Se acumula materia orgánica muerta y sedimentos en el fondo. Los descomponedores aumentan la tasa metabólica, disminuyendo el oxígeno disuelto. Los peces comienzan a morir.
- C. La laguna queda con organismos que pueden vivir sin oxígeno (anaeróbicos). Los procesos de descomposición anaeróbica despiden olores nauseabundos, gases tóxicos y alteraciones de pH.

Tiempo

Nota. Ansaldi y Páez (2017).

Al respecto Goyenola (2007) menciona que:

Los sistemas acuáticos pueden clasificarse en oligotrófico (pobre en nutrientes), mesotrófico (estado intermedio) y eutrófico (rico en nutrientes). Un cuarto estado, el distrófico se define por una elevada concentración de sustancias húmicas (aguas marrón-amarillentas) y es independiente de la carga de nutrientes. (p.2)

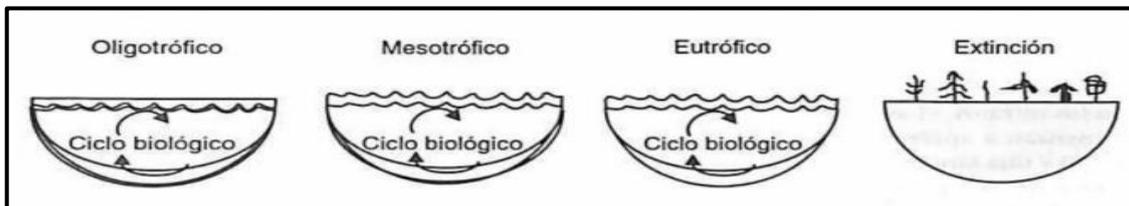
Moreno *et al.* (2010) los procesos de eutrofización son los siguientes:

- **Oligotrófico:** Son sistemas acuáticos que contienen bajas cantidades de nutrientes, por lo que el nivel de productividad de los seres vivos es escaso. El agua es transparente y con suficiente oxígeno para la diversidad de flora y fauna, por ende, el proceso de la fotosíntesis se realiza con normalidad. El fondo de estos ecosistemas está compuesto de arena.
- **Mesotrófico:** Sistemas acuáticos con características intermedias de contenido de nutrientes entre oligotrófico (alto) y eutrófico (bajo), por lo que, existe un nivel moderado de producción biológica en el agua. También el agua es clara y hay presencia de plantas acuáticas.
- **Eutrófico:** Son sistemas acuáticos que contienen gran cantidad de nutrientes, por lo que existe una excesiva producción de seres vivos y plantas acuáticas. En este nivel de eutrofia existe un gran potencial de desarrollo de la vida acuática.
- **Hipertrófico:** Sistemas acuáticos con características altísimas de suministro de nutrientes y excesiva productividad biológica, por lo que, la claridad del agua es muy pobre, los niveles de oxígeno disuelto son bajos, se producen zonas muertas y albergan gran cantidad de vida silvestre.

En la Figura 3 se presentan los niveles de eutrofia según lo descrito líneas arriba

Figura 3

Niveles de eutrofia



Nota. Sawyer (1996) como citó Roldán y Ramírez (2008).

1.2.3. Causas de la eutrofización

La eutrofización en los ecosistemas acuáticos se presenta debido a los impactos ocasionados por diferentes actividades que realiza el hombre, tales como la agricultura, el vertimiento de aguas residuales y la urbanización. También, es ocasionado de forma natural, ya que, el aumento de nutrientes en el cuerpo de agua puede proceder de la erosión natural y de las escorrentías de las cuencas adyacentes, la cual afecta la calidad del agua (Arohuana, 2016).

Según Mateu (2016) la eutrofización se origina de dos maneras:

- **Natural**

La eutrofización en los sistemas acuáticos puede ser causado por procesos naturales que se va generando lentamente (miles de años), progresiva e independientemente de la actividad humana por aportes de nutrientes (fosfatos y nitratos), provenientes principalmente de escurrimientos, erosión natural y precipitación de las cuencas altas o circundantes, el cual, tenderá a sufrir un proceso de colmatación y acumulación de materia orgánica y consecuentemente, el sistema acuático se orienta a desaparecer con el pasar del tiempo (Mateu, 2016; García y Miranda, 2018).

- **Antropogénica**

La eutrofización de origen antropogénico se desarrolla de manera acelerada en las zonas costeras y en los sistemas acuáticos lénticos, ya que, estos ecosistemas acumulan gran cantidad de materiales contaminantes (fenoles, cianuros, cromo y detergentes) (Raffo y Ruiz, 2014). Estos materiales son transportados por diversas vías, tales como: descarga de residuos, uso de fertilizantes, vertidos de aguas residuales, la minería, etc., las cuales contienen alta carga de nutrientes (Soncco y Álvarez, 2020). En tal sentido, la alta carga de nutrientes genera una sobre fertilización que destruye el equilibrio de estos sistemas acuáticos, en relación de la producción de nutrientes y asimilación por productores primarios (Chapa y Guerrero, 2010).

Según Carpenter *et al.* (1998) los compuestos químicos que ingresan a los ecosistemas son provenientes de fuentes puntuales o no puntuales. Las de origen puntual provienen de la descarga de efluentes de plantas de tratamiento municipales e industriales, los cuales tienden a ser continuos por lo que son fáciles de identificar, monitorear y regular periódicamente. Las de origen no puntual proceden de diferentes actividades que generan cambios en el medio, por el ingreso de materiales a través de flujos superficiales o filtraciones a través de la atmósfera, los cuales también pueden ser continuos, pero, frecuentemente son irregulares tales como: actividades agrícolas de condición estacional, eventos de lluvias, expansión de áreas urbanas, la acuicultura, granjas, fábricas de porcino, etc. Por consiguiente, las fuentes no puntuales son difíciles de medir e identificar.

A continuación, se describen las causas principales de la eutrofización en ambientes acuáticos:

- **Actividades agrícolas**

La causa de la degradación del ecosistema acuático se debe al exceso de fertilizantes de fósforo (P) y nitrógeno (N) provenientes de productos químicos y estiércol de animales, las cuales son aplicadas en las áreas agrícolas, por tanto, todos estos macronutrientes en exceso que ingresan tienden a acumularse y permanecer en el suelo o ser arrastrados a las aguas

superficiales o subterráneas por efecto de la erosión y lixiviación. También pueden ingresar a la atmósfera, por ejemplo, el N entra a la atmósfera mediante la volatilización del amonio y mediante la producción de óxidos de nitrógeno gaseoso por la actividad microbiana en el suelo. El nitrógeno volatilizado a la atmósfera es arrastrado por la lluvia o depositado en formas secas sobre el agua o suelo (Carpenter *et al.*, 1998). En tal sentido, Romero (2010) señala que las actividades agrarias influyen en la eutrofización, específicamente por el uso de abonos y residuos originados por la actividad ganadera.

- **Actividades ganaderas**

Con respecto a las actividades ganaderas Díaz y Sotomayor (2013), señalan que la crianza de ganado cerca al humedal es una de las principales causas para la eutrofización, Cabos *et al.* (2019) el estiércol del ganado contiene gran cantidad de fósforo y nitrógeno (nutrientes esenciales para un proceso de eutrófico), por lo que un gran número de animales genera una enorme cantidad de deposición de residuos, lo cuales pueden ser aplicados en las tierras agrícolas, sin embargo, la cantidad de estiércol generado en las ganaderías exceden la cantidad de uso necesario en los suelos agrícolas, ya que, muchos cultivos pueden no aprovechar estos nutrientes, por lo que el exceso de los estiércoles se incorpora al suelo, transportándose mediante escorrentía o se infiltra en las napas freáticas. En el caso de nitrógeno (N) pueden entrar a la atmósfera, mientras el fósforo (P), en su mayoría es transportado como partículas, el cual puede convertirse en fosfato y quedar disponible para los organismos acuáticos (Carpenter *et al.*, 1998).

- **Fuentes urbanas**

El crecimiento constante de la densidad demográfica en las ciudades, requiere de distribución sostenible de agua, en tal sentido, el agua satisface muchas necesidades básicas (preparación de alimentos, higiene y servicios de saneamiento), sin embargo, en Latinoamérica el 70 % del agua es usada y devuelta completamente contaminada a los cuerpos receptores sin ningún tratamiento (Larios *et al.*, 2015). Por ende, las actividades urbanas e industriales también son una de las causas de eutrofización de origen puntual en ambientes acuáticos, por lo que vierten productos primarios como nitrógeno, fósforo y detergentes, las cuales forman aguas residuales domésticas e industriales. Estos nutrientes y

minerales contaminantes contribuyen a la degradación de los ecosistemas acuáticos (Jimenez *et al.*, 2016).

- **Residuos urbanos**

En las zonas urbanas la eutrofización se genera a causa de vertimiento de diversos productos químicos de limpieza y lavado de prendas, desde el uso de detergentes, suavizante, lejía, ambientadores, blanqueadores, jabones, perfumes y otros, generalmente son productos contaminantes cuando se vierten o se arrojan a los cuerpos de agua sin previo tratamiento. Los detergentes son productos sintéticos, derivado del petróleo, una mezcla de muchas sustancias donde los principales ingredientes de sus formulaciones de detergentes son los altos niveles de fósforo procedentes del tripolifosfato, por lo que ocasionan la eutrofización de los ambientes acuáticos (Jurado *et al.*, 2017).

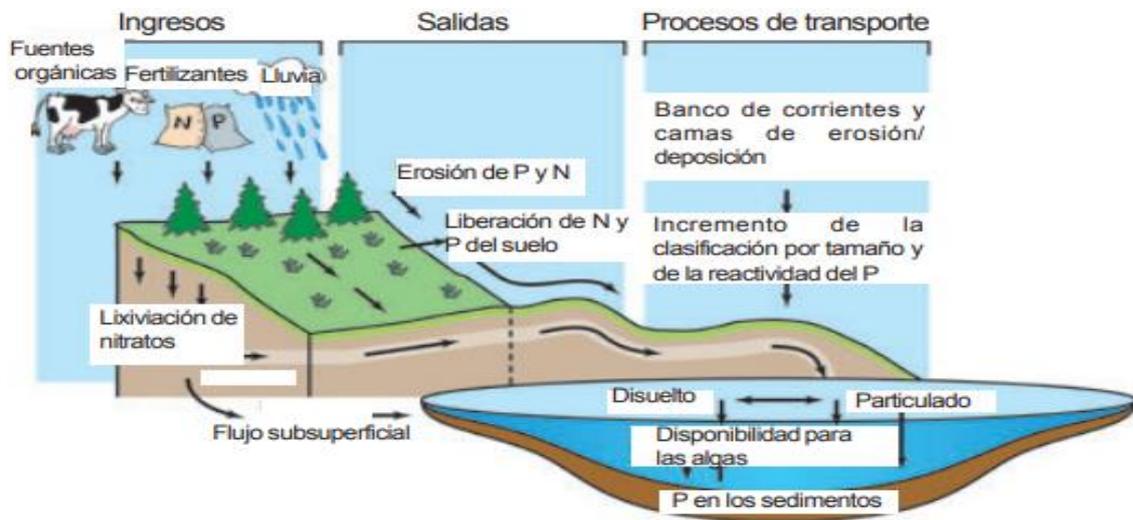
- **Contaminación atmosférica**

Los contaminantes atmosféricos como dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (N_2O_3) son compuestos principales generados por actividades industriales, transporte y quema de combustibles, por lo que estos contaminantes se oxidan en sulfatos (SO_4^{2-}) y en nitratos (NO_3^-) al combinarse y entrar en contacto con el agua de la atmósfera, retornan a la superficie terrestre como ácidos sulfúricos (H_2SO_4) y ácido nitroso (HNO_2) en forma de deposiciones húmedas (de lluvia, llovizna, rocío) y en deposiciones secas (nieve, nieblas o granizo), de esta manera se originan las lluvias ácidas, llegando fácilmente en los cuerpos de agua, dando lugar a un proceso de eutrofización (Rodríguez y Sánchez, 2010).

En la Figura 4 se observa el ingreso excesivo de nutrientes que provienen de los estiércoles y fertilizantes, los cuales son transportados al sistema acuático, causando su deterioro.

Figura 4

Fuentes de ingreso de nutrientes al sistema acuático



Nota. Carpenter (1998).

A continuación, en la Tabla 1 se presenta de manera resumida las principales causas de eutrofización:

Tabla 1

Principales causas naturales y antropogénicas de eutrofización

Causas naturales	Causas antropogénicas
Aporte de nutrientes atmosféricos (precipitaciones)	Vertidos de residuos residuales, industriales, agrícolas y urbanas.
Resuspensión de sedimentos de canales por donde pasa el agua.	Uso de fertilizantes y plaguicidas en exceso y desechos orgánicos procedentes de actividades agropecuarias.
Liberación de sedimentos anóxicos	Escorrentía e infiltración de zonas de pastoreo y crianza de ganado.
Ríos que arrastran materia orgánica de los aluviones.	Uso de detergentes con altas cantidades de fósforo.
Descomposición y excreciones de los seres vivos que interactúan con el medio.	Vertidos de aguas residuales, industriales y urbanas.
Fijación de nitrógeno de los microorganismos.	Escorrentía y lavado de tanques sépticos en mal estado.
	Escorrentía de actividades mineras y de construcción.

Nota. Resendiz (2012).

1.2.4. Consecuencia de la eutrofización

Según Arohuanca (2016) menciona que al existir un incremento de nutrientes y de la biomasa en el ecosistema acuático ocasionará una destrucción de la diversidad existente en ella; porque al interior de dicho ecosistema empezará a formarse un ambiente anaerobio, a causa del aumento de la concentración de gases tales como el metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y el anhídrido sulfuroso (H₂S), afectando a la vida acuática. Como consecuencia, se generará la muerte de gran cantidad de peces y de la biota en general, permitiendo así el origen de organismos patógenos y de vectores que causan enfermedades.

Por otro lado, para Moreta (2008), las diferentes manifestaciones que se generan en los ecosistemas acuáticos, es debido a la alta concentración de nutrientes, lo cual altera y modifica la abundancia, la diversidad y estructura ecológica de los medios acuáticos, asimismo, generan desequilibrio en dicho ecosistema. Del mismo modo, Vásquez *et al.* (2012) señala que, los efectos de eutrofización se evidencian mediante la producción y proliferación de la materia orgánica y organismos fotosintéticos, debido a que existe una modificación y transformación de las características del hábitat por el crecimiento excesivo de plantas y macrófitos acuáticos, al igual que las características organolépticas tales como: color, gusto y olor del agua cambian por completo. Asimismo, la concentración de oxígeno se agota, ya que existe alta producción de plantas y algas, lo que finalmente genera la muerte de los peces, degradación y colmatación de los sistemas acuáticos

Diversos estudios (Carpenter *et al.*, 1998, Moreta, 2008; Toro, 2019 y Vásquez *et al.*, 2012) muestran que, entre las consecuencias de la eutrofización en los cuerpos de agua se tiene lo siguiente:

- Altas concentraciones de biomasa y de fitoplancton en la parte superficial y en las partes profundas mueren.
- Proliferación de algas y multiplicación rápida de plantas acuáticas.
- Disminuye la penetración de la luz solar en el agua.
- Incremento de turbiedad del agua.
- Incremento de la actividad bacteriana.

- Producción de sustancias tóxicas por contaminantes y determinadas algas (plantas acuáticas).
- El oxígeno disuelto disminuye significativamente, por lo que se incrementa el DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) requerido y suficiente para los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica presentes en el agua.
- Generación de anoxia por la falta de oxígeno y liberación de olores desagradables y perjudiciales en el medio acuático.
- Cambios de las propiedades organolépticas (color, sabor y olor) del agua.
- Desoxigenación del agua, genera pérdida de biodiversidad y la muerte de peces en el ecosistema.
- Los animales (peces y aves) que interactúan con el medio acuático enferman y mueren.
- Disminuye la vida útil de los sistemas acuáticos.
- Impedimento a la navegación debido al crecimiento descontrolado de concentración densas de plantas y algas.
- Disminución del valor estético de los ecosistemas acuáticos.
- Proliferación de organismos patógenos y vectores en el cuerpo de agua.
- Incremento del riesgo a la salud de las personas aledañas a los cuerpos de agua.

1.2.5. Definición de humedales

Los humedales son aquellas zonas inundadas donde la tierra está cubierta por aguas poco profundas, lo cuales se encuentran ubicados en lugares donde la capa freática se encuentra en la superficie terrestre o cerca de ella, cabe resaltar que, en este tipo de ecosistema el agua es el principal factor determinante y controlador de la vida vegetal y animal que lo habitan, también, se entiende por humedales las extensiones marismas, pantanos y turberas, manglares, lagos, lagunas costeras, arrecifes de coral, asimismo, las zonas marinas con profundidades que no superen los 6 metros en marea baja (Ramsar, 2006).

Sistema de clasificación de los humedales

Según Ramsar (2006) los humedales se clasifican en tres tipos de categorías tales como: marinos y costeros, continentales y artificiales.

a) Humedales marinos y costeros

Son aquellas zonas marinas someras permanentes que generalmente tienen una profundidad menor a seis metros en marea baja, por otro lado, los cuerpos de aguas marinas están constituidos por los lechos marinos submareales (que incluye praderas de pastos y algas marinas), asimismo, arrecifes de coral, costas marinas rocosas, playas de arena o guijarros, estuarios (donde generalmente son islotes rocosos, cordones, arena y aguas permanentes), de igual forma, estos humedales marinos y costeros pueden ser pantanos y esteros bajos intermareales de lodo, arena o suelo salino (zonas que se encuentran inundadas con agua salada y agua dulce), de igual manera, este ecosistema forma parte de los humedales intermareales arbolados (manglares y bosques inundados por agua dulce), de mismo modo, lagunas costeras salobres/saladas que se encuentran relativamente angosta en conexión al mar, asimismo, incluye a aguas costeras de agua dulce. Por otra parte, para Aponte y Ramírez (2011) los humedales costeros funcionan como corredores biológicos por toda la costa desértica de nuestro país. Estos ecosistemas se encuentran mayormente cerca de alguna población, quienes aprovechan los recursos para su ingreso económico, como por ejemplo el junco.

b) Humedales continentales

Son aquellas zonas que pueden ser permanentes e inundadas, tales como: lagos, ríos, arroyos, etc. Asimismo, son zonas intermitentes, estacionales de agua dulce, salinos/salobres o alcalinas que incluyen pantanos y esteros con vegetación emergente en el agua, manantiales, oasis, entre otros.

c) Humedales artificiales

Son aquellas zonas que han sido construidas por el hombre con diferentes fines, tales como: estanques artificiales de acuicultura, incluyendo canales de regadío, praderas, pasturas inundadas, zonas de almacenamiento de agua, reservorios, diques, represas, estanques artificiales (con extensiones que generalmente superan las 8 ha), áreas de tratamiento de aguas servidas y otros sistemas hídrico subterráneos.

1.2.6. Eutrofización en humedales

Según Bressler y Michael (2005) la eutrofización de humedales se da por el enriquecimiento de nutrientes, la cual puede conducir a cambios importantes en la estructura de los sistemas acuáticos, ello puede provocar la reducción o incremento de especies, alterando aún más las condiciones químicas dentro del humedal. Este proceso de eutrofización generalmente está influenciado por intervención antropogénica.

La eutrofización de humedales pueden ser procesos de origen natural denominados autóctonos, donde los humedales tienen la capacidad de producir materia orgánica generando una acumulación progresiva de los mismos. Asimismo, pueden ser por aporte antrópicos, lo cual genera un alto grado de enriquecimiento de nutrientes que aceleran el proceso de los mismos, conllevándolos a sufrir un proceso de envejecimiento natural y cambios considerables en la estructura del sistema acuático, todos estos diferentes eventos ocurren debido al incremento del contenido de materia orgánica (Servicio Agrícola y Ganadero [SAG], 2006).

1.2.7. Métodos que determinan el estado trófico

Para calcular y definir el estado trófico de un cuerpo de agua, existen diferentes métodos estandarizados propuestos mediante fórmulas o indicadores matemáticos como el uso de Índices de estado trófico, Sistemas de Información Geográfica (SIG), Índice de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) y otros (Moreno *et al.*, 2010). Los índices de la evaluación de los niveles de eutrofización varían según la clasificación climática, ya que, son aplicados según el área de estudio (Sierra, 2011). A continuación, se describen algunos de los índices propuestos:

a) Índice de estado trófico (IET o TSI) de Carlson (1977)

Este índice fue propuesto por Carlson (1977), el cual es uno de los más utilizados para determinar el nivel de eutrofia de los cuerpos de agua, tales como: lagos y embalses de regiones templadas. El índice está basado en la medición de fósforo total (Pt), la clorofila "a" (Clorf a) y la transparencia del agua (DS), que varía en un rango de 0 a 100, es decir, de oligotrófico a hipertrófico. Para la determinación del índice se tomó la definición clave de la biomasa de fitoplancton debido a la problemática del crecimiento algar (Carlson, 1977).

A continuación, se presentan las ecuaciones con fórmulas para estimar el estado trófico aplicando los indicadores de eutrofia. Las ecuaciones finales del Índice de Carlson son:

La ecuación que relaciona la transparencia de agua con el índice de estado trófico:

$$IET = 10 \left(6 - \frac{0,64 + \ln(DS)}{\ln(2)} \right)$$

La ecuación que relaciona la concentración de Clorofila "a" con el índice de estado trófico:

$$IET_{clorf "a"} = 10 \left(6 - \frac{2,04 - 0,68 \ln(Clorf "a")}{\ln(2)} \right)$$

La ecuación que relaciona la cantidad de fósforo total con el índice de estado trófico:

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

La ecuación del Índice de estado trófico:

$$IET = \left(\frac{IET_{DS} + IET_{clorf "a"} + IET_{Pt}}{3} \right)$$

En la siguiente Tabla 2 se presentan los valores para cada categoría del TSI de Carlson (1977).

Tabla 2

Valores establecidos para el nivel de eutrofización en los cuerpos de agua

Estado de eutrofia	TSI	D _s (m)	P _t (mg/m ³)	Clorf a (mg/m ³)
	0	64	0,75	0,04
Oligotrófico (TSI < 30)	10	32	1,5	0,12
	20	16	3	0,34
	30	8	6	0,94
Mesotrófico (30 < TSI < 60)	40	4	12	2,6
	50	2	24	6,4
	60	1	48	20
Eutrófico (60 < TSI < 90)	70	0,5	96	56
	80	0,25	192	154
	90	0,12	384	427
Hipereutrófico (90 < TSI < 100)	100	0,06	768	1183
Relación de los parámetros de eutrofización		$\frac{TSI_{D_s}}{2}$	$2 \times TSI_{P_t}$	$\sqrt{7,8} TSI_{Clorf a}$

Nota. Carlson (1977).

b) Índice de Carlson modificado por Aizaki (1981)

Aizaki *et al.* (1981) propusieron una modificación al Índice de Carlson, donde incluye coeficientes específicos para los elementos que integran la ecuación de estado trófico, estas fórmulas se establecieron después del estudio de análisis de diferentes parámetros fisicoquímicos de 22 lagos ubicados en Hokaido, Tohoku, Kanto y Chubu en Japón, durante la estación de verano de 1977 a 1979, el cual, es aplicable solo en evaluaciones de estado trófico de los lagos japoneses. Las ecuaciones finales del Índice de Aizaki *et al.* (1981) son:

La ecuación que relaciona la transparencia de agua con el índice de estado trófico:

$$TSI_{DS} = 10 \left(2,46 + \frac{3,76 - 1,57 \ln(DS)}{\ln(2,5)} \right)$$

La ecuación que relaciona la clorofila “a” con el índice de estado trófico:

$$TSI_{Clorf \text{ "a"}} = 10 \left(2,46 + \frac{\ln(Clorf \text{ "a"})}{\ln(2,5)} \right)$$

La ecuación que relaciona el fósforo total con el índice de estado trófico:

$$TSI_{Pt} = 10 \left(2,46 + \frac{6,68 - 1,15 \ln(Pt)}{\ln(2,5)} \right)$$

La ecuación del Índice de estado trófico:

$$TSI = \left(\frac{TSI_{DS} + TSI_{Pt} + TSI_{Clorf \text{ a}}}{3} \right)$$

c) Índice de Carlson modificado por Toledo (1983)

El índice está basado en la propuesta de Carlson (1977), además, está desarrollado en el estudio de Vollenweider (1976), donde se propuso la modificación específicamente en la formulación matemática del IET, con la finalidad de adecuar a las condiciones climáticas de los ambientes tropicales y la evaluación de incorporar los ortofosfatos (Studer, 2007). Para Toro (2019), estas fórmulas se propusieron luego del estudio realizado en el embalse Barre Bonita, localizado en el estado de Sao Paulo, Brasil. Esta fórmula está fundamentada en las variables de Transparencia Secchi, fósforo total, fósforo soluble reactivo y Clorofila “a” (Moreno y Ramírez, 2010).

El índice de estado trófico de Carlson modificado por Toledo, se calcula con las siguientes ecuaciones; asimismo, en la Tabla 3 se presenta las categorías del estado trófico:

$$TSI_{DS} = 10 \left(6 - \frac{0,64 + \ln DS}{\ln(2)} \right)$$

$$TSI_{Clorf "a"} = 10 \left(6 - \frac{2,04 - 0,695 \ln Clorf a}{2} \right)$$

$$TSI_{PSR} = 10 \left(6 - \frac{\ln \left(\frac{21,67}{PSR} \right)}{\ln(2)} \right)$$

$$IET_{Pt} = 10 \left(6 - \frac{\ln \left(\frac{80,32}{Pt} \right)}{\ln(2)} \right)$$

Donde:

IET DS: Índice de Estado Trófico para el disco Secchi (m)

IET Clorf “a”: Índice del Estado Trófico para la clorofila “a” (µg/L)

IET Pt: Índice del Estado Trófico para el fósforo total (µg/L)

IET PSR: Índice del Estado Trófico para el fósforo soluble reactivo (µg/L)

Ecuación del Índice de estado trófico propuesto por Toledo:

$$IET = \left(\frac{IET (DS) + 2 [IET (PT) + IET (PSR) + IET (CHL)]}{7} \right)$$

A continuación, la Tabla 3 presenta los valores para el estado trófico establecido por Toledo.

Tabla 3

Categorías del estado trófico establecido por Toledo

Categorías	Valores
Oligotrófico	IET < 44
Mesotrófico	44 – 54
Eutrófico	IET > 54

Nota. Toledo *et al.* (1983).

d) Organización para la cooperación y el desarrollo económico (OCDE)

La organización propuso este índice denominado OCDE, el cual es un estudio más completo referido a la eutrofización hasta el momento, fue ejecutado por el “Programa Cooperación

sobre la Eutrofización”, de la OCDE realizado en el año 1970 (OCDE 1982, como se citó en Moreno *et al.*, 2010).

La organización propuso la evaluación del estado trófico mediante la categorización de los sistemas acuáticos a partir del estudio de 200 ambientes acuáticos durante 5 años, lo cual permitió determinar el grado de eutrofia mediante simplificados parámetros a medir, tales como las concentraciones de fósforo total, clorofila “a”, nitrógeno total y transparencia del agua medido por un disco Secchi, para ello, participaron 22 países de Europa Occidental (López y Madroño, 2015). Además, según Sierra (2011), este estado trófico puede ser aplicado en distintos sistemas acuáticos debido a las diferentes condiciones por el cual ha sido elaborado el método.

A continuación, se presenta la Tabla 4 con los valores límites de OCDE para la clasificación trófica a través de indicadores de eutrofia.

Tabla 4

Valores límites establecidos por la OCDE para la categorización de estado trófico

Categoría trófica	P _t (µg/L)	Clorf “a” (µg/L)		Transparencia D _s (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
Ultraoligotróficos	< 4,0	<1,0	< 2,5	>12,0	>6,0
Oligotrófico	< 10,0	< 2,5	< 8,0	>6,0	>3,0
Mesotrófico	10 - 35	2,5 – 8	8,0 – 25	6,0 – 3,0	3,0 – 1,5
Eutrófico	35 - 100	25 - 75	25 – 75	3,0 – 1,5	1,5 – 0,7
Hipereutrófico	>100	>75	>75	< 1,5	< 0,7

Nota. OCDE, 1982 como se citó en Toro (2019).

e) Índice de estado trófico propuesto por CEPIS 1981

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (1981), mediante un proyecto desarrolló una metodología que permita evaluar la eutrofización en los lagos cálidos tropicales, empleando los parámetros de fósforo total y clorofila-a, dicho proyecto

contó con la participación de 15 países, donde se evaluó 27 lagos y embalses durante un año con una periodicidad mensual. Luego de realizar análisis estadísticos y regresiones lineales múltiples se obtuvo la siguiente ecuación:

$$P_{\lambda} = \frac{L(p)}{Z} \frac{T_w^{3/4}}{3}$$

Donde:

P_{λ} : Fosforo total (mg/L)

$L(p)$: Aporte de fósforo total (mg/m²año)

Z : Profundidad promedio (m)

T_w : Tiempo de retención hidráulica (años)

K_s : Tasa de sedimentación (L/años)

Asimismo, se utilizó un método de distribución probabilístico condicional para la clasificación del estado trófico (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales [CEPIS], 2001).

$$P(CT_i/X) = \frac{P(CT_i) \cdot P(X/CT_i)}{\sum P(CT_i) \cdot P(X/CT_i)}$$

Donde:

$$\frac{P(X/CT_i)}{\sum P(X/CT_i)} = \frac{Y(CT_i)}{\sum Y(CT_i)}$$

CT_i : Categorías del estado trófico

X : Logaritmo de (P_{λ})

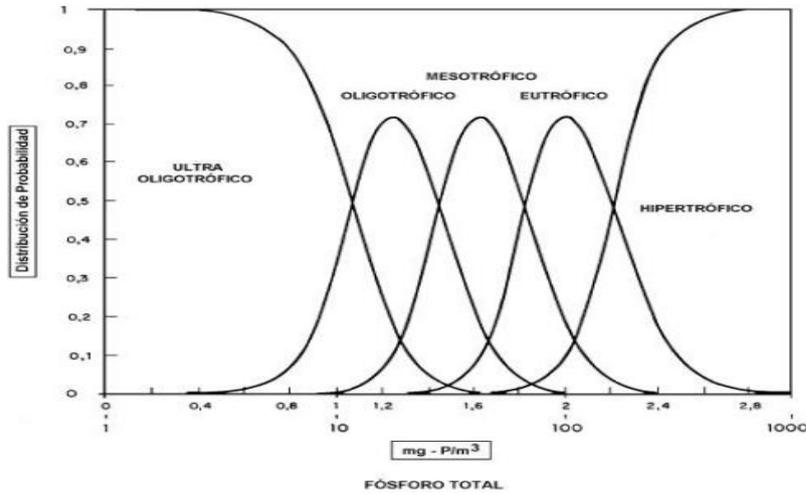
$P(X/CT_i) = Y(CT_i)$: Distribución normal de probabilidad [$Y(HE)$ Hioereutrófico, $Y(E)$ Eutrófico, $Y(M)$ Mesotrófico, $Y(O)$ Oligotrófico y $Y(UO)$ Ultraoligotrófico]

$\sum Y(CT_i)$: Suma de todas las distribuciones

A continuación, se presenta la Figura 5, el cual permite determinar la categoría en el que se encuentra el lago o embalse, dependiendo de la concentración de fósforo.

Figura 5

Distribución de probabilidad de nivel trófico de lagos cálidos tropicales basados en fósforo

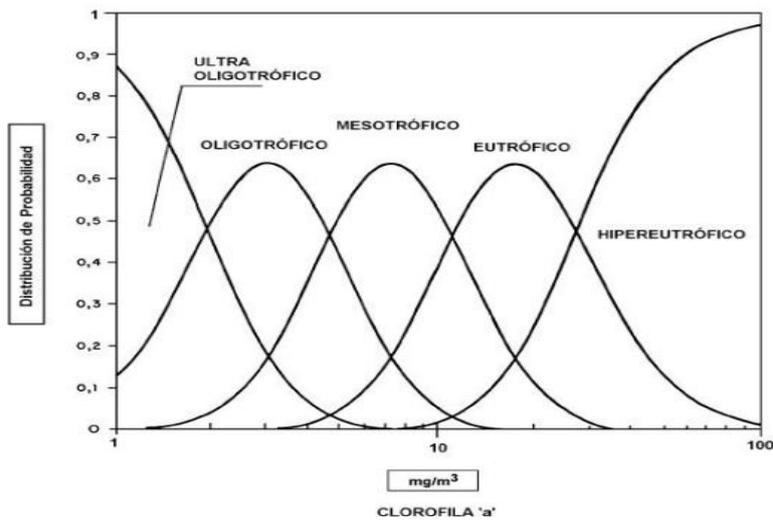


Nota. CEPIS (2001).

A continuación, se presenta la Figura 6, el cual permite determinar la categoría en el que se encuentra el lago o embalse, dependiendo de la concentración de clorofila-a.

Figura 6

Distribución de probabilidad de nivel trófico de lagos cálidos tropicales basados en clorofila "a"



Nota. CEPIS (2001).

f) Índice de Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004)

Lamparelli (2004), propuso modificaciones en la formulación matemática del índice de estado trófico de Carlson para regiones tropicales, modificación aplicada en el estudio realizado en 35 ambientes lóticos y 34 ambientes lénticos, considerando 69 puntos con un muestreo bimestral durante 1996 a 2000, basado en los parámetros de fósforo total y clorofila “a”, por la alta turbiedad del agua en estos ecosistemas. A continuación, se presenta las ecuaciones propuestas por Lamparelli, además, en la Tabla 5 se muestra los límites de los niveles de estado trófico:

Índice de Estado Trófico para ambientes lóticos:

$$IET(CL) = 10 \left[6 - \left(\frac{-0,7 - 0,6 \ln \ln (CL)}{\ln \ln (2)} \right) \right] - 20$$

$$IET(PT) = 10 \left[6 - \left(\frac{0,42 - 0,36 \ln \ln (PT)}{\ln \ln (2)} \right) \right] - 20$$

Índice de Estado Trófico para ambientes lénticos:

$$IET(CL) = 10 \left[6 - \left(\frac{0,92 - 0,34 \ln \ln (CL)}{\ln \ln (2)} \right) \right]$$

$$IET(PT) = 10 \left[6 - \left(\frac{1,77 - 0,42 \ln \ln (PT)}{\ln \ln (2)} \right) \right]$$

Donde:

PT: Concentración de fósforo total medida en la superficie de agua en $\mu\text{g/L}$

CL: Concentración de clorofila” a” medida en la superficie de agua en $\mu\text{g/L}$

Tabla 5*Límites de los niveles de estado trófico propuesto por Lamparelli (2004)*

Estado trófico	Ponderación	P-total (mg/m³)	Clorofila a (mg/m³)
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	$P < 8$	$CL \leq 1,77$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	$8 < P \leq 19$	$1,77 < CL \leq 3,24$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	$19 < P \leq 52$	$3,24 < CL \leq 11,03$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	$52 < P \leq 120$	$11,03 < CL \leq 30,55$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	$120 < P \leq 233$	$30,55 < CL \leq 69,05$
Hipereutrófico	$IET > 67$	$233 < P$	$69,05 < CL$

Nota. Lamparelli (2004).**Parámetros que comprueban el nivel trófico en un sistema acuático**

El desarrollo de las plantas en el ecosistema está condicionado por factores ambientales como la luz, la temperatura y la existencia de nutrientes, los cuales provienen de distintas fuentes del medio (Escobar y Espinoza, 2021). Por ello, el nivel trófico en cuerpos de agua puede ser estimados por distintos parámetros fisicoquímicos que determinan las cargas de nutrientes como indicadores del grado trófico, sin embargo, los más empleados para determinar la eutrofización son el fósforo y el nitrógeno, debido a que influyen en el desarrollo de diversos organismos en el sistema acuático (Vásquez *et al.*, 2012).

Asimismo, para el desarrollo de los organismos en cada ecosistema se tiene un factor limitante; en la mayoría de los ecosistemas de agua dulce, el factor limitante son los fosfatos y en los ecosistemas de agua salada, el factor limitante para la mayoría de las especies de plantas es el nitrógeno (Moreta, 2008). También como menciona Maja (2007), en climas tropicales el fósforo y el nitrógeno pueden actuar como factor limitante en el crecimiento de algas.

A continuación, se describe los parámetros que influyen en la eutrofización del ecosistema:

- **Nitrógeno total**

Los compuestos nitrogenados son principalmente destacados no solo porque el nitrógeno es un elemento diatómico y esencial en las funciones metabólicas de los seres vivos, sino también por su abundancia que comprende el 78 % de la atmósfera terrestre (aire, suelo y agua) y en su forma elemental es relativamente inerte (Pacheco *et al.*, 2002). Asimismo, el nitrógeno en la naturaleza está en distintas formas, la cual está regulada por un ciclo que comprende seis procesos tales como: fijación de N, reducción desasimilativa de nitrato a amonio, amonificación, oxidación anaerobia de amonio, nitrificación y desnitrificación. Sin embargo, el ciclo está perturbada por las actividades antrópogénicas (Cárdenas y Sánchez, 2013).

El nitrógeno puede encontrarse en los cuerpos de agua en dos distintas maneras: como nitrógeno orgánico y nitrógeno inorgánico. En la forma orgánica generalmente es de origen residual, convirtiéndose en nitrógeno amoniacal (NH_3), nitroso (N_2O), nitrito (NO_2^-), de acuerdo al tiempo y de la capacidad de oxidación por actividad bacteriana del medio. (Blancas y Hervás, 2001).

El nitrógeno inorgánico comúnmente en los medios acuáticos se encuentra en formas iónicas (reactivas) tales como: el amonio (NH_4^+), el nitrato (NO_3^-) y el nitrito (NO_2^-), las cuales pueden estar presentes de manera natural en estos ecosistemas como resultado de la transferencia de la atmósfera hacia la superficie de la tierra. De igual modo, la presencia del nutriente en el agua puede ser debido a la disolución de depósitos geológicos con concentraciones de nitrógeno, la escorrentía superficial y subterránea, la descomposición de la materia orgánica y la fijación de nitrógeno por algunos procariontes, además, el ciclo global de nitrógeno es alterado por las distintas actividades humanas, conllevando a diferentes problemas medioambientales en los sistemas acuáticos tales como: eutrofización de los cuerpos de agua y proliferación de algas tóxicas, acidificación de ríos y lagos, toxicidad directa a la fauna acuática de los compuestos nitrogenados, asimismo, el nitrógeno orgánico puede causar efectos negativos en la salud de las personas (Camargo y Alonso, 2007).

- **Fósforo total**

El fósforo es un componente fundamental para todo ser vivo tales como: las plantas, los animales, inclusive los seres humanos. Sin embargo, el exceso de este nutriente puede ser muy peligroso para los organismos en un sistema acuático, ocasionando el crecimiento de la biomasa algal mediante la combinación del fósforo con las altas temperaturas y luz solar y la intervención de las actividades que realiza el hombre (Chelsey y Clint, 2009).

Asimismo, las distintas sustancias químicas presentes en los cuerpos de agua tienen como elemento principal al fósforo y al nitrógeno, generalmente estos nutrientes controlan el desarrollo de organismos microbiológicos, implicando a la eutrofización de un ecosistema. De igual manera, los sedimentos que forman parte de los cuerpos de agua natural, en gran parte de los lagos y lagunas contienen concentraciones elevadas de fósforo (Oroná *et al.*, 2012).

El fósforo en las fuentes de aguas naturales puede estar expresado en compuestos orgánicos e inorgánicos, disueltos o suspendidos. En forma orgánica incluyen fosforado, ácidos nucleicos, ésteres, fosfolípidos, azúcares, proteínas, ácido aminofosfórico, fosfoamidas, etc. En forma inorgánicas comprenden ortofosfatos, polímeros lineales o polifosfatos y polímeros cíclicos o metafosfatos (Sánchez, 2001). En fosfatos solubles se originan diferentes aniones tales como: meta (PO_3^{3-}), piro ($\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$) y ortofosfato (PO_4^{3-}). Asimismo, estos aniones por su elevada capacidad de disolución, son arrastrados con facilidad por las aguas superficiales hacia los ríos y acuíferos. De igual modo, estos fosfatos están presentes en los vertidos urbanos que incluyen detergentes. Los cuerpos de agua natural contienen concentraciones de fosfatos por debajo de 1 mg/L. Por lo tanto, en cantidades excesivas estos nutrientes estimulan el crecimiento de algas que consumen el oxígeno disuelto del cuerpo de agua, lo cual causa la desaparición de la flora y fauna (Ciencias Ambientales, 2003). Las perturbaciones del fósforo son debido a las condiciones de pH (Mixquititla-Casbis y Villegas-Torres, 2016).

Según Sánchez (2001) la presencia de los fosfatos en los sistemas acuáticos generalmente se da por el arrastre causado por el agua de lluvia y filtración procedentes de los suelos agrícolas, las cuales pueden provocar que distintas concentraciones de fósforo lleguen a parar en los cuerpos de agua, del mismo modo, indica que el origen del fósforo puede provenir naturalmente mediante la erosión de los depósitos y rocas fosfóricas, de las cuales se desprenden fósforo, principalmente en forma de compuestos ortofosfatos. Asimismo, Chelsey y Clint (2009) señalan que, las concentraciones de fósforo provienen de distintos animales que pastan cercano a los cuerpos de agua y por el ingreso de aguas residuales o montón de estiércol.

- **Fósforo reactivo soluble**

El fósforo reactivo soluble, es como una medida de concentración biológicamente aprovechable, así también, como de la calidad del cuerpo de agua. Además, no todo el fósforo reactivo es aprovechado por los organismos, ya que dependerá de muchos factores como las especies presentes en el agua y la concentración del elemento (Sánchez, 2001).

- **Concentración de clorofila “a”**

La clorofila proviene de la palabra griega *chloros* que significa verde y *fyton* que significa hoja, por lo que literalmente significa pigmento verde de las hojas, lo cual fue descubierta por Caventou y Pelletier en el año 1817, quienes lograron la separación de las hojas de las plantas (Ruiz *et al.*, 2019). Existen diferentes familias de clorofila, designadas como clorofila a, b, c y d, cada una de ellas cumplen la función de absorber la energía lumínica durante la fotosíntesis. La clorofila “a” ($C_{55}H_{72}MgN_4O_5$) es la más abundante y fundamental de la familia, con 75 % aproximadamente de los pigmentos presentes en el medio ambiente (Streit *et al.*, 2015).

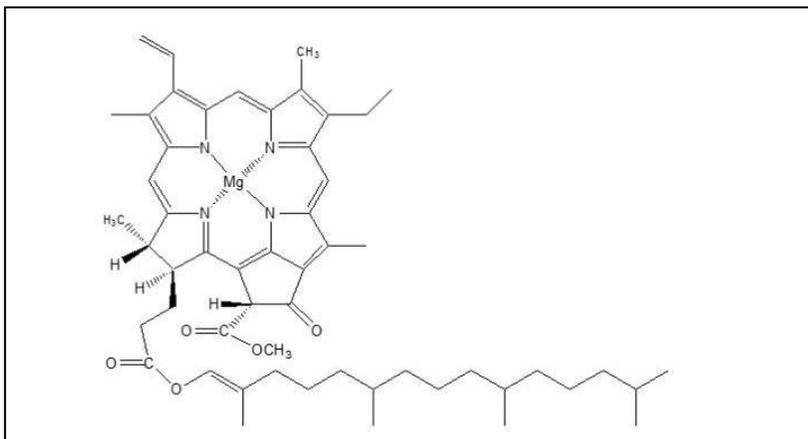
Las clorofilas, son pigmentos de color verde de las plantas y organismos como son: algas y bacterias que son responsables de realizar el proceso de fotosíntesis, donde las algas necesitan diferentes bioelementos para su desarrollo normal, por lo tanto, sustraen principalmente carbono, nitrógeno y fósforo de las aguas en diferentes proporciones. Asimismo, influyen distintos factores como: luz, temperatura y otros, los cuales suelen

acelerar, detener y limitar el crecimiento de la misma (Santiago, 2017). Distintas investigaciones confirman que el fósforo y el nitrógeno son dos nutrientes claves para el crecimiento fitoplactónico y los cambios de biomasa algal existentes en ambientes dulceacuícolas. Es decir, existe una correlación entre fitoplancton y los nutrientes mencionados (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2009).

La clorofila “a” es un indicador de respuesta trófica y la más utilizada para medir el fitoplancton presente en un sistema acuático expresada como pigmentos fotosintéticos por unidad de volumen, por ello, es importante determinar la concentración existente de las comunidades algales, así como la profundidad para el control y gestión de lagos (Bonansea *et al.*, 2012). De igual manera, la determinación de este parámetro (clorofila “a”) es recomendada como un índice confiable, ya que permite analizar y diagnosticar el estado del ecosistema. Además, es usado para medir la productividad primaria del sistema acuático (Sanchez *et al.*, 2007). A continuación, en la Figura 7 se muestra la estructura química de la clorofila “a”:

Figura 7

Estructura química de la clorofila “a”



Nota. Ornelas *et al.* (2012).

- **Transparencia del agua con el disco Secchi**

La transparencia del agua se ve afectada por distintos factores, como los sólidos suspendidos y materia disuelta (Zambrano, 2018). Por ello, sirve como indicador para determinar el estado trófico de un cuerpo de agua que está en función de los sólidos en suspensión; ello se refleja en la profundidad de visión del disco de Secchi, cuanto menor es el índice, más clara y de mejor calidad es el agua, por lo tanto, la transparencia es una de las cualidades del agua para valorar el buen estado físico – químico de los sistemas acuáticos (Aragón, 2014).

- **Disco Secchi**

Está constituido por un círculo de 20 cm de diámetro, el cual está dividido en cuadrantes sombreados alternadamente de negro y blanco, atado a una cuerda graduada (Goyenola, 2007). Es un instrumento de medición de la transparencia del agua mediante la penetración de luz en la columna de agua, en la que la visibilidad del disco Secchi es un modo por el cual se puede determinar los gradientes de turbidez en las distintas capas en el sistema acuático, la cual puede deberse por los aportes del río, el fitoplancton que allí se desarrolla y principalmente por el vertido industrial, el cual ponen el material particulado en la capa fótica, es decir, la zona en la que penetra la luz y en la que pueden desarrollarse las microalgas. Por lo tanto, es una medida muy fundamental para evaluar el estado ecológico de un cuerpo de agua y monitorizar estos ecosistemas (Figuerras y Niell, 1986).

1.2.8. Calidad del agua

Calidad de agua

El mencionado término se utiliza para referirse a la condición o estado del agua, así como también a sus características físicas, químicas y biológicas (Diersing, 2009). Además, estas deben estar en rangos de acuerdo al uso que se quiera destinar, establecidos por una entidad, en caso del Perú por el Ministerio del Ambiente - MINAM. De tal manera, la calidad de un cuerpo de agua ya sea superficial o subterránea depende de factores naturales como también de las acciones humanas, por lo cual, la calidad de un cuerpo de agua se determina u obtiene comparando las características de una muestra de agua con una línea de base, es decir, de referencias históricas tales como: leyes y estándares establecidos por normas según el uso,

entre otros, con la finalidad de conocer el estado del agua analizada según el objetivo de uso que se pretende destinar (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN], 2018).

Según la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile [BCN] (2016), la OMS y otros entes internacionales definen que la calidad del agua está basada en función a las características que presentan las variables físicas, químicas y microbiológicas, además, que sus valores obtenidos deben ser de rechazo o aceptación, además, señala que, la calidad del agua se define dependiendo a los usos que pueden estar destinados, es decir, que si una fuente de agua es apta para el consumo humano, puede ser no útil para la actividad industrial, es por ello, que para evaluar la calidad del agua deben emplearse técnicas adecuadas para cada uso. Además, según Pérez *et al.* (2017) se debe considerar importante los procesos de muestreo y los términos utilizados para la determinación de la calidad de agua.

Importancia de la calidad de agua

La calidad de agua de los recursos hídricos superficiales y subterráneos es de vital importancia para la salud pública (contribución de servicios básicos y el desarrollo de actividades económicas) y un tema en el que los países le ponen mayor importancia. Desde el punto de vista ambiental, es fundamental cumplir determinados objetivos de calidad (calidad ecológica) tales como características físicas, químicas, microbiológicas y otros, para mantener un ecosistema equilibrado. Asimismo, dichos datos indican los usos que pueden obtenerse de los ecosistemas acuáticos (agua para beber, conservación de la diversidad biológica, la pesca sostenible y aguas para irrigación). De igual modo, el monitoreo de calidad de agua genera información de diferentes parámetros (físicas, químicas y biológicas) de un cuerpo de agua, para inferir el estado del agua y a su vez evaluar la afectación de su uso y manejo, por lo tanto, permite establecer recomendaciones de gestión y toma de decisiones de los responsables para mitigar la contaminación (Organización de Naciones Unidas [ONU], 2018).

La calidad de agua de lagos, lagunas y humedales en nuestro país no han sido monitoreadas en su mayoría, como es el caso del humedal Santa Rosa de Chancay, conocido como “El

cascajo”, reconocido como Área de Conservación Ambiental (ACA) mediante la ordenanza municipal N°013-2020-MPH-CM, de la provincia de Huaral, región Lima, con la finalidad de proteger, conservar y promover el uso sostenible de los recursos naturales y servicios ambientales. Sin embargo, no se lleva un control turístico, agrícola y ganadero que se desarrolla en las zonas aledañas al humedal. Del mismo modo, no se ha evaluado y determinado la calidad de agua de este sistema acuático, siendo un ecosistema fundamental e indispensable para la localidad y región por su alcance cultural.

Índice de calidad del agua

Es una herramienta que proporciona información rápida, simple y objetiva del nivel de calidad de un cuerpo de agua, es decir, es un número único que integra las mediciones de los diferentes parámetros, que expresa la calidad del agua, sobre todo es de interpretación fácil entre técnicos, administradores ambientales y el público en general, en tal sentido, el resultado obtenido de la calidad de agua, también puede ser entendida como la evaluación química, física y biológica en relación con la calidad natural, efectos humanos y usos posibles. Asimismo, es importante en procesos decisorios de políticas públicas y en el seguimiento de sus impactos. La diferencia fundamental de los ICAS propuestos a lo largo del tiempo es la forma de evaluar los procesos de contaminación y el número de variables tenidas en cuenta en la formulación (Torres *et al.*, 2009).

Índices de calidad del agua (ICA-PE)

El Índice de Calidad del Agua (ICA) fue realizado por la Fundación Nacional de Sanidad (NSF), en los Estados Unidos. El mismo hace referencia a un valor numérico que los clasifica en una de sus cinco categorías (excelente, buena, media, mala y muy mala), el cual incluye nueve parámetros para determinar el ICA (Samboni *et al.*, 2007).

Actualmente, el ICA tiene indicadores de hasta más de 30 parámetros, los cuales se agrupan en diversas categorías; como eutrofización, contaminación por materia orgánica e inorgánica, aspectos de salud, caracterización fisicoquímica, entre otros (Samboni *et al.*, 2007).

El ICA-PE, es una herramienta matemática fundamental que permite la gestión de la calidad de recursos hídricos, la cual reúne información de distintos parámetros físicos, químicos y biológicos permitiendo comparar los resultados en conjunto con los valores establecidos en el ECA – Agua, convirtiendo grandes cantidades de datos de manera sencilla sobre el estado de la calidad del recurso hídrico (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2018).

Descripción del Método para determinar el ICA-PE

La Autoridad Nacional del Agua considera 17 parámetros para analizar el ICA-PE correspondiente a la categoría 4 (lagos y lagunas). Pero, para esta investigación se seleccionó ocho parámetros de medición, siendo los siguientes: oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), potencial de hidrógeno (pH), sólidos totales (ST), coliformes fecales, fósforo total, nitrógeno total y clorofila “a”.

Según la ANA (2018), para la determinación del ICA-PE se aplica una metodología canadiense denominada Canadian Water Quality (CWQI) la cual establece tres factores tales como: Alcance (F1), Frecuencia (F2) y Amplitud (F3).

- **Alcance (F1).** Este factor representa la cantidad de parámetros que no cumplen con los valores establecidos por el ECA –Agua vigente, en relación con la cantidad total de parámetros a evaluarse.

$$F1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen con los ECA agua}}{\text{Número Total de parámetros a evaluar}}$$

- **Frecuencia (F2).** Este factor representa la cantidad de datos (resultados de los monitoreos) que no cumplen con los valores establecidos por el ECA – Agua, en relación a la cantidad total de datos de los parámetros a evaluarse (datos que corresponden a los resultados de un mínimo de 4 monitoreos).

$$F2 = \frac{\text{Número de los parámetros que NO cumplen el ECA agua de los Datos Evaluados}}{\text{Número Total de Datos Evaluados}}$$

- **Amplitud (F3).** Este factor permite medir la desviación de los datos, la cual se determina mediante la suma normalizada de excedentes, es decir, los excesos de todos los datos en relación al número total de datos.

$$F3 = \left(\frac{\text{Suma Normalizada de Excedentes}}{\text{Suma Normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$$

La Suma normalizada de excedentes (nse)

$$nse = \text{Suma Normalizada de Excedentes} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{excedente } i}{\text{Total de Datos}}$$

- **Excedente:** Se da para cada parámetro, siendo el valor que presenta la diferencia del valor ECA y el valor del dato respecto al valor del ECA – Agua.

Caso 1: El valor de concentración del parámetro supera al valor establecido en el ECA – Agua.

$$\text{Excedente } i = \frac{\text{Valor del Parámetro que no cumple el ECA agua}}{\text{Valor establecido del Parámetro en el ECA agua}} - 1$$

Caso 2: El valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en el ECA – Agua, incumpliendo la condición señalada en la normativa.

$$\text{Excedente } i = \frac{\text{Valor establecido del Parámetro en el ECA agua}}{\text{Valor del Parámetro que no cumple el ECA agua}} - 1$$

- **Determinación del ICA-PE para un punto de monitoreo de forma puntual y referencial,** se debe tener en cuenta el espacio y tiempo. Para el cálculo del ICA para un monitoreo se considerará las siguientes fórmulas simplificadas: $F1 = F2$

$$F1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen con los ECA agua}}{\text{Número Total de parámetros a evaluar}}$$

$$F2 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen con los ECA agua}}{\text{Número Total de parámetros a evaluar}}$$

$$F3 = \left(\frac{\text{Suma Normalizada de Excedentes}}{\text{Suma Normalizada de Excedentes} + 1} \right) 100$$

- **Cálculo del ICA-PE**, ya habiendo obtenido los resultados de los tres factores tales como Alcance (F1), Frecuencia (F2) y Amplitud (F3) se procederán a realizar el cálculo del Índice de Calidad del Agua a través de la siguiente fórmula:

$$\text{ICA - PE} = 100 - \sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}}$$

Los valores del índice se presentan como un número a dimensional comprendido entre un rango de (0 -100), el cual permite establecer escalas en cinco rangos, que son niveles de sensibilidad que expresan y califican el estado de la calidad del agua, como Pésimo, Malo, Regular, Bueno y Excelente, tal como se muestra en la Tabla 6, sobre la interpretación de la calificación del ICA-PE.

Tabla 6

Interpretación de la Calificación ICA - PE

ICA - PE	Calificación	Interpretación
90 -100	Excelente	La calidad del agua está protegida con ausencia de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados
75 – 89	Bueno	La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural del agua. Sin embargo, las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud.
45 – 74	Regular	La calidad del agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
30 – 44	Malo	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
0 - 29	Pésimo	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.

Nota. ANA (2018).

Parámetros que determinan el Índice de calidad del agua (ICA-PE)

Para determinar el índice de calidad del agua se incluye al fósforo, nitrógeno y clorofila “a”, además de los siguientes parámetros:

- **Oxígeno disuelto (OD)**

El oxígeno disuelto, es uno de los parámetros fundamentales para determinar la calidad del agua superficial, la presencia de este, es un indicador de la existencia de vida acuática y permite informar la capacidad recuperadora de un curso de agua. Además, se conoce que su presencia es debido al aporte de oxígeno de la atmósfera y de la actividad biológica (fotosíntesis) en el sistema acuático (ANA, 2018).

El OD se genera producto de la actividad fotosintética entre los vegetales y la clorofila. Dicha actividad se realiza cerca de la superficie del agua, ya que, existe una mejor iluminación, por lo que la presencia de este parámetro en ese nivel será elevada; en cambio cuanto más profundo sea el agua, la concentración del oxígeno disuelto (OD) será menor, debido a que la materia orgánica se oxida. La escasa cantidad de OD son aprovechados por los organismos consumidores causando la asfixia de los organismos acuáticos, excepto de organismos y bacterias que puedan existir en condiciones adversas (Moreta, 2008).

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

La demanda bioquímica de oxígeno, es un parámetro importante que permite medir la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos mediante la oxidación aeróbica de la materia orgánica de manera natural presentes en el cuerpo de agua. Por lo tanto, este parámetro permite valorar la carga del agua (ANA, 2018).

La DBO generalmente se produce por la presencia de materia orgánica y coloidal en el agua y su determinación es relevante debido a que permite conocer la capacidad de contaminación de los cuerpos de agua. Además, con la prueba de la DBO se puede calcular la cantidad de oxígeno utilizado para la oxidación de los nitrógenos que se encuentran en formas reducidas (Del Ángel, 1994).

También existen factores que contribuyen para la medición de la DBO, dichos factores son: la temperatura, la aclimatación de la semilla, la toxicidad y el pH (Del Ángel, 1994).

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

La determinación de pH es importante ya que permite medir la concentración de iones hidrógeno presentes en el agua, la cual indica la acidez o la alcalinidad del mismo, los cambios de pH pueden darse por distintos factores tales como: lluvias ácidas, drenaje de la minería o por el lavado de minerales, desechos industriales, etc. Por lo tanto, la medición de pH es un criterio importante en la calidad del agua, ya que limita la posibilidad de vida acuática y muchos de los usos de agua (Viale, 2008).

Según Escobar (2020) indica que los valores de potencial de hidrógeno determinan la subsistencia de algunas especies de organismos, ya que, existen organismos de fitoplancton que habitan en condiciones de aguas alcalinas y ácidas. Este parámetro no impide el crecimiento de las especies de fitoplancton.

- **Temperatura**

La temperatura es un parámetro físico que permite medir las sensaciones de calor y frío, los cambios de temperatura en los cuerpos de agua pueden afectar las condiciones de vida de los organismos acuáticos, la cual también influye en la fotosíntesis de las plantas y algas, el cual puede deberse al vertimiento de aguas utilizadas en procesos industriales de intercambio de calor (Aznar y Alonso, 2000).

Según Moreta (2008) el factor que más influye en el desarrollo de la vida acuática es la temperatura, ya que, si el agua presenta una temperatura menor, la desnitrificación de bacterias se retrasará, por ende, los nitratos no se descompondrán de manera acelerada, entonces el fitoplancton utilizará el nutriente para la elaboración de alimentos.

- **Sólidos suspendidos totales**

Este parámetro hace referencia a la cantidad de material particulado que se encuentra en suspensión en el cuerpo del agua superficial o residual (Orjuela, 2013). Los sólidos

suspendidos totales es un parámetro importante en la calidad de agua ya que permite conocer la claridad del agua y la penetración de luz, la temperatura y el proceso de fotosíntesis. La concentración de este parámetro depende del lugar y la hidrodinámica del cauce, el suelo, la cubierta vegetal, el lecho, las rocas y las actividades ribereñas tales como la agricultura, ganadería, minería, entre otros (ANA, 2018).

Según Kulkarni (2011), indica que cuando los valores de los sólidos suspendidos totales son elevados, difieren en la penetración de la luz solar, afectando en el desarrollo de los organismos y la vida acuática.

Según Trujillo *et al.* (2014) no existe alguna relación entre la turbidez y la concentración de sólidos suspendidos, ya que la turbidez cambia dependiendo de la fuente de luz que ingresa y el método de medición que se emplea y las propiedades de absorción de luz que posee el material suspendido. Es importante medir este parámetro ya que las partículas que se encuentran suspendidas absorben el calor, la cual puede causar un incremento en la temperatura del agua y afectar en la fotosíntesis algar. Además, las materias en suspensión indican una erosión natural o artificial del ecosistema.

- **Coliformes termotolerantes (fecales)**

Los coliformes Termotolerantes se denominan termotolerantes porque soportan temperaturas altas, hasta 45 °C. Están definidos por una cantidad mínima de microorganismos y sirven como indicadores de calidad del agua por su origen. La gran mayoría lo representan los *E. coli*, pero con menor frecuencia se encuentran las especies de *Klebsiella pneumoniae* y *Citrobacter freundii*, el origen de estas dos especies es ambiental, ya que provienen de fuentes de agua, suelo y vegetación. La principal característica de los coliformes termotolerantes, es que provienen de los intestinos del ser humano y también de los animales vertebrados. Por ende, su existencia en las aguas superficiales son indicadores de contaminación (Sotil, 2017).

La medición de este parámetro permite conocer la contaminación fecal de los cuerpos de agua superficial, el cual puede surgir debido al vertimiento de aguas residuales y a otros

componentes tales como la inadecuada disposición de los residuos sólidos que afectan a los cuerpos receptores (ANA, 2018).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

El diseño de esta investigación fue de tipo no experimental, no se realizó una manipulación de las variables, con un enfoque cuantitativo y se realizó la recolección de datos con su respectivo análisis estadístico. También, fue de alcance descriptivo y correlacional, se describieron las variables y se analizó si existe una relación entre el nivel de eutrofización y la calidad de agua.

2.2. Lugar y fecha

El humedal Santa Rosa es un ecosistema frágil, con características especiales que se encuentra ubicado entre las localidades de Santa Rosa, Peralvillo y Cascajo, en el distrito de Chancay, provincia de Huaral al norte del departamento de Lima a una altitud que oscila entre los 0 hasta los 22 metros sobre el nivel del mar. Tiene un área aproximada de 32 kilómetros y sus coordenadas geográficas son: 11° 36's y 77° 15'o (Ramirez *et al.*, 2010).

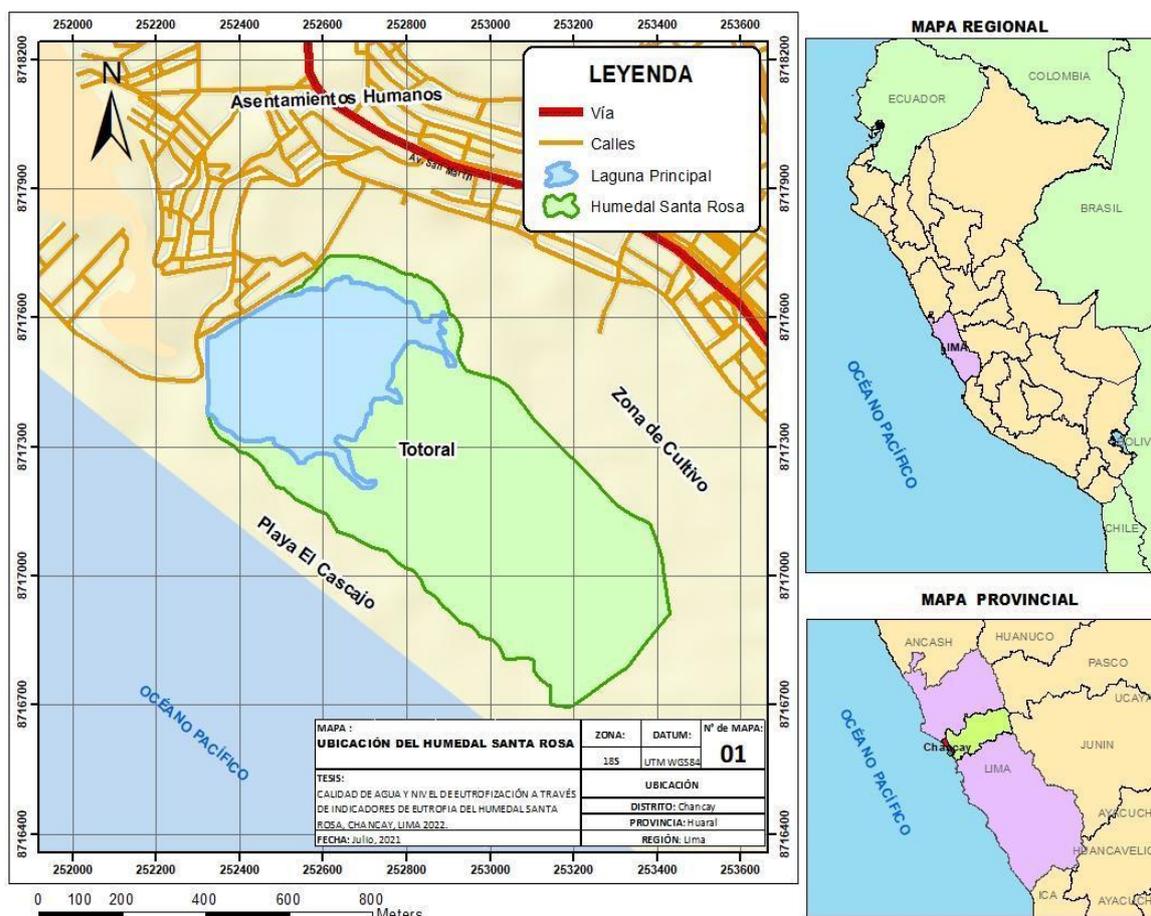
Alcántara *et al.* (2009) establecen que el humedal Santa Rosa tiene los siguientes límites:

- Por el norte: limita con el cerro El Cascajo.
- Por el sur: limita con el Océano Pacífico y cultivos agrícolas pertenecientes a la localidad de Peralvillo y Salinas Alta.
- Por el este: limita con las colinas que proceden del Cerro Salinas.
- Por el oeste: limita con el Océano Pacífico.

La investigación se realizó en el año 2021 temporada húmeda (mes de agosto) y 2022 temporada seca (mes de enero). A continuación, en la Figura 8 se muestra el mapa de ubicación del Humedal Santa Rosa.

Figura 8

Mapa de ubicación del Humedal Santa Rosa, Chancay, Lima



Nota. Elaboración propia a partir de la Ordenanza Municipal N°013-2020-MPH-CM.

2.3. Características del humedal Santa Rosa

2.3.1. Hábitat

En el humedal Santa Rosa se han identificado cuatro tipos de hábitats que son típicos de humedales costeros (cuerpo de agua, totorales, gramadales y juncales), también cuatro hábitats que están vinculados a la zona desértica costera (litoral marino, formaciones de arena, bancos pedregosos, zonas de vegetación ribereña y cerros desérticos) y tres hábitats

relacionados con las actividades humanas (áreas cultivadas y área urbana). Por otro lado, el cuerpo de agua del humedal se clasifica en dos tipos, siendo uno de ellos el cuerpo de agua permanente porque el agua se mantiene durante todo el año, pero disminuye su cantidad en los meses de verano; el segundo cuerpo de agua denominado como temporales o charcos, son pequeños espejos de agua formados por las filtraciones de la napa freática, a comparación de lo antes mencionado estos si llegan a secarse completamente, debido a la reducción de la napa freática, convirtiéndose en barrizales y arenales sucesivamente, este proceso inicia en los meses de verano hasta los meses de inviernos (Alcántara *et al.*, 2009).

2.3.2. Hidrología

Según el Gobierno Regional de Lima (2016), hidrográficamente el humedal Santa Rosa se encuentra integrado al sistema hidrológico de la cuenca del río Chancay y con un influjo pequeño del mar, por el cual presenta una ligera salinidad en el agua en aproximaciones del mar, sin embargo, el agua es de naturaleza dulce. Asimismo, comprende un gran cuerpo de agua en la zona central y una pequeña laguna al lado oeste, se alimenta de aguas provenientes del río Chancay a través de un canal principal que lo abastece. Además, Ramirez *et al.* (2010) menciona que el humedal está rodeado por campos de cultivos, espacios de criadores de ganado vacuno y la misma zona urbana.

Además, según Gonzales *et al.* (2019), el humedal se alimenta mediante la contribución de aguas subterráneas por infiltración rápida por el suelo arenoso, provenientes por el exceso de agua de riego que se realizan del río Chancay, lo que incrementa su nivel.

2.3.3. Flora

Según el estudio realizado por el Gobierno Regional de Lima (2016), el humedal Santa Rosa presenta un total de 51 especies pertenecientes a 50 géneros, incluidos en 30 familias. El grupo de la familia Poacea son las más representativas del humedal teniendo 9 especies propias del humedal e introducidas. Además, el desarrollo predominante en el humedal son las herbáceas con 82 % de las especies, acompañado por las variedades que no son propias del humedal como: arbóreas con 12 % y las especies arbustivas con 6 % (Alcántara *et al.*, 2009).

Las comunidades de vegetaciones presentes y las más representativas en el humedal Santa Rosa son plantas acuáticas flotantes, caracterizadas por la predominancia de *Pistia stratiotes* L., acompañado de *Hydrocotyle ranunculoides* L., asociadas a *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, totoral como: Especies emergentes *Typha domingensis* (Pers.) y *Enhydra sessilifolia* C., asimismo se encuentran una especie flotante libre *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms y vega mixta que está compuesta por diferentes especies ciperáceas como dominantes tales como: *Cyperus laevigatus* L., *Eleocharis geniculata* L., *Schoenoplectus americanus* (Pers.), y especies de gramadal *Distichlis spicata* L., *Sarcocornia nei* L., también, se encuentran especies introducidas *Medicago lupulina* L., *Oxalis corniculata* L. y *Eleusine indica* L., entre otros (Ramirez *et al.*, 2010).

2.3.4. Fauna

En el estudio realizado por el Gobierno Regional de Lima (2016), se ha registrado Avifauna un total de 73 especies pertenecientes a 58 géneros, distribuidos en 33 familias. La especie más frecuente en el humedal es *Egretta thula* (Molina, 1782) con distribución restringida, especies amenazadas según UICN y especies que se encuentren en el anexo II de la CITES: *Geositta peruviana* (Lafresnaye, 1847), *Sula variegata* (Tschudi, 1843), *Pelecanus thagus* (Molina, 1782), *Pandion haliaetus* (Linnaeus, 1758), *Falco sparverius* (Linnaeus, 1758), entre otros. En su mayoría de las especies presentes en el humedal son residentes o migran localmente con 72 % y el 28 % son especies migratorias de la zona andina con 21 %, boreal con 4 % y austral con 3 %. Asimismo, se han registrado especies lagartijas como: *Microlophus peruvianus* (Lesson, 1826) en montículos de arena y *Microlophus thoracicus* (Tschudi, 1845) en los gramadales (Ramirez *et al.*, 2010).

Gobierno Regional de Lima (2016), en su estudio realizado sobre avifauna en el humedal Santa Rosa, menciona que a pesar de que tiene un estrecho espacio de agua y cercanía a la población se han identificado 36 especies de aves entre el año 2015 y 2016, siendo los más representativos *Gallinula Chloropus* (Linnaeus, 1758) “polla de agua”, *Chroicocephalus cirrocephalus* (Larus Cirrocephalus Vieillot, 1818) “gaviota de Capucha gris” y *Leucophaeus pipixcan* (Wagler, 1831) “gaviota reidora”.

2.3.5. Características climáticas

Según el Mapa del Sistema de Clasificación Climática del Perú de Warren Thornthwaite – SENAMHI 2020, el departamento de Lima sostiene un tipo de clima E (d) B', determinado como clima árido con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año y templado, donde las temperaturas mínimas alcanzan a 21 °C, mientras que, las temperaturas máximas alcanzan 31 °C en promedio durante el año. Las precipitaciones anuales varían entre los valores de 0 a 5 mm en las partes adyacentes al litoral (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2020).

Por otro lado, según el mapa climático de SENAMHI (2010), la zona costera peruana donde se encuentra ubicado el humedal Santa Rosa, tiene un tipo de clima E (d) B'1 H3, lo cual se clasifica como: zona desértica semicálida (desértico - árido - sub tropical), con deficiencia de lluvias. Esto señala que esta zona se distingue como árido y con baja precipitación en todas las estaciones del año; y la temperatura media anuales oscila entre 18 y 19 °C, decreciendo en los niveles mas elevados de la región.

2.3.6. Amenazas antrópicas al ecosistema

El humedal Santa Rosa está rodeada por cultivos agrícolas (Peralvillo y Salinas Alta), aprovechados para el desarrollo de la ganadería por la población cercano al humedal; depósitos de desperdicios orgánicos e informales criaderos de porcinos, siendo estas actividades una amenaza para el humedal (Aponte y Ramírez, 2011). Asimismo, el humedal está sujeta a las influencias de la actividad de pastoreo de la zona aledaña.

2.4. Población y muestra

2.4.1. Población

La población de estudio fue representada por el cuerpo de agua superficial del humedal Santa Rosa.

2.4.2. Muestra

En cuanto a la muestra de agua superficial del humedal Santa Rosa, se establecieron 4 puntos de muestreo, tomando como referencia los puntos críticos y la accesibilidad, tal como se describe en la Tabla 7, considerando los lineamientos y criterios indicados en Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos superficiales (ANA, 2016). Asimismo, se recolectaron muestras en dos periodos estacionarios (húmeda y seca), para el primer periodo se tomó 1 muestra por parámetro; teniendo 4 parámetros para niveles de eutrofización y 6 parámetros para la evaluación del índice de calidad del agua y 3 parámetros medición *in situ*. Para la estación seca el proceso de recolección de datos y toma de muestra se realizó de la misma forma que en la estación húmeda. En ambos monitoreos la cantidad de muestra recolectada por parámetro fue de acuerdo a lo descrito en la Tabla 8.

Tabla 7

Puntos de muestreo del humedal Santa Rosa, Chancay – Lima

Puntos de muestreo	Descripción del punto de muestreo	Estación de monitoreo	Categoría	Coordenadas UTM WGS84 – 18S	
				Este	Norte
P1	Punto mas cercano a la descarga de aguas residuales	Temporada húmeda	Categoría 4: Conservación del ambiente acuático. Subcategoría E1: Lagunas y Lagos	252772,61	8717579,91
		Temporada seca		252733,47	8717537,78
P2	Punto más cercano a escurrimiento de excretas de establos de vacunos y ovinos	Temporada húmeda		252571,06	8717628,03
		Temporada seca.		252629,69	8717622,11
P3	Punto cercano al mar con tendencia central.	Temporada húmeda	252396,58	8717528,76	
		Temporada seca	252432,93	8717522,64	
P4	Punto cercano a la concentración de aves y la zona de agricultura.	Temporada húmeda	252485,77	8717357,75	
		Temporada seca	252599,42	8717386,42	

Nota. Elaboración propia a partir de los lineamientos y criterios indicados en Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos superficiales ANA (2016).

Tabla 8

Volumen de muestra de agua en mL para cada parámetro a evaluar

Parámetro	Volumen en mL
Clorofila “a”	1L
Fósforo total	250 mL
Fósforo soluble reactivo	250 mL
Nitrógeno total	250 mL
DBO ₅	1L
Sólidos suspendidos totales	1L
Coliformes fecales (termotolerantes)	250 mL

Nota. Elaboración propia a partir de los requisitos mínimos para ensayos de muestras ambientales – agua exigidos por el laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L – ALAB (2021)

2.5. Descripción de la investigación

Para lograr los objetivos propuestos, el desarrollo de la investigación se dividió en tres fases definidas como: preliminar y campo los cuales fueron llevados a cabo siguiendo el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos superficiales (ANA, 2016), además, para la fase de gabinete se consideró la Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales (ANA, 2018).

2.5.1. Fase preliminar

La Fase Preliminar consistió en el desarrollo de las siguientes actividades:

- Revisión y recolección de fuentes bibliográficas tales como: libros, revistas, artículos científicos, tesis, normas ambientales, protocolos y otros, referidas al tema de eutrofización de humedales y lagos en zonas costeras.
- Selección del método a utilizar para la medición de los distintos parámetros de eutrofia.
- Selección de parámetros a evaluar para determinar la calidad del agua.
- Obtención de los permisos necesarios de la municipalidad de Chancay para la realización de la investigación en el humedal Santa Rosa.
- Elaboración del mapa base para el lugar de estudio.

- Organización para la selección de puntos de muestreo.
- Planificación y programación de actividades a realizarse para la recolección de muestras en las fases subsiguientes.

2.5.2. Fase de campo

La Fase de campo consistió en el desarrollo de las siguientes actividades:

a) Reconocer y explorar el área de estudio

En esta fase se realizó un reconocimiento y exploración del lugar de estudio mediante un recorrido por el área circundante del humedal, así mismo, se identificó la accesibilidad al cuerpo de agua para establecer los puntos de muestreo (se puede observar en el Apéndice 11 y 12) considerando el protocolo del ANA del año 2016, como se presenta en la Figura 9:

Figura 9

Reconocimiento y exploración del área de estudio



Nota. Fotografía A: Panel de información del humedal Santa Rosa y fotografía B: Vista panorámica del humedal Santa Rosa.

b) Toma de muestra y registro de los parámetros físico – químicos y microbiológicos para el análisis de la eutrofización y calidad del agua

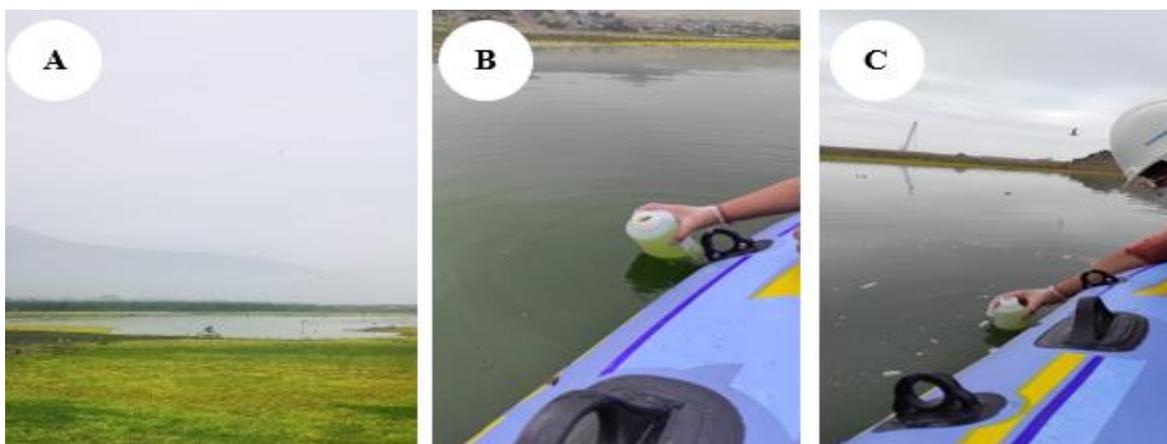
La toma de muestra de agua se realizó utilizando una embarcación (bote inflable), siguiendo los procedimientos establecidos en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos superficiales aprobado por la Resolución Jefatural N°010-2016-ANA.

Donde establece criterios para el muestreo en cuerpos de agua navegables (río, lagos, lagunas, mar, etc.). A continuación, se describe el procedimiento que se siguió en esta fase:

Para la toma de muestra, el desplazamiento se realizó desde la ribera hacia los cuatro puntos de muestreo establecidos anteriormente. Se procedió a anclar el bote cercano al punto de muestreo orientado hacia la proa contra la corriente para realizar las mediciones de campo y la toma de muestra, verificando con un GPS el posicionamiento de la estación antes de la recolección de muestras según se muestra en la Figura 10.

Figura 10

Toma de muestra utilizando embarcación en el humedal Santa Rosa



Nota. Fotografía A, ecosistema en estudio; fotografía B, toma de muestra de agua para sólidos suspendidos totales; y fotografía C, toma de muestras de agua para nitrógeno total.

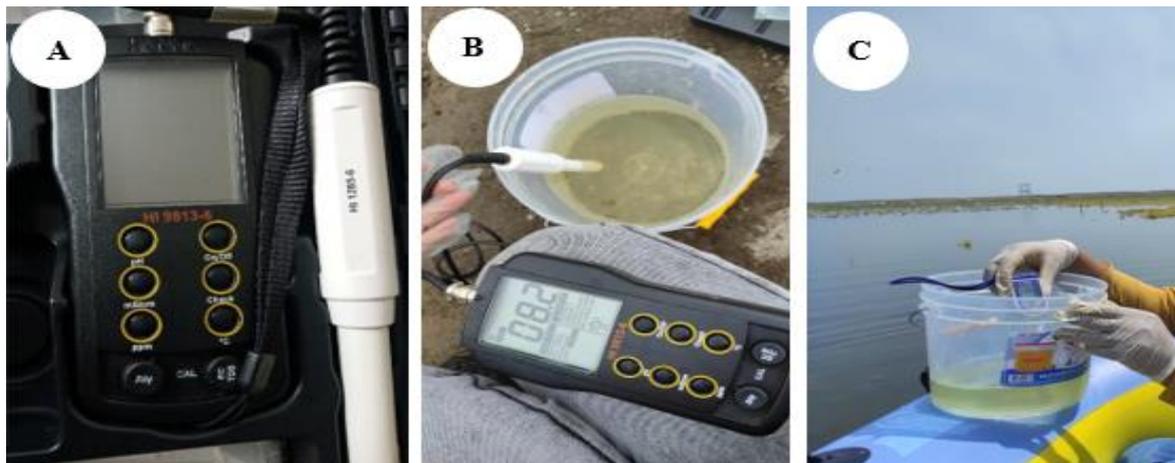
- **Medición *in situ***

Para la medición *in situ* se procedió tomar un volumen de muestra de agua en un balde para medir los parámetros en campo, de cada uno de los cuatro puntos de muestreo establecidos, tales como pH y temperatura, empleando un multiparámetro portátil de la marca HANNA HI 9813-6, para el cual, antes de la jornada, se realizó la calibración del equipo en el Buffer a pH 7,01; 4 y 10,0.

Asimismo, en la Figura 11 se muestra la medición del oxígeno disuelto (OD) haciendo uso del medidor de oxígeno disuelto EZODO 7031, previamente se realizó la calibración del dispositivo, para proceder con la medición de las muestras, seguidamente los datos fueron registrados en un formato de registro de datos en campo establecidos por la ANA.

Figura 11

Medición de parámetros in situ



Nota. Fotografía A, Equipo Multiparámetro HANNA HI 9813-6; fotografía B, medición de pH; y fotografía C, medición del Oxígeno Disuelto.

● Toma de muestras de agua

Las muestras de agua, fueron tomadas en frascos de botellas de plástico proporcionados por el laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L (ALAB), específicamente para los parámetros de nitrógeno total, fósforo total, fósforo soluble reactivo, sólidos suspendidos totales, DBO₅ y coliformes fecales; mientras que, para el parámetro clorofila “a” se usó envases de vidrio ámbar. Posteriormente, se realizó el rotulado y etiquetado de cada una de las muestras y se procedió al llenado de la cadena de custodia tomando los datos requeridos del protocolo de la ANA-2016.

Inmediatamente después de lo mencionado líneas arriba, se procedió almacenar las muestras en recipientes térmicos (*cooler*) con hielo para la conservación de los mismos y a la vez cumplir con los requisitos de preservación exigidos por laboratorio y posterior traslado vía terrestre para la entrega inmediata al laboratorio y su respectivo análisis (Apéndices 19, 20,

21, 22, 23, 24 y 25). Las muestras para el análisis de fósforo total y nitrógeno total fueron preservadas previamente añadiendo 10 gotas de ácido sulfúrico (H_2SO_4) por 250 mL de muestra, con el fin de conservarlas a un pH menor a 2, tal como se presenta en la Figura 12.

Figura 12

Toma de muestras para cada parámetro a evaluar



Nota. Fotografía A, almacenamiento de muestras en recipiente térmico (cooler); y fotografía B, muestras rotulados y etiquetados.

● **Medición de transparencia del agua**

La transparencia del agua, fue medida utilizando un disco Secchi, el cual desde una embarcación se sumergió de manera cuidadosa dentro del agua hasta que desaparezca, se registró la profundidad luego de que se vuelva a subir hasta que nuevamente se haga visible. Finalmente, se promediaron estas dos medidas, la desaparición con disco descendiendo y aparición en ascenso del disco, obteniendo un valor único en relación de la transparencia del agua, teniendo dos puntos marcados en la cuerda, de la cual la longitud de la cuerda entre cada marca y el disco Secchi se anotó para su posterior análisis en gabinete.

2.5.3. Fase de gabinete

La Fase de gabinete consistió en el desarrollo de las siguientes actividades:

En esta fase se ordenó los datos, se generaron gráficas y se analizaron e interpretaron los resultados obtenidos de la medición *in situ* y de los análisis procedentes del laboratorio referente a los parámetros físicos-químicos y microbiológicos (Apéndices 15, 16, 17 y 18) analizados con la finalidad de categorización del estado de eutrofia haciendo uso de Tabla

3, donde se establecen escalas de valores de estado trófico, de igual manera se interpretaron los resultados del Índice de Calidad de agua ICA –PE comparando con los valores establecidos por el ECA-AGUA con el propósito de calificar el estado de calidad del recurso hídrico de acuerdo a la Tabla 6. Asimismo, se elaboraron mapas de puntos de muestreo y de la clasificación del ICA-PE del humedal Santa Rosa correspondientes a las dos épocas de monitoreo.

2.6. Identificación de las variables y su mensuración

En la presente investigación se realizó las evaluaciones con la finalidad de determinar los niveles de eutrofización y calidad de agua del humedal Santa Rosa, por lo que se pretendió analizar los siguientes parámetros físico–químicos de las principales fuentes contaminantes:

Variables:

V1: Nivel de eutrofización

V2: Calidad de agua

A continuación, se muestra la Tabla 9 donde especifica las variables del estudio y su mensuración.

Tabla 9*Variables y su mensuración*

VARIABLES DE ESTUDIO	DIMENSIONES	UNIDADES DE MEDIDA	MÉTODO Y/O TÉCNICA	INDICADOR
Nivel de eutrofización	Fósforo soluble reactivo	mg.L ⁻¹	Análisis en laboratorio por el método del ácido ascórbico.	Concentración de fósforo soluble
	Clorofila "a"	mg.L ⁻¹	Análisis en laboratorio por el método de espectrofotometría.	Biomasa fitoplanctónica
	Fósforo total	mg.L ⁻¹	Análisis en laboratorio método del ácido ascórbico.	Concentración de fósforo
	Transparencia de agua	m	Disco de Secchi.	Turbidez
Calidad de agua	Nitrógeno total	mg.L ⁻¹	Método del persulfate.	Cantidad de nitrógeno
	Oxígeno disuelto	mg.L ⁻¹	Multiparámetro.	Cantidad de oxígeno gaseoso disuelto en el agua
	Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	Multiparámetro.	Alcalinidad y basicidad del agua
	DBO ₅	mg.L ⁻¹	Método de 5- Day BOD Test.	Cantidad de materia orgánica a ser consumida u oxidada por microorganismos
	Temperatura	°C	Multiparámetro	Sensación térmica
	Sólidos suspendidos totales	mg/L ⁻¹	método de total sólidos suspendidos secados a 103 – 105 °C.	Cantidad de material sólido
	Coliformes fecales	NMP/100 mL	Técnica de fermentación en tubos múltiples para miembros del grupo coliforme.	Cantidad de contaminante fecal

2.7. Análisis estadístico de datos

Para el análisis de los datos e interpretación de los resultados de la presente investigación, se aplicaron estadísticos descriptivos considerando gráficos de interacción y tablas comparativas con relación a las variables de estudio; se empleó el programa estadístico IBM SPSS Statistics versión 26 y Microsoft Excel 2019. Asimismo, se aplicó la prueba t-student con un valor de significancia 0,05 a fin de comparar la variación del nivel de eutrofización y los parámetros físico- químicos de la calidad del agua con respecto a la temporada húmeda y temporada seca en el humedal. Asimismo, se complementó el procesamiento de los datos realizando el análisis de correlación de Pearson entre el Índice de Estado Trófico (IET) y el índice de Calidad del Agua (ICA – PE) con sus respectivas variables fisicoquímicas evaluadas.

2.8. Materiales y equipos

Los materiales utilizados para la ejecución de la presente investigación fueron los siguientes:

- 1 bote inflable
- Solución buffer
- Un balde
- 04 coolers
- 16 envases de vidrio color ámbar de 1 L
- 16 envases de plástico de 1 L
- 24 envases de plástico color ámbar de 250 mL
- 24 envases de plástico de 250 mL
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4)
- Etiquetas de toma de muestra
- Hojas cadena de custodia
- Guía técnica de procedimientos para la toma de muestra
- Disco Secchi
- Guantes desechables
- Casco
- Mascarillas

- Botas
- Chaleco
- Bolsas con cierre hermético
- Poliburbuja
- Lapicero de tinta indeleble

Los equipos que se utilizaron para desarrollar la presente investigación fueron los siguientes:

- Un multiparámetro portátil de la marca HANNA HI 9813-6
- 1 GPS
- Un medidor de oxígeno disuelto EZODO 7031

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Cuantificar los parámetros físicoquímicos relacionados a los niveles de eutroficación y al índice de calidad del agua del humedal Santa Rosa

3.1.1. Caracterización de los parámetros *in situ* del agua

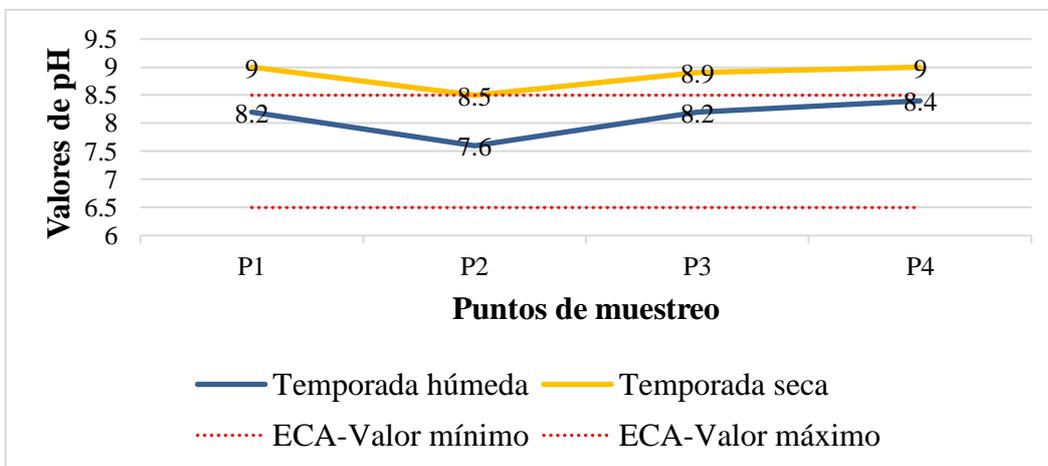
Los gráficos muestran los resultados del primer y segundo monitoreo en estaciones húmeda y seca realizada en el mes de agosto y enero (ver Apéndice 1, 2, 3 y 4).

A. Niveles de potencial de hidrógeno

En la Figura 13 se observa que, en la temporada húmeda los valores obtenidos de los niveles de pH para los 4 puntos de muestreo, se encuentran dentro del rango establecido en la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático (Subcategoría E1: Lagunas y Lagos) según el ECA – Agua, dispuesto en el D.S. N°004-2017-MINAM; sin embargo, en la temporada seca los valores del P1, P3 y P4 se encuentran por encima de los límites establecidos en el ECA – Agua.

Figura 13

Niveles de potencial de hidrógeno del agua de los 4 puntos de muestreo

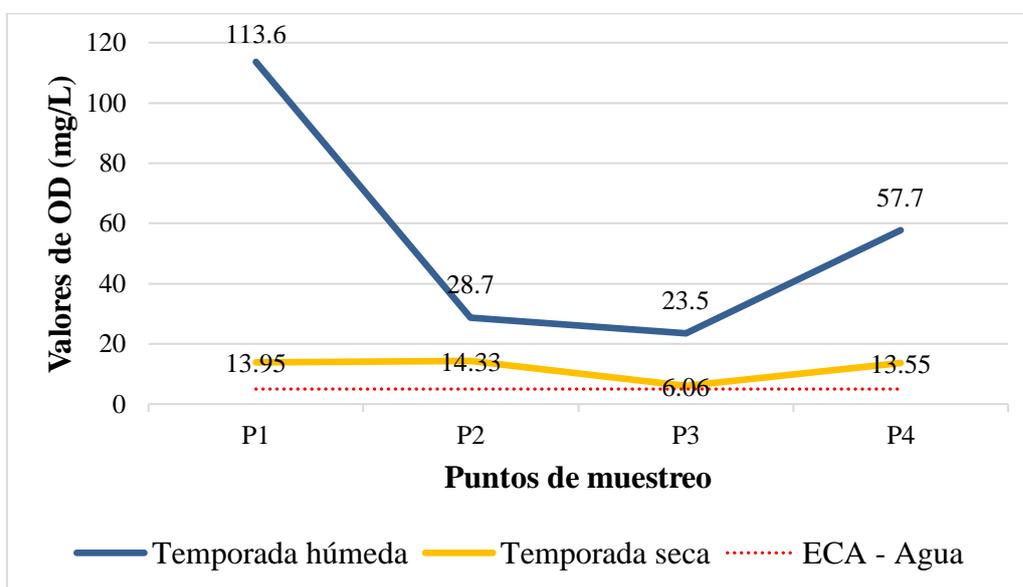


B. Niveles de oxígeno disuelto

Los valores obtenidos para la concentración de oxígeno disuelto en las dos temporadas (húmeda y seca) de monitoreo de los 4 puntos de muestreo son superiores al límite establecido en la Categoría 4 (Subcategoría E1: Lagos y Lagunas) del ECA-Agua, tal como se puede apreciar en la Figura 14. Por lo tanto, para este parámetro, el agua del humedal Santa Rosa, cumple con los estándares de calidad de agua.

Figura 14

Concentración de oxígeno disuelto del agua en los 4 puntos de muestreo

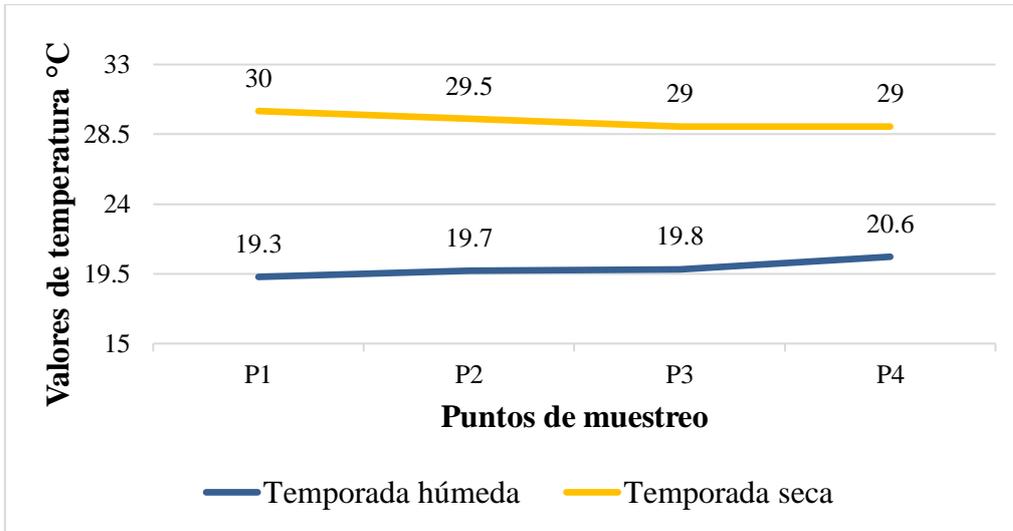


C. Temperatura

En la Figura 15 se presentan los valores obtenidos de temperatura para las 2 temporadas (húmeda y seca) de muestreo, donde se observa que existe un incremento representativo durante la época de verano, la cual corresponde al mes de enero y las temperaturas son bajas en la época de invierno (agosto).

Figura 15

Temperatura del agua en los 4 puntos de muestreo

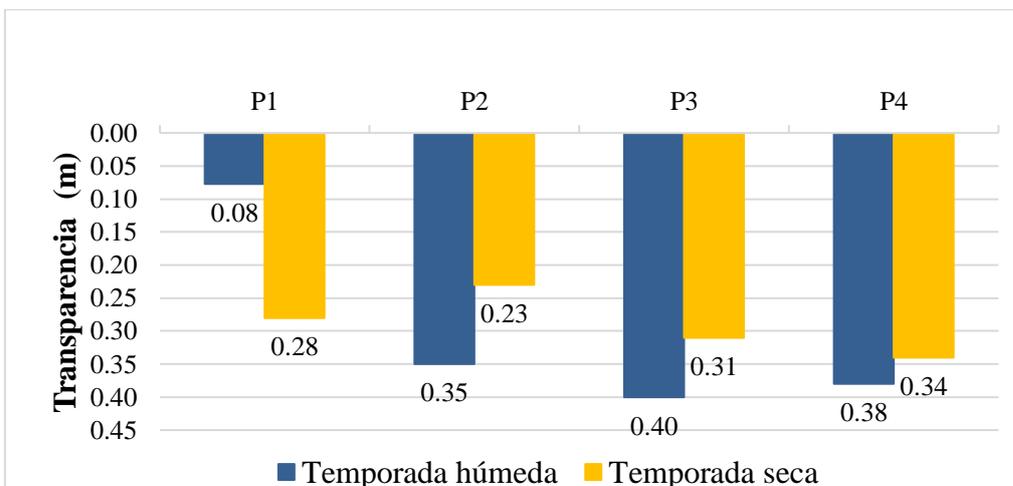


D. Transparencia del disco Secchi

En la Figura 16 se muestran los valores obtenidos de las mediciones registradas de la transparencia del disco Secchi en los 4 puntos de muestreo, se evidencia que la mayor transparencia del agua se da en la temporada húmeda en los puntos P2, P3 y P4 (con excepción del P1), en relación a la temporada seca.

Figura 16

Transparencia del disco secchi de los 4 puntos de muestreo



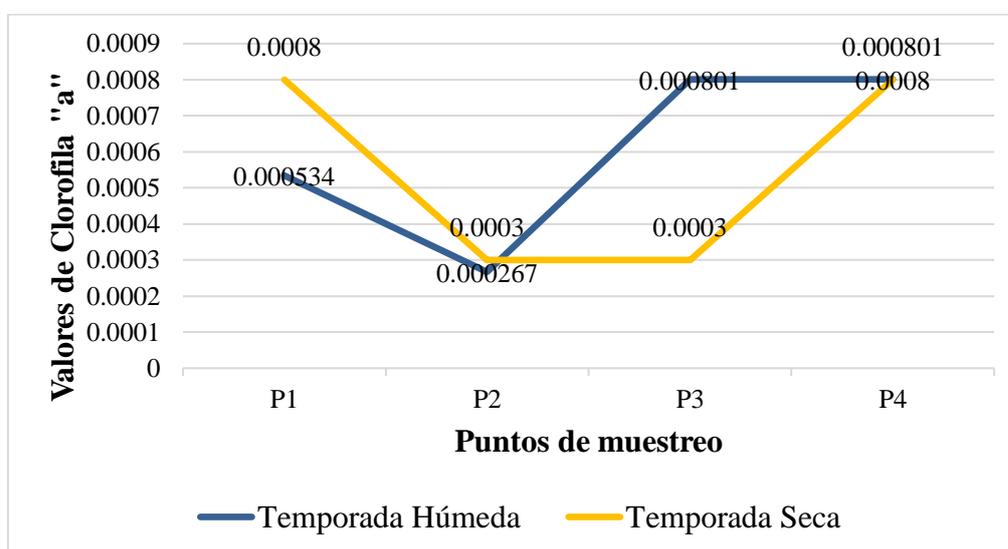
3.1.2. Caracterización del agua de los parámetros de nivel de eutrofización

A. Concentración de clorofila "a"

La concentración de biomasa fitoplanctónica evaluada en las 2 temporadas de los 4 puntos de muestreo, no superan el límite (0,008 mg/L) establecido en el ECA-Agua, asegurando la buena calidad y el buen estado del cuerpo del agua referente al parámetro en mención, tal como se aprecia en la Figura 17.

Figura 17

Concentración de clorofila "a" de los 4 puntos de muestreo

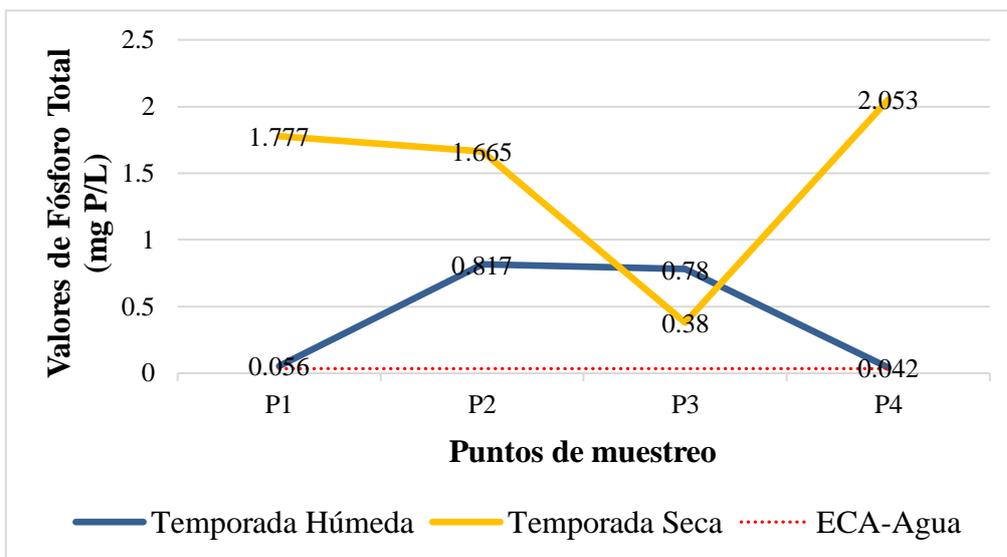


B. Concentración de fósforo total

En la Figura 18 se muestran las concentraciones de fósforo total en las 2 temporadas de monitoreo correspondiente a los 4 puntos de muestreo, donde todos los valores obtenidos superaron el límite (0,035 mg/L) establecido en el ECA-Agua (Categoría 4 -E1).

Figura 18

Concentración de fósforo total de los 4 puntos de muestreo

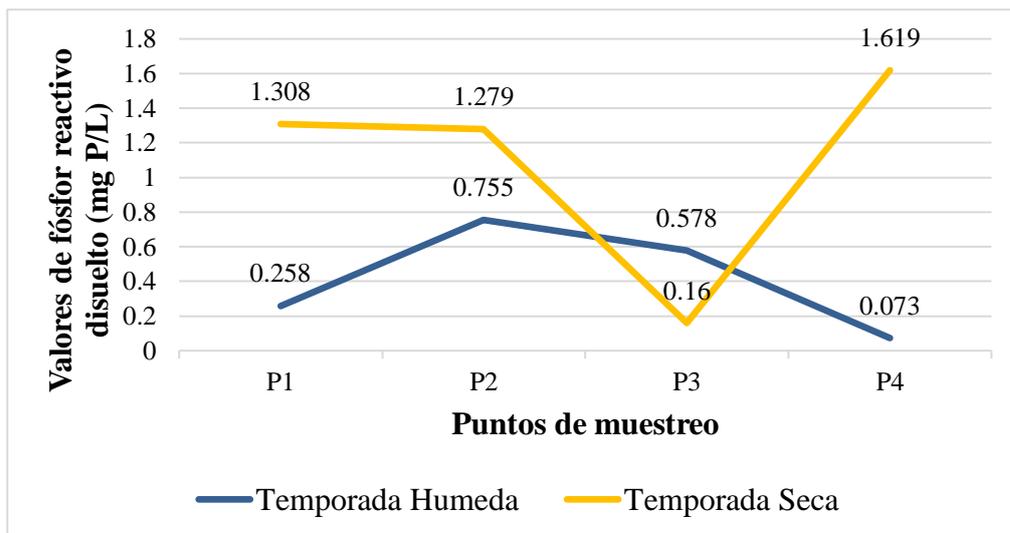


C. Concentración de fósforo soluble reactivo

En la Figura 19 se puede apreciar las concentraciones de fósforo soluble reactivo de los 4 puntos de muestreo de las dos temporadas de monitoreo (húmeda y seca). Se observa mayor concentración del parámetro en el mes de verano a diferencia del mes de invierno.

Figura 19

Concentración de fósforo soluble de los 4 puntos de muestreo



3.1.3. Caracterización del agua de los parámetros de Índice de Calidad de Agua

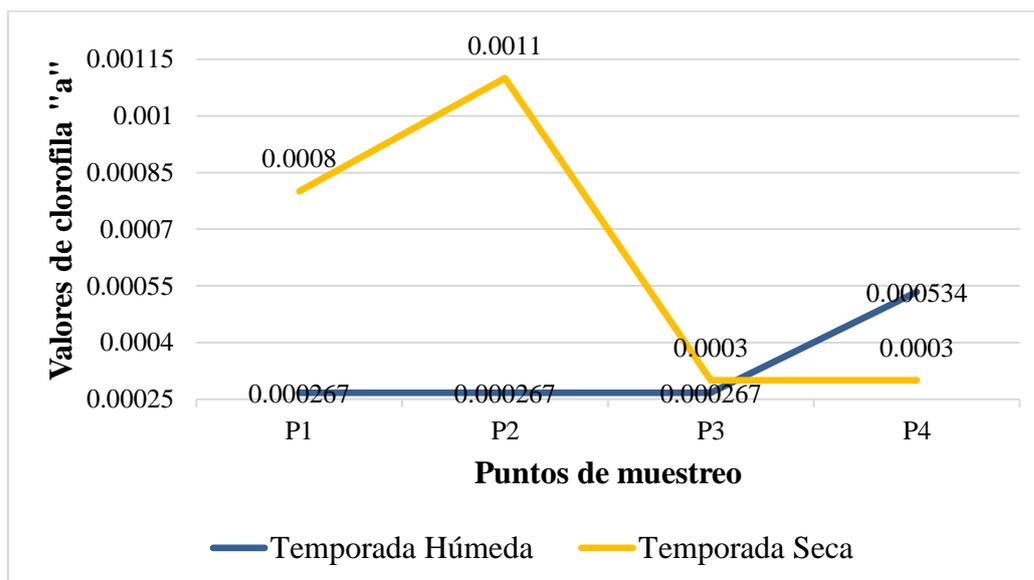
Los gráficos muestran los resultados del primer y segundo monitoreo en estaciones húmeda y seca realizada en el mes de agosto y enero (ver Apéndice 7 y 8).

A. Concentración de clorofila “a”

Los valores obtenidos de la concentración de la biomasa de microalgas en las dos temporadas de muestreo no superaron los límites (0,008 mg/L) establecidos por el ECA-Agua, como se puede apreciar en la Figura 20.

Figura 20

Concentración de clorofila “a” de los 4 puntos de muestreo

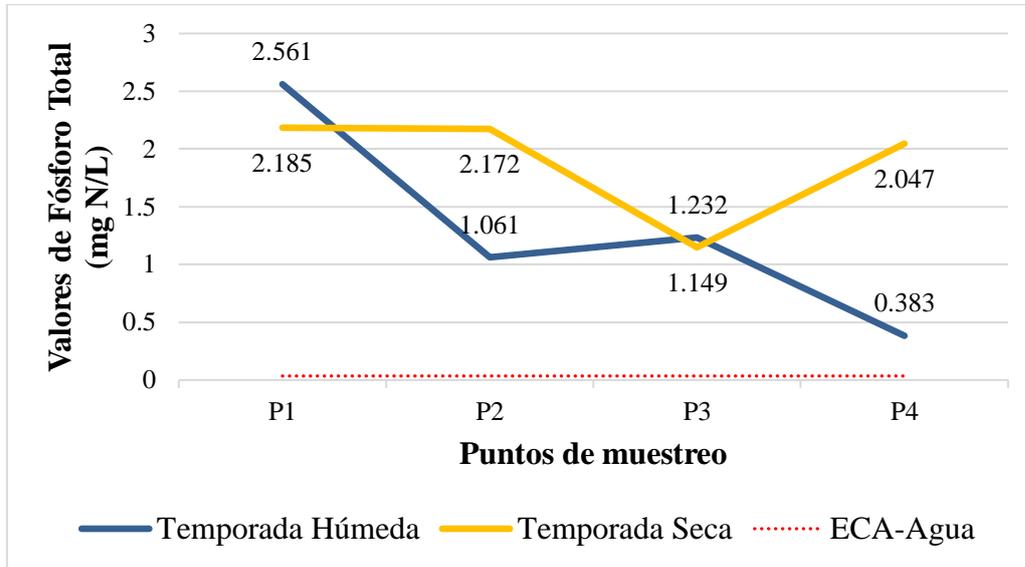


B. Concentración de fósforo total

En la Figura 21, se observa que la concentración del parámetro de fósforo total evaluadas en los diferentes periodos, superan los límites establecidos por el ECA-Agua.

Figura 21

Concentración de clorofila "a" de los 4 puntos de muestreo

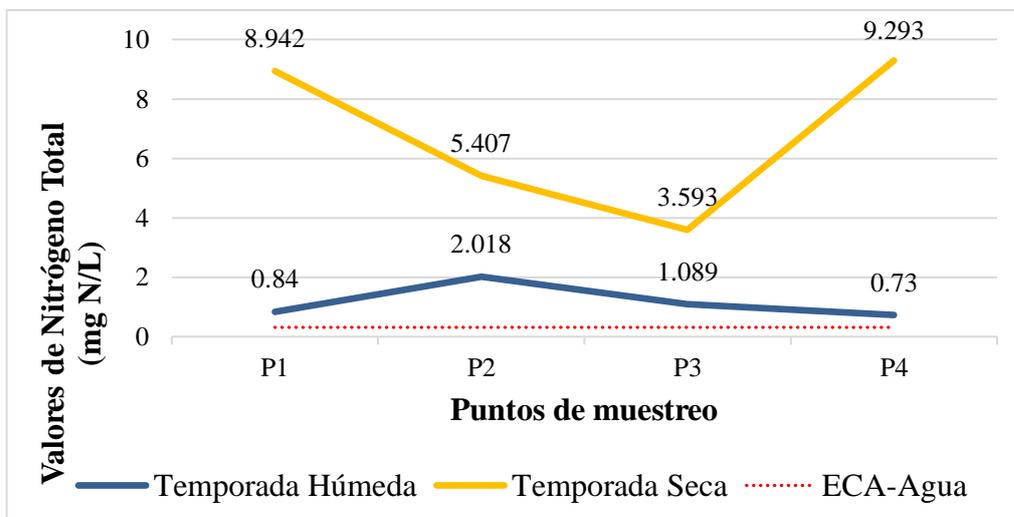


C. Concentración de nitrógeno total

La concentración de nitrógeno total obtenida de los 4 puntos de muestreo en los diferentes periodos, resultaron ser superiores al límite establecido por el ECA-Agua, como se muestra en la Figura 22.

Figura 22

Concentración de nitrógeno total de los 4 puntos de muestreo

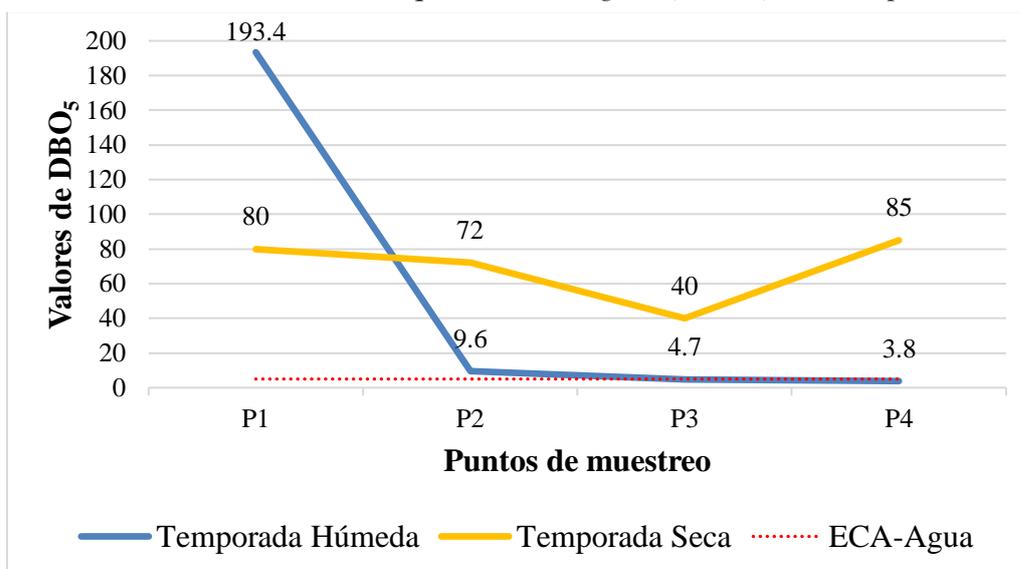


D. Concentración de DBO₅

Los resultados obtenidos de la concentración de DBO₅ resultaron mayores al ECA-Agua en los 4 puntos de muestreo y en las 2 temporadas de monitoreo (húmeda y seca), excepto los puntos P3 y P4 del periodo húmedo, como puede apreciarse en la Figura 23.

Figura 23

Concentración de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) de los 4 puntos de muestreo

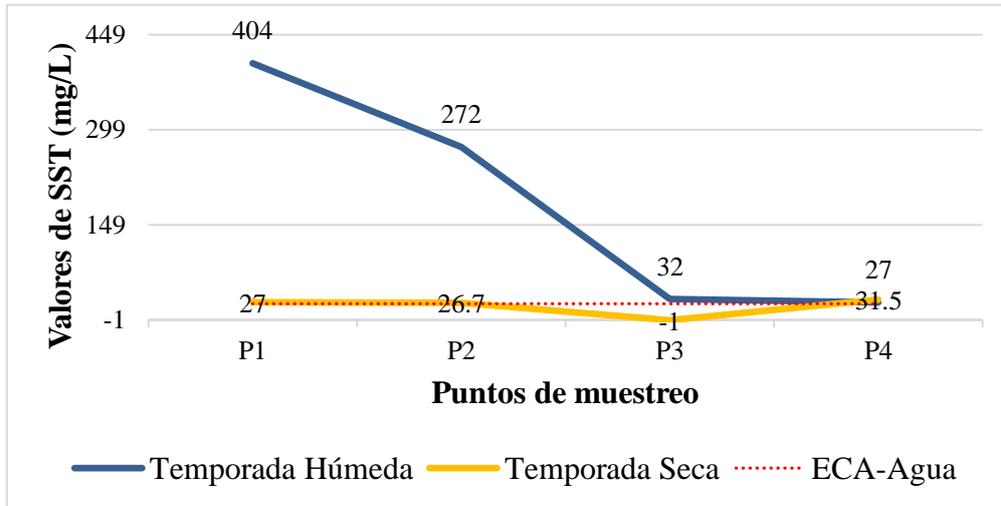


E. Concentración de sólidos suspendidos totales

Los valores obtenidos para los sólidos suspendidos totales evaluados en los diferentes periodos son mayores al límite ≤ 25 establecido por el ECA-Agua, excepto en el punto de muestreo P3 de la temporada húmeda, como se muestra en la Figura 24.

Figura 24

Concentración de sólidos suspendidos totales de los 4 puntos de muestreo

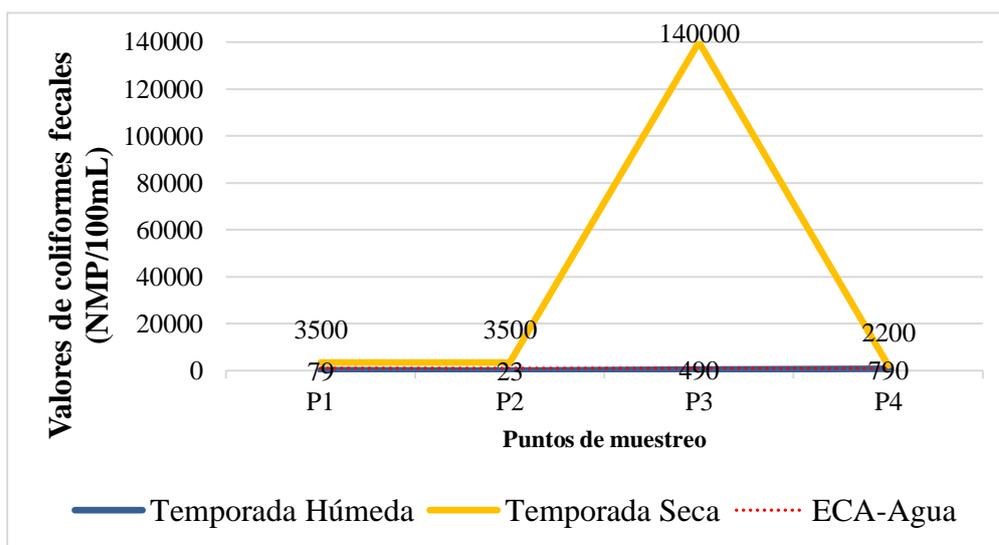


F. Concentración de coliformes fecales

En la Figura 25 se muestran los valores obtenidos de la concentración de coliformes fecales para las 2 temporadas muestreadas, donde los puntos evaluados en la temporada seca resultaron superiores al límite (1000 NMP/100mL) establecido por el ECA-Agua, mientras que en el periodo húmedo resultaron ser menores.

Figura 25

Concentración de coliformes termotolerantes de los 4 puntos de muestreo



3.2. Nivel de eutrofización del humedal Santa Rosa

Para la determinación del nivel de eutrofización del humedal Santa Rosa, se utilizó las fórmulas propuestas por Carlson 1977, modificadas por Toledo (1983), ya que se ajusta a ambientes tropicales. Para ello, se evaluaron los indicadores de eutrofia (fósforo total, la clorofila “a”, la transparencia de agua y fósforo soluble reactivo), cabe resaltar que el cálculo del nivel de eutrofización se realizó reemplazando los datos en las ecuaciones descritas y presentadas en el inciso “c” del ítem 1.2.7., con los datos obtenidos en las dos temporadas de monitoreo (húmeda y seca) (en los Apéndices 5 y 6 se muestran dichos resultados).

En la Tabla 10, se presentan los resultados del estado trófico del humedal Santa Rosa determinados a través de la transparencia del disco de Secchi (m) (ver Apéndice 3 y 4). De acuerdo con este parámetro en mención, el humedal se encuentra en un estado eutrófico para los 4 puntos de muestreo y en las 2 temporadas evaluadas.

Tabla 10

Estado trófico del humedal Santa Rosa a través de transparencia del disco Secchi (m)

Puntos de muestreo	Temporada húmeda			Temporada seca		
	TDS	IET _{DS}	Categoría	TDS	IET _{DS}	Categoría
P1	0,08	87,66	Eutrófico	0,28	69,13	Eutrófico
P2	0,35	65,72	Eutrófico	0,23	71,97	Eutrófico
P3	0,40	63,95	Eutrófico	0,31	67,66	Eutrófico
P4	0,38	64,59	Eutrófico	0,34	66,33	Eutrófico

En la Tabla 11, se muestra el estado trófico del humedal Santa Rosa determinado a través de la clorofila “a” (ug/L). De acuerdo con este parámetro en mención, el humedal se encuentra en un estado oligotrófico para las dos épocas evaluadas y para los 4 puntos de muestreo.

Tabla 11*Estado trófico del humedal Santa Rosa a través de la clorofila “a” (ug/L)*

Puntos de muestreo	Temporada húmeda			Temporada seca		
	Clorofila “a”	IET _{Clorf} “a”	Categoría	Clorofila “a”	IET _{Clorf} “a”	Categoría
P1	0,53	24,27	Oligotrófico	0,80	28,33	Oligotrófico
P2	0,26	17,32	Oligotrófico	0,30	18,50	Oligotrófico
P3	0,80	28,34	Oligotrófico	0,30	18,50	Oligotrófico
P4	0,80	28,34	Oligotrófico	0,80	28,33	Oligotrófico

En la Tabla 12, se muestra el estado trófico del humedal Santa Rosa determinados a través del fósforo total (ug/L). De acuerdo con este parámetro en mención, el humedal se encuentra en un estado eutrófico para los puntos P1, P2 y P3, mientras que el punto P4, se encuentra en un estado mesotrófico, estos resultados corresponden a la evaluación de la temporada húmeda. Los resultados obtenidos para la temporada seca categorizan al humedal en un estado eutrófico para los 4 puntos de muestreo.

Tabla 12*Estado trófico del humedal Santa Rosa a través de fósforo total (ug/L)*

Puntos de muestreo	Temporada húmeda			Temporada seca		
	PT	IET _{Pt}	Categoría	PT	IET _{Pt}	Categoría
P1	56	54,79	Eutrófico	1777	104,68	Eutrófico
P2	817	93,46	Eutrófico	1665	103,74	Eutrófico
P3	780	92,79	Eutrófico	380	82,42	Eutrófico
P4	42	50,64	Mesotrófico	2053	106,76	Eutrófico

En la Tabla 13, se muestra el estado trófico del humedal Santa Rosa determinados a través del fósforo soluble reactivo (ug/L). De acuerdo con este parámetro en mención, el humedal se encuentra en un estado mesotrófico en los 4 puntos de muestreo, el resultado corresponde a la temporada húmeda. Por otro lado, en la temporada seca los resultados obtenidos para los 4 puntos de muestreo categorizaron al humedal como eutrófico.

Tabla 13*Estado trófico del humedal Santa Rosa a través de fósforo soluble reactivo (ug/L)*

Puntos de muestreo	Temporada húmeda			Temporada seca		
	PSR	IET_{PSR}	Categoría	PSR	IET_{PSR}	Categoría
P1	258	51,46	Mesotrófico	1308	119,16	Eutrófico
P2	755	52,57	Mesotrófico	1279	118,83	Eutrófico
P3	578	52,31	Mesotrófico	160	88,84	Eutrófico
P4	73	49,85	Mesotrófico	1619	122,23	Eutrófico

Asimismo, mediante la ecuación propuesta por Toledo (1983), se calculó el índice de evaluación trófica (IET) para cada punto de muestreo de las 2 temporadas de monitoreo. En la Tabla 14, se muestra el estado trófico del humedal Santa Rosa mediante los indicadores de eutrofia de cada punto de muestreo para las dos temporadas.

Tabla 14*Estado trófico del humedal Santa Rosa a través de indicadores de eutrofia*

Puntos de muestreo	Temporada húmeda		Temporada seca	
	IET	Categoría	IET	Categoría
P1	49,81	Mesotrófico	81,92	Eutrófico
P2	56,06	Eutrófico	79,16	Eutrófico
P3	58,69	Eutrófico	63,88	Eutrófico
P4	46,04	Mesotrófico	83,00	Eutrófico

3.3. Índice de calidad de agua (ICA-PE) del humedal Santa Rosa

Para la determinación del índice de calidad de agua del humedal Santa Rosa, de acuerdo a la Metodología de Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-PE aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales - 2018, se procedió a seguir los siguientes pasos para evaluar la calidad de agua:

- **Selección de parámetros**

Se seleccionó 8 parámetros a evaluar en el ICA-PE tomando en cuenta la clasificación del agua: Categoría 4 asignada a la conservación del ambiente acuático que nos permitan aplicar la metodología ICA-PE para determinar la calidad del agua, tales como: Clorofila “a”, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), fósforo total, nitrógeno total, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, en unidades mg/L; asimismo, potencial de hidrógeno (pH) en unidades de pH y coliformes termotolerantes en NMP/100mL. Estos parámetros fueron seleccionados debido a que actúan como indicadores de que el ecosistema se encuentre en un nivel eutrofizado o en proceso de eutrofización, además de indicar la calidad del agua (ANA, 2018). Asimismo, estos parámetros fueron elegidos debido a que son los más comunes para evaluar la calidad del agua y ayudan a determinar las características físico-químicas y biológicas que degradan el ecosistema.

- **Determinación de los valores para cada parámetro**

Se determinaron los valores de cada uno de los parámetros a través de la evaluación y análisis de las muestras (de cada uno de los parámetros mencionados en líneas arriba) en el laboratorio acreditado Analytical Laboratory E.I.R.L. - ALAB.

- **Cálculo del índice de calidad de agua por la agregación de los subíndices**

La determinación del ICA-PE para un muestreo de forma puntual se obtiene por la integración de los subíndices que lo conforman, lo cual se establece a través de valores reemplazados en las ecuaciones matemáticas formuladas en la metodología del ICA-PE, 2018 (Ver ítem 1.2.8.)

3.3.1. Resultados de los parámetros físicos, químicos, biológico y microbiológico en la época húmeda y seca

Se presentan los resultados obtenidos de los 4 puntos muestreados en las dos temporadas, como puede apreciarse en las Tablas 15 y 16, de igual manera se muestran los valores establecidos en el ECA-Agua para la Categoría 4 - E1, con los cuales se realizó las

comparaciones respectivas para la evaluación de su cumplimiento de cada uno de los parámetros (ver Apéndice 9).

Tabla 15

Resultados de los parámetros evaluados en la época húmeda

Puntos de monitoreo			P1	P2	P3	P4
Parámetros a evaluar	Unidad de medida	ECA Cat. 4 - E1	valores			
Clorofila "a"	mg/L	0,008	0,000267	0,000267	0,000267	0,000534
Fósforo total	mg/L	0,035	2,561000	1,061000	1,232000	0,383000
Nitrógeno total	mg/L	0,315	0,840000	2,018000	1,089000	0,730000
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5,00	193,400000	9,600000	4,700000	3,800000
Sólidos suspendidos totales	mg/L	≤25	404,000000	272,000000	32,000000	27,000000
Oxígeno disuelto	mg/L	≥5	113,600000	28,700000	23,500000	57,700000
Potencial de hidrógeno (pH)	-	6,8-8,5	8,200000	7,600000	8,200000	8,400000
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1000	79,000000	23,000000	490,000000	790,000000

Parámetros que cumplen con la normativa vigente D.S. N°004-2017-MINAM del ECA-AGUA

En la presente investigación de acuerdo a los resultados obtenidos en la época húmeda, se pudo determinar que la mayoría de los parámetros no cumplen con los Estándares de Calidad de Agua, ya que, superan los niveles de concentración establecidos en el D.S. N°004-2017-MINAM del ECA-Agua, a excepción de los parámetros tales como: clorofila “a”, oxígeno disuelto, pH y coliformes fecales.

Tabla 16

Resultados de los parámetros evaluados en la época seca

Puntos de monitoreo			P1	P2	P3	P4
Parámetros a evaluar	Unidad de medida	ECA Cat. 4 - E1	valores			
Clorofila "a"	mg/L	0,008	0,000800	0,001100	0,000300	0,000300
Fósforo total	mg/L	0,035	2,185000	2,172000	1,149000	2,047000
Nitrógeno total	mg/L	0,315	8,942000	5,407000	3,593000	9,293000
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5,00	80,000000	72,000000	40,000000	85,000000
Sólidos suspendidos totales	mg/L	≤25	27,000000	26,700000	-1,000000	31,500000
Oxígeno disuelto	mg/L	≥5	13,950000	14,330000	6,060000	13,550000
Potencial de hidrógeno (pH)	-	6,8-8,5	3500,00000	3500,00000	140000,00000	2200,00000
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1000	3500,00000	3500,00000	140000,00000	2200,00000

Parámetros que cumplen con la normativa vigente D.S. N°004-2017-MINAM del ECA-AGUA

De acuerdo a los resultados obtenidos en la época seca, se pudo determinar que la mayoría de los parámetros evaluados no cumplen con los Estándares de Calidad de Agua, ya que, superan los niveles de concentración establecidos en el D.S. N°004-2017-MINAM del ECA-Agua, a excepción de los parámetros tales como: clorofila “a” y oxígeno disuelto.

3.3.2. Resultados del cálculo del índice de la calidad de agua (ICA-PE)

Posteriormente, se procedió a realizar el cálculo de los factores (F₁, F₂ y F₃) a través de las fórmulas de origen canadiense, la cual abarca 3 elementos: Alcance (F₁), frecuencia (F₂) y Amplitud (F₃), se determinó dichos factores empleando la metodología y fórmulas descritas en el ítem 1.2.8. Se determinó la calidad de agua del humedal Santa Rosa (ver Apéndice 10) considerando los rangos establecidos de la Tabla 17.

Tabla 17

Niveles de estado de calidad de agua

ICA - PE	90-100	75-89	45- 74	30-44	0-29
Calificación	Excelente	Bueno	Regular	Malo	Pésimo

Nota. ANA (2018).

Los valores obtenidos del cálculo del índice de calidad de agua para los 4 puntos de monitoreo en la época húmeda y época seca se detallan en la Tabla 18 y 19.

Tabla 18

Resultados del Índice de calidad de Agua ICA-PE en época húmeda

Puntos de Monitoreo	F1	F2	F3	Resultado de ICA-PE	Calificación del ICA-PE
P1	0,50	0,50	94,06	45,69	Regular
P2	0,50	0,50	85,05	50,89	Regular
P3	0,38	0,38	82,20	52,54	Regular
P4	0,38	0,38	58,64	66,15	Regular

Tabla 19*Resultados del Índice de calidad de Agua ICA-PE en época seca*

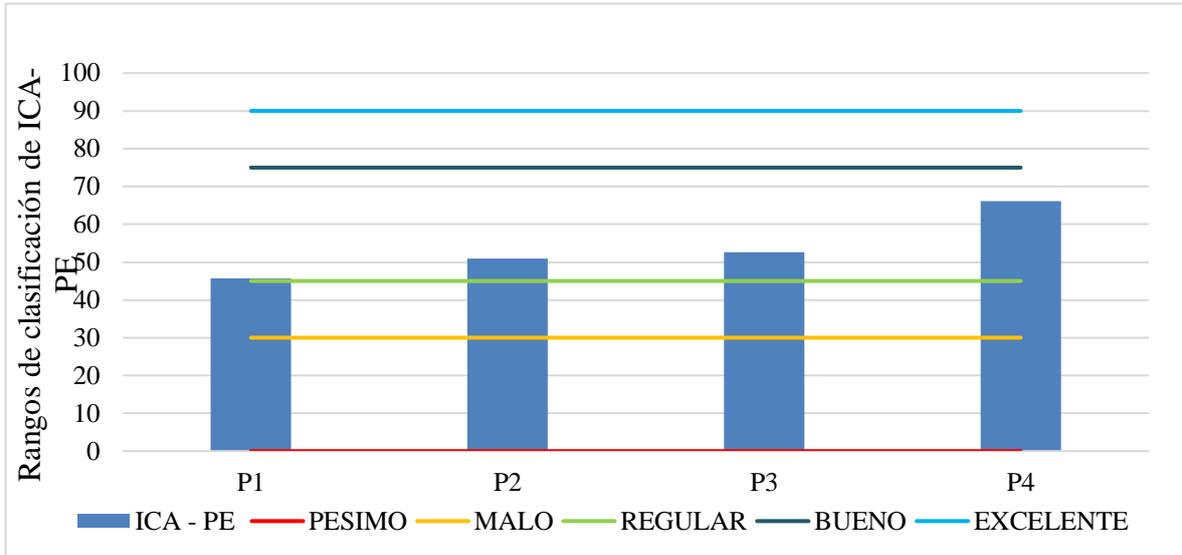
Puntos de Monitoreo	F1	F2	F3	Resultado de ICA-PE	Calificación del ICA-PE
P1	0,75	0,75	93,01	46,30	Regular
P2	0,63	0,63	92,09	46,83	Regular
P3	0,63	0,63	95,92	44,62	Malo
P4	0,75	0,75	92,83	46,40	Regular

En síntesis, los resultados obtenidos de acuerdo a la metodología ICA-PE del ANA 2018, expresan y califican el estado de calidad del agua del humedal Santa Rosa como regular en la mayoría de los puntos de muestreo y en las dos épocas evaluadas, ya que, se encuentra en los rangos de (45-74), excepto el punto P3 que se clasifica como malo, es decir, el cuerpo de agua natural, de vez en cuando está dañada o amenazada, por lo que, la calidad de agua tiende a alejarse de los valores o límites deseables; sin embargo, respecto al P3, el agua no cumple con los objetivos de calidad, dado que, a menudo las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Por lo tanto, previo al uso de este recurso hídrico es necesario realizar un tratamiento.

A continuación, en la Figura 26 se presenta la variación de los valores de índice de calidad de agua (ICA-PE) en la época húmeda del humedal Santa Rosa, los cuales indican que la calidad del agua es regular, ya que, está en el rango de 45-74.

Figura 26

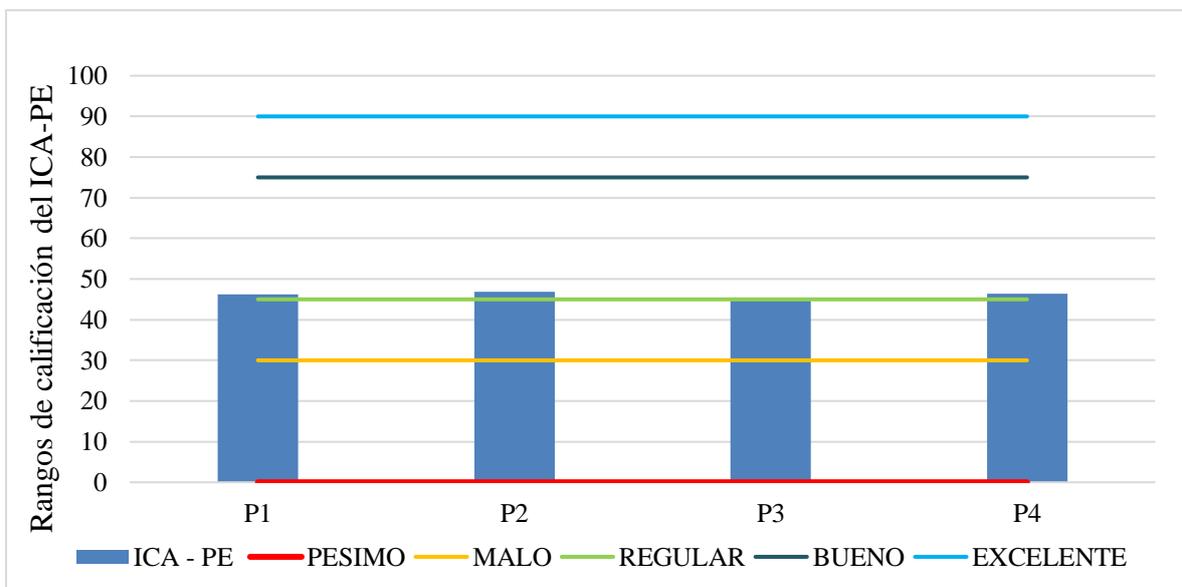
Índice de calidad de agua de la temporada húmeda



Asimismo, en la Figura 27 se muestra los valores del ICA-PE de los puntos de monitoreo en época seca del humedal Santa Rosa, los cuales se encuentran en una calidad de agua regular en el rango de 45-74, excepto en el P3 que se clasifica como malo, ya que, se encuentra en el rango de 30-44.

Figura 27

Índice de calidad de agua de la temporada seca



La representación gráfica que muestra la ubicación de la zona evaluada de los resultados obtenidos y de acuerdo al color asignado según la calificación del ICA para cada punto de muestreo, puede apreciarse en los Apéndices 13 y 14.

3.4. Calidad del agua y el nivel de eutrofización del humedal Santa Rosa

Las variaciones temporales de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua y nivel de eutrofización fueron evaluadas en temporada húmeda y temporada seca. Asimismo, para comprobar estadísticamente si existen variaciones significativas temporales en estos, se aplicó la prueba de t - Student para muestras independientes (Tabla 20). Los resultados mostraron que tanto el nitrógeno total, pH, temperatura y el nivel de eutrofización mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) a nivel de las temporadas de muestreo.

Tabla 20

Prueba t – Student para muestras independientes de los parámetros de calidad del agua y eutrofización evaluados según temporada

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig.
IET	Se asumen varianzas iguales	0,560	0,483	-4,556	6	0,004
ICA-PE	Se asumen varianzas iguales	4,636	0,075	1,773	6	0,127
Clorofila "a"	Se asumen varianzas iguales	0,833	0,397	0,263	6	0,801
Fósforo total	Se asumen varianzas iguales	0,726	0,427	-2,428	6	0,051
Nitrógeno total	Se asumen varianzas iguales	21,150	0,004	-3,983	6	0,007
DBO ₅	Se asumen varianzas iguales	5,327	0,060	-0,342	6	0,744
SST	Se asumen varianzas iguales	27,655	0,002	1,743	6	0,132
OD	Se asumen varianzas iguales	5,436	0,059	2,115	6	0,079

Prueba t – Student para muestras independientes de los parámetros de calidad del agua y eutrofización evaluados según temporada (continuación)

Transparencia de agua	Se asumen varianzas iguales	3,584	0,107	0,159	6	0,879
Potencial de hidrógeno	Se asumen varianzas iguales	0,429	0,537	-3,569	6	0,012
Coliformes fecales	Se asumen varianzas iguales	7,368	0,035	-1,979	6	0,095
Temperatura	Se asumen varianzas iguales	0,000	1,000	-26,271	6	0,000

Nota. Elaboración propia a partir del programa IBM SPSS Statistics versión 26.

Análisis de correlación de la calidad del agua y nivel de eutrofización

En la Tabla 21, se observa el análisis de correlación de Pearson aplicado a los parámetros de calidad del agua y el nivel de eutrofización del humedal Santa Rosa. Así, se tiene para el IET y el ICA-PE un índice $r = -0,587$; mostrando una correlación negativa buena pero no significativa. Asimismo, se determinó para el nitrógeno total una significancia $p = 0,00$ y un índice $r = 0,948$; mostrando una correlación positiva muy alta. También, se determinó que el Fósforo total tiene una significancia $p = 0,000$ y un índice $r = 0,950$; mostrando una correlación positiva alta. Por otro lado, se determinó que la temperatura tiene una significancia $p = 0,004$ y un índice $r = 0,880$; mostrando una correlación positiva alta.

Tabla 21

Análisis de correlación de Pearson para parámetros de calidad del agua y nivel de eutrofización del humedal Santa Rosa

	EI T	ICA- PE	Clorf "a"	Pt	Nt	DBO ₅	OD	pH	Colifor. fec.	T	SST
Correlación de Pearson	1	-0,587	0,081	0,950	0,948	0,128	-0,672	0,667	0,241	0,880	-0,498
Sig. (bilateral)		0,126	0,848	0,000	0,000	0,763	0,068	0,071	0,565	0,004	0,209
N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Nota. Elaboración propia a partir del programa IBM SPSS Statistics versión 26.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación, se procedió a validar y comparar los resultados con investigaciones similares.

4.1. Cuantificar los parámetros físicoquímicos relacionados a los niveles de eutroficación y al índice de calidad del agua del humedal Santa Rosa

Los resultados obtenidos del laboratorio se analizan con los Estándares de Calidad de Agua para la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático (Subcategoría E1: Lagunas y Lagos) según el ECA – Agua, dispuesto en el D.S. N°004-2017-MINAM. A continuación, se detallan los resultados:

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

Los resultados obtenidos de pH en el humedal Santa Rosa durante las dos estaciones de muestreo se encuentran entre el rango neutro y alcalino. En el transcurso de la evaluación de la época húmeda el nivel de agua es alto (junio-noviembre), motivo por el cual, los resultados de pH oscilan entre 7,6 a 8,5, valores que se encuentran dentro Estándares de Calidad de Agua para la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático (Subcategoría E1: Lagunas y Lagos), mientras que, en la época seca donde el nivel de agua disminuye los valores incrementan (excepto el P2), fluctuando entre 8,9 a 9,0, indicando una tendencia alcalina, debido a la cercanía e influencia de las aguas oceánicas, tal como lo señala Pérez *et al.* (2017), en su estudio de evaluación de calidad de agua en un humedal de agua salada del Caribe, en el cual, afirma que la alcalinidad del agua del humedal en estudio es a causa del abastecimiento del agua del Mar de Caribe. De igual modo, Huaman-Vilca *et al.* (2020), en la evaluación de calidad de agua de la laguna Marvilla en los Pantanos de Villa, indican que los valores de pH presentan una condición alcalina, debido a la cercanía del humedal con el mar. Además, los valores neutros de pH obtenidos, pueden deberse a la presencia de macrófitas en el humedal, ya que probablemente estas especies vegetativas contribuyen en la

regulación de pH, evitando la acidez del agua (Enrique-Ayala *et al.*, 2021).

- **Oxígeno disuelto (OD)**

De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación de oxígeno disuelto en los cuatro puntos de monitoreo cumplen con la normativa ECA-Agua para la categoría 4: Conservación del ambiente acuático (Subcategoría E1: Lagunas y Lagos), ya que, los valores se encuentran por encima del valor mínimo establecido de ≥ 5 mg/L. Según el estudio realizado por Pulido-López y Pinilla-Agudelo (2017), las concentraciones elevadas de oxígeno en el sistema acuático pueden relacionarse al proceso de fotosíntesis que realizan las algas y macrófitas flotantes, por otro lado, estos niveles de oxígeno facilitan de manera considerable el crecimiento de diversas plantas acuáticas, lo cual puede provocar un efecto adverso en el ecosistema, suceso que se observó al momento de realizar los trabajos de campo de la presente investigación. Asimismo, Castillo y Humantínco (2020) en el estudio de comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el humedal Santa Rosa confirman que los niveles altos de oxígeno obtenidos en su evaluación (resultados que oscilan entre 6,4 a 10,3 mg/L), se deben a la aparición de especies vegetales (macrófitas suspendidas) en estaciones de incremento de niveles de agua, los cuales, elaboran fotosíntesis, generando cambios en el medio físico y químico del cuerpo de agua. De igual manera, en la investigación llevado a cabo por Huaman-Vilca *et al.* (2020), en la evaluación de calidad de agua de la laguna Marvilla en los Pantanos de Villa, los valores de oxígeno superan lo establecido, a causa del proceso de fotosíntesis que transforma el carbono en materia orgánica y se libera el oxígeno disuelto en el agua, siendo equivalentes a las concentraciones, en tal sentido este parámetro es de suma importancia, dado que cuando la concentración de oxígeno disuelto baja de 4 mg/L, el agua no es apta para desarrollar vida.

- **Clorofila “a”**

En las dos épocas de monitoreo realizadas se obtuvo concentración de clorofila “a” por debajo del nivel establecido de ECA-Agua. Sin embargo, se puede evidenciar que en la época seca los valores son mayores a diferencia de la época húmeda, en excepción en el P4. En relación con otros humedales, la concentración de clorofila “a” del humedal Santa Rosa fue baja, de acuerdo al estudio efectuado por Moreira y Sabando (2016) los valores de clorofila alcanzaron 0,056 mg/L, debido a la utilización de fertilizantes y pesticidas para sus cultivos

aledaños con contenido de nutrientes esenciales (fósforo y nitrógeno). Además, Díaz y Sotomayor (2013), también analizaron este parámetro y obtuvieron un valor promedio anual de 0,046 mg/L, alegando que la variación de temperaturas afecta de manera directa en la actividad fotosintética de la biomasa microalgal y de la vegetación limitando el desarrollo de los mismos, además señala que el alto valor de este parámetro (clorofila “a”) es originado por el elevado contenido de nutrientes en el cuerpo de agua. Asimismo, en la investigación desarrollada por Quiroz-Santos y Mendoza-Caballero (2022) donde aplicaron modelos matemáticos para el análisis y comportamiento de la clorofila “a” en la laguna principal de ACRAMM, obtuvieron diferentes concentraciones (bajas y altas) dicho comportamiento se debe al aporte de nutrientes (fosforo y nitrógeno) de manera focalizada de diferentes fuentes naturales, además indican que puede deberse a la anidación de aves (residentes y migratorias) presentes en la zona.

Los nutrientes (fósforo y nitrógeno) se encuentran estrechamente relacionados con la biomasa algal y la proporción de plantas acuáticas (macrófitas), es decir, las plantas acuáticas y la biomasa fitoplanctónica tienden a aumentar exponencialmente por la presencia de una carga moderada de nutrientes, en tal sentido los resultados obtenidos de la concentración de fósforo y nitrógeno complementado con lo observado en campo de la presente investigación, se afirma que la presencia abundante de macrófitas en el humedal puede generar una alteración de la disponibilidad de nutrientes en la columna de agua, a su vez puede influir en el crecimiento de algas, ya que, las macrófitas disminuyen la abundancia de fitoplancton a través de competencia directa por los nutrientes y también por la provisión de hábitat (Sipaúba-Tavares y Dias, 2014). Asimismo, la biomasa algal compite con las bacterias que se encuentran en el medio por el ortofosfato también denominado fósforo soluble reactivo, restringiendo el crecimiento del fitoplancton (Roldán y Ramírez, 2008).

Asimismo, se puede manifestar que los niveles bajos de clorofila “a” obtenidos en la investigación son propios de aguas marinas con fuertes influencias de aguas oceánicas, por lo que la biomasa fitoplanctónica es escasa y variado (Márquez, 1996), lo cual es a causa de un fenómeno ambiental como las brisas del mar que puede alterar la capa superficial del agua posiblemente dando lugar a la distribución del fitoplancton, tal como lo afirma

Campos-González *et al.* (2011) en el estudio de distribución de clorofila “a” en las aguas adyacentes a las islas del caribe colombiano.

- **Fósforo total**

Según los resultados obtenidos para este parámetro se observa que los valores sobrepasan el límite establecido por el ECA-Agua para la categoría 4: Conservación del ambiente acuático (Subcategoría E1: Lagunas y Lagos), en las dos temporadas de muestreo y en los 4 puntos de monitoreo, lo cual significa que existe gran cantidad de nutrientes que generan una elevada productividad de vida acuática. Los valores elevados posiblemente se deben a la descarga de fósforo y nitrógeno al suelo y al agua a través de los excrementos y la orina de los animales vacunos, ovinos y porcinos que los pobladores crían y realizan la actividad de pastoreo en el área circundante del humedal e incluso ingresan al humedal para alimentarse de las plantas acuáticas. Además, puede deberse a la gran cantidad de aves que alberga el ecosistema, las cuales también defecan en estos ambientes. Los resultados de la presente investigación se asemejan al estudio efectuado por Choque y Jalisto (2021), donde los valores promedio de fósforo total (0,2008 mg/L) superan el ECA –Agua, siendo la principal causa las excretas de los animales (vacunos y ovinos), el uso de fertilizantes (fosfato di amoniaco, cloruro de potasio y nitrato de amonio), que los agricultores aprovechan para sus sembríos. La gran mayoría de productos químicos utilizados para la agricultura tiene compuestos resistentes a la degradación, por lo que estos residuos llegan al cuerpo receptor a causa de las escorrentías originadas por la lluvia, llegando a depositarse en el fondo del agua (Chota y Ojanama, 2019). Asimismo, Chacón (2021) obtuvo resultados de fósforo total que oscilan entre 0,0361 a 0,6410 mg/L valores que exceden lo permitido, debido a la contaminación antrópica, también, Pinos-Rodríguez *et al.* (2012) indican que las excretas de los animales como bovinos, tienen gran cantidad de nutrientes siendo los principales el fósforo total y nitrógeno total, las cuales son utilizados como fertilizantes para la agricultura. Además, Sánchez (2016), indica que las excretas de las aves menores, contienen gran cantidad de nitrógeno y fósforo. De igual manera, en la investigación realizada por los autores Enrique-Ayala *et al.* (2021) en el humedal de Pantanos de Villa precisa que los valores elevados de fósforo total (resultados que varían entre 0,06 a 0,4 mg/L) es la principal causa de la eutrofización, originado por vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales, cargados de detergentes, jabones y excretas de animales.

- **Nitrógeno total**

Los valores obtenidos para el parámetro de nitrógeno total mostraron resultados elevados, sobrepasando el límite establecido por el ECA-Agua para la categoría 4: Conservación del ambiente acuático (Subcategoría E1: Lagunas y Lagos), según Steinfeld *et al.* (2006) esto pudo ser ocasionado por diferentes factores siendo uno de los más principales el estiércol de los ganados vacunos, ovinos y avifaunas que contienen cantidades considerables de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio), residuos de medicamentos, metales pesados y patógenos, asimismo, el escurrimiento y filtraciones provenientes de los establos y tierras de cultivo cercanos al humedal pueden influenciar en la contaminación del agua (situación que se observó en los trabajos de campo), además, indirectamente la polución del sistema acuático puede deberse por las escorrentías y flujos superficiales procedentes de zonas de pastoreo, actividad agrícola y aguas residuales. Los resultados obtenidos tienen similitud al estudio realizado por Alvarez (2016), quien obtuvo valores elevados de nitrógeno total en ambas temporadas de estudio (valores promedios oscilaban entre 2,20 a 57,70 mg/L), superando lo establecido por el ECA-Agua en el ACR Los Pantanos de Villa. Cabe resaltar que, los valores más representativos obtenidos por el autor corresponden a la temporada seca, debido a que en esta temporada (diciembre) el humedal posee menos caudal y permite la mayor concentración de nutrientes, esto debido al uso de detergentes y vertimiento de desechos orgánicos. Además, Caho-Rodríguez y López-Barrera (2017), determinaron valores de concentración de nitrógeno total que oscilan entre 0,53 a 41,4 mg/L en las dos temporadas evaluadas (seca y lluviosa), sobrepasando los límites permitidos, estableciendo que el principal aportante de nitrógeno total al humedal fue el vertimiento de aguas residuales domésticas. Asimismo, Diaz y Sotomayor (2013) aluden que para la época de estiaje las concentraciones de nitrógeno total presentan un incremento con respecto a la temporada húmeda (en temporada de lluvia es de 201,7 $\mu\text{g/L}$ y en temporada de estiaje es de 230 $\mu\text{g/L}$), debido al vertimiento de aguas residuales sin tratamiento, además, indican que también se deben a la presencia de excretas de ganados vacunos, ovinos y uso de fertilizantes. De igual manera, los autores Choque y Jalisto (2021), indican que las actividades agrícolas, la actividad ganadera son la principal causa de la eutrofización, puesto que cada una de esas actividades aportan porcentajes de nitrógeno y fósforo total al agua. Rodríguez (2012), indica que el nitrógeno y el fósforo se comportan como factores que limitan el crecimiento de los microorganismos en el cuerpo de agua.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)**

De acuerdo a los resultados, los valores de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en el humedal Santa Rosa en los P-01 y P-02 en la época húmeda sobrepasan el límite de 5 mg/L establecido por el ECA-Agua para categoría 4, de igual manera, en la época seca los valores obtenidos en los cuatro puntos de monitoreo también resultaron ser superiores. Según Raffo y Ruiz (2014) mencionan que la alta carga de materia orgánica (representada en valores elevados de DBO₅) de origen residual, facilitan al crecimiento de bacterias y hongos. Además, los valores superiores de DBO₅ estimulan la proliferación de algas y disminuyen la disponibilidad de oxígeno en el agua para las especies, así como también, cambios en el ecosistema acuático, afectando su calidad (incremento de pH y extinción de vida acuática). Por ende, estas elevadas concentraciones orgánicas de la presente investigación podrían deberse al desarrollo de actividades antropogénicas circundantes (crianza de animales y vertimiento de aguas residuales) y la falta de cerco perimétrico del humedal lo cual permite el ingreso directo de los animales (vacunos, ovinos y porcinos), situación observado en campo, ya que, según Steinfeld *et al.* (2006) señalan que el DBO₅ tiene una relación muy estrecha con la descarga o drenaje de efluentes de las áreas destinadas a la cría de ganado. Asimismo, según Huaman-Vilca *et al.* (2020) los resultados obtenidos son superiores (valor promedio de 16,8 mg/L), a consecuencia de las altas concentraciones de materia orgánica, por lo que, los microorganismos requieren mayor cantidad de oxígeno para el proceso de oxidación aeróbica, simultáneamente se podría ver afectado el desarrollo de la fauna y flora acuática. De igual manera, según Chacón (2020) en el estudio realizado en los humedales de Ventanilla demuestra que las concentraciones de DBO₅ (valores que oscilan entre 6,6 a 49,2 mg/L) resultaron ser superiores ampliamente y puede deberse a la influencia de las actividades antrópicas de los visitantes al humedal.

- **Sólidos suspendidos totales (SST)**

Los resultados obtenidos del parámetro en cuestión en los 4 puntos de monitoreo, son superiores al límite (≤ 25 mg/L) establecido por el ECA-Agua para la categoría 4 y subcategoría E1 (Lagunas y lagos), tanto en la temporada húmeda y seca, con excepción del punto P3 de la época seca, con excepción del punto P3 de la época seca, lo cual posiblemente sea porque es una zona poco accesible por la poca presencia de plantas acuáticas y por presentar aguas medianamente profundas. Kulkarni (2011) refiere a que el aumento de

sólidos suspendidos totales en un cuerpo de agua puede afectar en gran medida el uso de agua, limitando la penetración de la luz y por consecuencia se verá interrumpido la actividad fotosintética del fitoplancton y plantas acuáticas (macrófitas). Asimismo, los SST pueden transportar sustancias tóxicas o nocivas especialmente cuando las partículas son pequeñas ($<63\mu\text{m}$) (Gómez y Dalence, 2014). Los sólidos suspendidos totales provenientes de aguas residuales pueden ocasionar el almacenamiento de lodos y generar condiciones anaeróbicas (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2017). Por lo tanto, el incremento de niveles de concentración de SST en el humedal Santa Rosa puede deberse por el vertimiento de aguas residuales, por la cercanía de las viviendas y por la práctica de la ganadería en la zona, al respecto se puede señalar que durante los monitoreos se observaron la presencia de ganado en el humedal. Asimismo, Boné *et al.* (2019) señala que el pisoteo constante del ganado tanto como del fondo y de las orillas resuspende la materia de los sedimentos y también ocasionan la proliferación de especies vegetativas del ecosistema, así mismo, puede producir la erosión de suelos. De igual manera, Boné *et al.* (2019) y Steinfeld *et al.* (2006), indican que la presencia de una alta densidad de animales origina la compactación superficial y el aumento de carga de sedimentos en el sistema acuático por la deposición directa de material fecal, el escurrimiento provenientes de los establos y lixiviación que puede afectar de manera significativa el recurso hídrico, ocasionando la turbiedad en el agua, reduciendo la penetración de luz y con ello impidiendo el proceso de fotosíntesis, así mismo, disminuyendo su calidad y aumentando el estado trófico del cuerpo de agua.

- **Coliformes termotolerantes (fecales)**

Los resultados obtenidos para este parámetro en las 2 temporadas muestreadas, evidencian que en la temporada húmeda (época donde el nivel del agua es alto) los valores se encuentran por debajo de límite establecido por el ECA-Agua (1000 NMP/100 mL), mientras que en la temporada seca (época donde el nivel del agua es bajo) los resultados superan el límite señalado por el ECA-Agua. La presencia de altos niveles de coliformes en el cuerpo de agua del humedal Santa Rosa puede deberse por la proximidad de las zonas urbanas, la inadecuada disposición de residuos sólidos; así mismo, puede relacionarse con los excrementos y orina con agentes patógenos de vacunos, ovinos y porcinos de la zona, ya que, estos suelen introducirse al humedal para forrajear sobre la vegetación que se encuentra cerca y dentro del humedal. De igual manera, se puede considerar como fuente de contaminación microbiológica a la avifauna que habitan en este ecosistema acuático. Por consiguiente, los

altos niveles de coliformes fecales se encuentran vinculados e influenciados por los macronutrientes (fósforo y nitrógeno) porque, estos parámetros resultaron con altos niveles de concentración. Esta situación es similar a la investigación realizada por Huaman-Vilca *et al.* (2020) en la evaluación de calidad de agua de la laguna Marvilla en los Pantanos de Villa, donde señala que los altos niveles de concentración de coliformes termotolerantes se deben a la contaminación por aguas residuales de las urbanizaciones y por excretas de caballos y aves presentes en el área del humedal, además, menciona que la cantidad de coliformes fecales en el agua es un indicador de la contaminación patogénica y bacteriológica. Del mismo modo, en el estudio ejecutado por Rodríguez *et al.* (2017) en el ACR humedales de Ventanilla, afirma que el incremento de coliformes fecales principalmente se debe a la interacción de la población con el humedal por la posible descarga de desagües, disposición de desperdicios cerca a los cuerpos de agua y debido a las heces de animales; posteriormente, esto puede alterar la composición, estructura y dinámica del ecosistema.

- **Transparencia del agua (disco Secchi)**

Los valores obtenidos de las mediciones registradas de la transparencia del disco Secchi en los 4 puntos de muestreo, se evidencia que la mayor transparencia del agua se da en la temporada húmeda en los puntos P2, P3 y P4 (con excepción del P1), con respecto a la temporada seca. Estos resultados reflejan que en la época seca se apreciaron aguas más turbias, es decir, con menor transparencia en referencia a la época húmeda, posiblemente, es debido a la reducción del nivel del agua, gran cantidad de nutrientes que aceleran el crecimiento de diversidad de flora presente en el humedal y a la alta concentración de sólidos suspendidos lo que conlleva al incremento de la turbidez del agua a diferencia de la época húmeda, por otro lado, Boné *et al.* (2019) mencionan que el pisoteo continuo del ganado resuspende los sólidos de los sedimentos del sistema acuático originando un aumento de turbidez y disminuyendo la calidad del agua, al respecto se puede señalar que durante los monitoreos se observaron la presencia de animales en el humedal, gran cantidad de sólidos y con tonalidad oscura el cuerpo de agua. Este escenario se asemeja con el estudio realizado por Zambrano (2018) en el humedal El Carmen donde se evidencia que los bajos niveles de transparencia de agua durante la época seca son debido a la abundancia de nutrientes que ocasiona el crecimiento desmesurado de fitoplancton y origina la turbidez en el agua, a su vez, las plantas acuáticas permanecen sumergidas en la oscuridad. Del mismo modo, para Moreira y Sabando (2016) el valor de transparencia del agua tiene el fin de estimar la

extinción de luz en el agua, así mismo, permite conocer cuándo, cómo y hasta qué punto se debe de actuar para cumplir con los estándares adecuados, por ende, los bajos niveles de transparencia, es debido a las altas concentraciones de materia orgánica en el fondo del sistema acuático, debido a la cantidad de nutrientes.

- **Fósforo soluble reactivo**

Los resultados obtenidos de fósforo soluble reactivo, presentan una variación en las dos épocas (seca y húmeda) de monitoreo. Observándose claramente que en la época de verano los valores son más elevados con respecto a la época húmeda. Los ortofosfatos también llamados fósforo soluble reactivo, es la medida de concentración de fósforo biológicamente disponible en el cuerpo del agua, sin embargo, es importante señalar que no todo fósforo disuelto se encuentra ciertamente utilizable para los organismos, ya que, depende de muchos factores (la dinámica del sistema acuático, la temperatura y la luz solar), incluyendo las especies presentes y sus concentraciones (Sánchez, 2001; Sánchez, 2017). Según Martínez (2006) este parámetro normalmente en el agua se encuentra en pequeñas concentraciones, debido a que es integrado de manera rápida por las plantas acuáticas y los sedimentos, convirtiéndolos en fosfatos condensados y orgánicos. Sin embargo, Rodríguez (2012) señala que, cuando las aguas lénticas y lólicas superficiales padecen de una elevada contaminación originada por la acumulación excesiva de materia orgánica y que el sedimento de esta materia es descompuesto paulatinamente a causa de la acción bacteriana, ocasionando condiciones anóxicas del cuerpo de agua y consecuentemente la liberación del fósforo en forma de ortofosfatos, de tal manera, que al cabo de un prolongado tiempo el sistema acuático sea invadido por bacterias y otros organismos anaerobios, generando un desequilibrio del ecosistema acuático, dando lugar al proceso de eutrofización.

Las concentraciones de los ortofosfatos están muy relacionadas con los nitratos, según lo indica Rodríguez (2012) por lo que, si alguno de los nutrientes aumenta, también lo hace el otro. Esto ocurre debido a que la fuente principal del crecimiento del fitoplancton son los mismos nutrientes que ingresan al cuerpo de agua ya sean aguas residuales cargado con ortofosfatos o nitrógenos, por lo que se puede mencionar que la principal fuente de concentración de este parámetro en el presente estudio puede deberse al vertimiento de aguas residuales de las zonas urbanas aledañas. Asimismo, los elevados valores de ortofosfatos

podrían deberse a la práctica de la agricultura y ganadería aledañas al humedal que parecen estar vinculados a la carga de materia orgánica (medida a través de la DBO₅) y las grandes cantidades de sólidos suspendidos totales.

- **Temperatura**

El resultado obtenido para la temperatura muestra claramente que en la época seca es mayor respecto a la época húmeda. En el mes de enero la temperatura del humedal Santa Rosa oscila entre 29 a 30 °C, es evidente que es época de verano; por lo tanto, la temperatura será mayor. Zouiten (2012) menciona que, la temperatura es un factor ambiental importante en el ambiente acuático, ya que, influye en la propagación y supervivencia de los microorganismos y también en su reproducción, es decir, a mayor temperatura existirá un crecimiento exponencial del fitoplancton, siempre y cuando los nutrientes estén en cantidades suficientes. Del mismo modo, Moreira y Sabando (2016), en el resultado de su investigación, obtuvo un incremento de temperatura del agua el mes de diciembre (época seca), la cual alcanzó valores de hasta 30 °C. Indica también que a mayor temperatura existe mayor actividad fotosintética, originando proliferación de fitoplancton, algas y plantas acuáticas, además, que este parámetro está estrechamente relacionado con el oxígeno disuelto, ya que, a mayor temperatura disminuye la solubilidad el oxígeno disuelto, situación que se asemeja a la presente investigación. Además, Enrique-Ayala *et al.* (2021) en su estudio de Pantanos de Villa presenta una relación de oxígeno disuelto y la temperatura, alegando que, los valores bajos de OD puede estar influenciado por las altas temperaturas de verano, generando que los organismos compiten por el consumo de oxígeno para el desarrollo de sus procesos naturales.

Por otro lado, Vásquez *et al.* (2012) señala que, la temperatura influye en el proceso de eutrofización, debido a que este factor puede variar dependiendo las condiciones, es decir, que puede acelerar o disminuir las reacciones químicas de la materia orgánica presente en el ecosistema acuático, también menciona que, si el cuerpo de agua está ubicado en un piso altitudinal a nivel del mar con temperaturas que son mayores a 24 °C, existe mayor probabilidad de eutrofización. En tal sentido, de acuerdo a la investigación se puede afirmar que el humedal Santa Rosa, en la época seca, donde se presenta mayor temperatura, posiblemente exista un proceso de eutrofización acelerado.

4.2. Objetivo N°02: Determinar el nivel de eutrofización del humedal Santa Rosa

Debido a los diversos problemas de calidad de agua de los sistemas acuáticos como la eutrofización, ha sido necesario desarrollar diferentes índices de estados tróficos a lo largo del tiempo, los cuales están en función al tipo de clima. Por ejemplo: El índice de Carlson y la metodología de OCDE son aplicables en climas templados, mientras que el método de CEPIS es adaptado para climas tropicales, así mismo, el índice trófico propuesto por Toledo es adecuado para climas subtropicales y tropicales (Maja, 2007).

Para la evaluación del parámetro de fósforo total a través del grado de eutrofia, se contrastaron los resultados obtenidos con la clasificación del nivel trófico propuesto por Toledo, determinando que el humedal Santa Rosa se encuentra en nivel eutrófico en las dos temporadas evaluadas, excepto el P4 de la temporada húmeda, el cual resultó una condición mesotrófica, posiblemente, debido a la cercanía de zonas urbanas, el desarrollo de actividades ganaderas aledañas y el uso de abonos fosfatados por la práctica de la agricultura en la zona sur del humedal, pueden llegar al cuerpo de agua por medio de la escorrentía y/o por descargas de aguas residuales, así mismo, las bandadas de aves que habitan en este ecosistema contribuyen aún más esta carga de nutrientes, lo que ocasiona el crecimiento acelerado de plantas acuáticas y la pérdida de biodiversidad del humedal. Lo mencionado líneas arriba, se complementan con lo dicho Zambrano (2018) en el estudio realizado en la laguna natural El Carmen en la cual se aplicó la metodología de Toledo y se obtuvo niveles altos de concentraciones de fósforo total en las dos temporadas evaluadas, con respecto a la época seca las concentraciones son más representativas similares a la presente investigación, por lo que, el autor manifiesta que se encuentra en estado eutrófico, debido a que los asentamientos humanos se encuentran alrededor de la laguna y vierten aguas residuales cargados de nutrientes, ocasionando la contaminación ambiental. Asimismo, Alvarez (2016) en el estudio efectuado en los Pantanos de Villa, indica que las lagunas se encuentran en un estado hipereutrófico según la clasificación de estado trófico de lagos de Reddy y Delaune, mostrando que los altos niveles de fósforo se mantienen en el cuerpo de agua, debido al menor lavado de nutrientes a causa de un reducido caudal de las lagunas en los meses de verano, así mismo, estos nutrientes provienen de los detergentes utilizados en las actividades de limpieza como el lavado que realizan las personas aledañas, de igual manera, las aguas

residuales de los canales de los alrededores pueden ser los causantes de la degradación del ecosistema.

Para la evaluación del parámetro de fósforo soluble reactivo (FSR) a través del grado de eutrofia, se contrastaron los resultados obtenidos con la clasificación del nivel trófico propuesto por Toledo, determinando que el humedal Santa Rosa se encuentra en una condición de mesotrófico en la época húmeda y en un estado eutrófico en la temporada seca. Según Roldán y Ramírez (2008) estos resultados demuestran que existe una relación entre las concentraciones de ortofosfatos y pH, el fósforo soluble incrementa cuando el pH del agua es básico al igual que en la presente investigación y sucede lo contrario en pH ácidos, por lo que, esto explica que existe una mayor abundancia de macrófitas en el sistema acuático, situación que se pudo observar cuando se realizó el trabajo en campo, asimismo, el fósforo soluble está estrechamente relacionado con la temperatura para la productividad del fitoplancton, bacterias y la vegetación acuática, ya que, el fósforo soluble es consumido de manera rápida por el aumento del metabolismo la biomasa fitoplanctónica y las plantas a mayor temperatura, por lo que generalmente estos valores de ortofosfato deberían presentarse en concentraciones bajas, caso contrario son ecosistemas muy eutrofizados por actividades antropogénicas. Por lo tanto, los altos valores de concentración de fósforo soluble en la presente investigación durante la época seca posiblemente sea por el desarrollo de actividades aledañas al humedal como vertimiento de aguas residuales cargados de nutrientes, de igual manera los valores elevados de ortofosfatos resultan estar asociados a la alta carga de materia orgánica (medida mediante la DBO_5), del mismo modo se vinculan con la baja transparencia de agua por una gran cantidad de sólidos suspendidos presentes en el cuerpo de agua del humedal Santa Rosa (Rodríguez, 2012). Asimismo, Alvarez (2016) en el estudio de Pantanos de Villa presenta valores altos de concentraciones de fósforo soluble (valores promedios que oscilaron entre 0,012 a 1,751 mg/L en la época seca y en la época húmeda de 0,001 a 1,001 mg/L), catalogando al ecosistema acuático como hipertrófico, sobre todo en épocas de verano donde los valores son más representativos debido a la disminución del nivel del agua, lo que causa que los nutrientes se mantenga en mayor concentraciones en el cuerpo de agua, situación que se asemeja a la presente investigación, además señala que el incremento de fósforo soluble posiblemente por las aguas residuales de canales y utilización de detergentes de las zonas urbanas.

Para la evaluación del parámetro de clorofila “a” a través del grado de eutrofia, se compararon los resultados obtenidos con la clasificación del nivel trófico propuesto por Toledo, determinando que en las dos épocas de muestreo (húmeda y seca) el humedal Santa Rosa indica una condición oligotrófica, clasificación que no coinciden con otras investigaciones, ya que, en su mayoría reportan valores elevados de concentraciones de clorofila “a” en relación con los nutrientes. Esta clasificación oligotrófica, posiblemente está asociado a la poca penetración de luz por la alta carga de material suspendido en el sistema acuático y por la presencia de sustancias tóxicas en el agua, los cuales pueden ser factores que limita el crecimiento de la biomasa fitoplanctónica en el agua (Sierra, 2011), los resultados de los parámetros fisicoquímicos descritos anteriormente corroboran esta conclusión, de igual manera, según Márquez (1996) y Campos-González *et al.* (2011) la clorofila “a” es escaso por las influencias de aguas marinas (brisas), las cuales alteran la capa superficial mediante la resuspensión de nutrientes que son utilizados por los individuos o la distribución del fitoplancton. Asimismo, Roldán y Ramírez (2008) hacen mención que la cantidad de fósforo soluble que se requiere para la abundancia de la biomasa algal, varía de acuerdo al tipo de especie, así mismo, las comunidades fitoplanctónicas compiten con las bacterias presentes en el sistema acuático por el ortofosfato, consecuentemente limitando el crecimiento del fitoplancton, lo cual posiblemente sea una de las razones por las cuales se obtuvieron concentraciones bajas en las temporadas evaluadas.

Para la evaluación del parámetro de transparencia del agua a través del grado de eutrofia se compararon los resultados obtenidos con la clasificación del nivel trófico propuesto por Toledo, de acuerdo a los resultados obtenidos el humedal Santa Rosa se encuentra en un estado trófico IET > 54 en ambos periodos climáticos. Esta baja transparencia posiblemente es debido a que existe una relación considerable con las concentraciones de sólidos suspendidos, ocasionando un aumento de turbidez del agua, tendiendo a tornar un color oscuro, dificultando el paso de la luz necesario para el proceso de la fotosíntesis de la biomasa del fitoplancton y las plantas acuáticas, lo cual está fuertemente influenciada por las actividades aledañas (ganadería, agrícola, vertimiento de aguas residuales y desechos). Los resultados son semejantes al estudio realizado por Vera y Zambrano (2021) donde se evidencia valores bajos de transparencia de agua en las dos estaciones de muestreo (seca y lluviosa), consecuentemente, catalogando el cuerpo de agua como eutrófico aplicando el índice de estado trófico de Carlson modificado por Toledo, debido a la alta carga de

nutrientes, lo cual favorece la productividad de algas y otros organismos acuáticos no deseables, que posteriormente mueren y aumentan la turbidez y generan malos olores, consecuentemente afectan a la calidad del agua, lo cual es ocasionado por las actividades antropogénicas aledañas. De igual manera, para Zambrano (2018) los valores obtenidos referente a transparencia de agua en las dos temporadas son semejantes a la presente investigación, clasificando como estado eutrófico debido a la abundancia de nutrientes y crecimiento desmesurado de fitoplancton lo que ocasiona la turbidez y el crecimiento acelerado de plantas acuáticas, producido por el desarrollo de actividades de los habitantes de la zona. Asimismo, para Quiroz-Santos y Mendoza-Caballero (2022) en la evaluación de estados tróficos de la laguna principal del ACRAMM reportaron resultados similares a la presente investigación, quienes catalogaron el cuerpo de agua como eutrófico dado que los resultados se encuentran hacia el límite superior de la clasificación, debido a la baja claridad del agua por la abundancia de nutrientes, lo cual esta influenciada por factores naturales como antropogénicos.

Finalmente, de acuerdo a los resultados obtenidos de la concentración de fósforo total, fósforo soluble reactivo, concentración de clorofila “a” y nivel de transparencia de agua aplicando el índice de Carlson modificado por Toledo, el humedal Santa Rosa en el periodo húmedo se cataloga entre mesotrófico y eutrófico mientras que durante la época seca se clasifican como eutrófico. Según Sierra (2011) y Moreno *et al.* (2010) es un sistema acuático muy rico en nutrientes, lo cual genera una producción abundante de vegetación, del mismo modo es un indicativo de niveles altos de oxígeno en la parte superficial del cuerpo de agua, mientras en la parte inferior es deficiente en oxígeno, por ende, se evidencia en la presente investigación altas concentraciones de nutrientes, materiales suspendidos, baja transparencia de agua y excesiva producción vegetal, lo cual refleja una alta influencia antrópica como se mencionó líneas arriba. Según Moreira y Sabando (2016) el estado trófico en los 3 meses de muestreo del embalse Sixto Duran Ballén tiene una clasificación eutrófica, lo cual es dado por las diversas actividades que realiza la población, ya que, las zonas urbanas se encuentran cercano al embalse, así como utilizan sustancias químicas que facilitan el crecimiento de las plantas (fertilizantes e insecticidas). De igual manera, para Vera y Zambrano (2021) el humedal La Segua se clasifica como eutrófico en las dos épocas evaluadas, también señalan que están influenciadas por el desarrollo de actividades antropogénicas (descarga de nutrientes en exceso), por lo cual puede verse afectada toda la ecología del humedal.

Asimismo, para Alvarez (2016) en el humedal de Pantanos de Villa en las dos estaciones de muestreo (verano e invierno) se encuentran en un estado eutrófico a hipereutrófico por las altas concentraciones de macronutrientes (fósforo y nitrógeno) lo cual es debido a las altas concentraciones de detergentes por actividad de lavado, vertimiento de aguas residuales y residuos avícolas.

4.3. Objetivo N°03: Determinar el Índice de calidad del agua (ICA-PE) del humedal Santa Rosa

De acuerdo a la aplicación del ICA-PE y el análisis de la información de los 4 puntos de monitoreos realizados de forma puntual y referencial en las dos épocas de muestreo (húmeda y seca) de la calidad de agua del humedal Santa Rosa, se determinó que el cuerpo de agua del humedal en la época húmeda presenta un valor que oscila de 45,60 hasta 66,15, mientras que, en la época seca los resultados comprenden de 44,62 a 46,83 en una escala de 0 a 100, estos valores clasifican el cuerpo de agua como “regular” (representado por el color verde), excepto el P3 (época seca) clasificando al recurso hídrico como “malo” (representado por el color naranja), lo cual refleja que la calidad del agua natural, se encuentra amenazada o dañadas, alejándose de las condiciones aceptables, por lo que requieren de tratamiento, hecho que, se evidencia a través de los resultados obtenidos de fósforo total, nitrógeno total, DBO₅ y SST en la época húmeda y valores de fósforo total, nitrógeno total, DBO₅, pH, SST y coliformes fecales de la época seca, cuyos valores sobrepasan los estándares de calidad de agua establecidos por el ECA-Agua para la categoría 4. Los cuales son influenciados con el desarrollo de actividades antrópicas aledañas, ganadería y actividad agropecuaria, lo cual genera una contaminación ambiental. Asimismo, en el estudio realizado por Huaman-Vilca *et al.* (2020) aplicando el ICA-PE determinó que la calidad de la Laguna Marvilla es regular ya que, se obtuvo un valor de 46,3, de los 6 parámetros evaluados sobrepasan los límites del ECA-Agua de categoría 4, tales como: nitratos, fósforo total, coliformes termotolerantes, amoníaco total, DBO₅, pH y conductividad eléctrica parámetros similares a la presente investigación, la alteración de estos parámetros están ocasionados por la descarga de aguas residuales, la presencia de excretas de animales de la zona y arrojado de residuos sólidos. Además, en el estudio realizado por Chacón (2020) en el humedal de Ventanilla empleando el índice de calidad de agua (ICA-PE) para la época húmeda, menciona que, los resultados presentados de los parámetros tales como: DBO₅, fósforo total, sólidos suspendidos totales, plomo y zinc, superaron los límites establecidos por el ECA-Agua, clasificando al humedal

como regular en los puntos P1, P2, y P4, mientras que, el punto P3 se clasificó como malo, indicando que el ACR Humedales de Ventanilla no se encuentran en estado óptimo como corresponde a su categoría de área protegida, ya que, existen una alta influencia antrópica aledañas al humedal, situación que se asemeja a la presente investigación. De igual manera, en la investigación realizada por Enrique-Ayala *et al.* (2021) aplicando el Índice de Calidad del Agua de la Unión Europea (ICA- UWQI) determinan que la calidad de agua es clasificada como marginal debido a las altas concentraciones de DBO₅, nitrato, fósforo, OD, *Escherichia coli*, y conductividad eléctrica son superiores a límites establecidos por el ECA-Agua para categoría 3 y 4, señalando que los servicios ecosistémicos se ven afectados por el desarrollo de actividades aledañas como: descarga de aguas residuales, presencia de excretas de animales, residuos sólidos y fábricas aledañas, situaciones que tienen similitud a la presente investigación. Del mismo modo, en el estudio realizado por Alarcón y Ñique, (2014) en la laguna Los Milagros la calidad de agua fue determinada a través del índice de calidad de agua establecido por la National Sanitation Foundation de Estados Unidos (NSF), método que no es aplicado en la presente investigación, sin embargo, existe similitud en la evaluación de parámetros y situaciones de afectación al sistema acuático. De tal manera, que las concentraciones que son superiores al ECA-Agua son: nitratos y fosfatos clasificando al cuerpo de agua como calidad media con un valor de 62, demostrando que el recurso hídrico está siendo afectado sobre todo en la época de estiaje por uso de fertilizantes en zonas agrícolas aledañas, actividades de pastoreo de ganado e instalaciones de letrinas, ocasionando la afectación de la conservación del ambiente acuático y su aprovechamiento.

4.4. Objetivo 04: Determinar la relación de la calidad del agua y el nivel de eutrofización del humedal Santa Rosa

El humedal de Santa Rosa, a nivel de la calidad del cuerpo de agua y el nivel de eutrofización, se encontró que existe una correlación positiva muy alta respecto al parámetro de nitrógeno total ($p = 0,00$ y $r = 0,948$), además se determinó para el parámetro de fósforo total una significancia $p = 0,00$ y un índice $r = 0,950$ mostrando una correlación positiva alta; de igual modo, se evidencia una correlación alta y significativa para el parámetro de temperatura ($p = 0,004$ y $r = 0,880$). Estos valores son similares a los obtenidos por Huaman-Vilca *et al.* (2020) quienes reportaron que los parámetros analizados a nivel del nitrógeno total, fósforo total y temperatura tenían una correlación significativa con el nivel de eutrofización en la laguna Marvilla en Los Pantanos de Villa, además de no cumplir con los estándares de

calidad ambiental (ECA) establecidos. También, se tiene semejanzas respecto al nivel de eutrofización reportado por Vera y Zambrano (2021), quienes clasificaron como eutrófico al humedal La Segua con relación a la calidad de su cuerpo de agua.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. La evaluación de los parámetros fisicoquímicos del humedal Santa Rosa demostraron que el fósforo total, nitrógeno total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), sólidos suspendidos totales (SST), pH y coliformes termotolerantes no cumplen con los límites establecidos por el ECA-Agua para la categoría 4: Conservación del ambiente acuático (Sub categoría E1: Lagunas y lagos). Esta alteración de los parámetros posiblemente se debe a las condiciones en la que se encuentra el humedal, en esta, la población aledaña desarrolla diferentes actividades tales como: pastoreo de animales, inadecuada disposición de residuos, descarga de aguas residuales y la práctica agrícola aledaña. No obstante, los parámetros óptimos fueron oxígeno disuelto (OD) y clorofila “a” los cuales posibilitan un mayor desarrollo de la vida acuática e indicando el estado del cuerpo de agua.
2. Las concentraciones de los diferentes parámetros evaluados y analizados en el humedal en los dos periodos de muestreo no fueron constantes y registraron variación, ya que, en la temporada seca, los valores de los parámetros de pH, temperatura, clorofila “a”, fósforo total, nitrógeno total, DBO₅, sólidos suspendidos totales y coliformes fecales incrementan respecto a la temporada húmeda, a diferencia de los parámetros de oxígeno disuelto y transparencia de agua; esta situación puede estar dado por principalmente por el incremento de temperatura y reducción del volumen del agua del sistema acuático.
3. El grado de eutrofización del humedal Santa Rosa durante la temporada seca en los cuatro puntos de muestreo es eutrófico, sin embargo, en la temporada húmeda fue mesotrófico con tendencia a eutrófico según la aplicación de la metodología de Índice de estado trófico de Carlson modificado por Toledo (1983),

debido a las elevadas concentraciones de nutrientes, generado por múltiples factores, así como: desarrollo de actividades antropogénicas aledañas (práctica de pastoreo y agricultura) que originan la contaminación directa del sistema acuático.

4. De acuerdo a la evaluación de la calidad del agua aplicando la metodología para la determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-PE para los cuerpos de agua continentales superficiales del ANA - 2018, se demuestra que el índice de calidad de agua del humedal Santa Rosa tanto en la temporada húmeda y en la temporada seca se clasifica dentro de la categoría “REGULAR”, excepto el P3 (época seca) categorizado como “MALO”, ya que, se encuentran dentro de los valores 44 - 74 comprendido entre un rango de (0 - 100), estos valores están influenciados por los parámetros que excedieron su valor permisible ECA-Agua, dando lugar a una calidad de agua que no presenta condiciones óptimas como corresponde a su categoría de ecosistemas frágiles, en tal sentido podrían causar daños a la salud y la conservación del ambiente acuático.

5. Según los análisis realizados para la relación de los parámetros de la calidad del agua y el nivel de eutrofización del humedal Santa Rosa, existe una correlación significativa de los parámetros tales como: fósforo total, nitrógeno total y temperatura, debido a que son variables que contribuyen al proceso de eutrofización del humedal.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar investigaciones en la que se incluya más parámetros y mayor cantidad de puntos de monitoreo en diferentes estaciones que permitan determinar el índice de calidad de agua (ICA-PE) con valores más exactos y asertivos en el índice de calidad de agua.
- Se recomienda evaluar y determinar las relaciones entre fósforo y nitrógeno para determinar el factor limitante del fitoplancton en el agua, ya que, en la presente investigación, se presentaron concentraciones bajas de clorofila “a”, por ende, es importante conocer la variabilidad que limita el crecimiento del mismo.
- Se recomienda a las municipalidades provinciales y distritales, implementar un cerco perimétrico para evitar el ingreso de animales (ovejas, vacas y cerdos) por el pastoreo, con el fin resguardar, conservar y reducir la contaminación del humedal Santa Rosa. Asimismo, se recomienda fiscalizar las diversas actividades adyacentes al humedal respecto a gestión y disposición de residuos sólidos y de construcción, tratamiento de aguas residuales y otros.
- Se recomienda que, el MINAM, gobiernos regionales, provinciales y distritales, universidades y otras instituciones desarrollen diversos programas de sensibilización de manejo y disposición de residuos sólidos, construcción y manejo de productos químicos en la agricultura con el objetivo de promover la protección y conservación de los recursos naturales y servicios ambientales que provee este ecosistema del humedal Santa Rosa

- Se recomienda que el MINAM, gobiernos regionales, provinciales y distritales destinen recursos financieros y técnicos para realizar el mantenimiento y limpieza del humedal Santa Rosa a fin de evitar la invasión de plantas acuáticas superficiales que impide la oxigenación del sistema acuático.
- Se recomienda a las municipalidades provinciales y distritales la implementación de una planta de tratamiento o zanjas de desviación para las excretas y orina de los ganados, ovinos y porcinos procedentes de los establos aledaños, ya que, mediante la filtración y lixiviación pueden ingresar al humedal con mayor facilidad contaminando el agua y acelerando el proceso de eutrofización.
- En la presente investigación se evidencia altas concentraciones de macronutrientes (fosforo y nitrógeno), materia orgánica (medida a través de DBO₅) y coliformes fecales, por ende, se recomienda reanudar la recuperación del humedal Santa Rosa aplicando la combinación de sistemas de nanotecnología y biológicos propuesto e implementado por científico Marino Marikawa, lo cual consiste, en la técnica del nanoburbujeo y los biofiltros para reducir la carga contaminante, donde los metales pesados, microorganismos y cargas inorgánica son atraídos por las nanoburbujas, después desaparecen y sueltan radicales libres que descomponen los patógenos y los biofiltros permiten la absorción de los contaminantes.

REFERENCIAS

- Aizaki, M., Otsuki, A., Fukushima, T., Hosomi, M., y Muraoka, K. (1981). Application of Carlson's trophic state index to Japanese lakes and relationships between the index and other parameters. *Revist Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 675-681.
- Alcántara, B., Jiménez, R., y Portocarrero, O. (2009). Caracterización y evaluación de los reactores biológicos principales del humedal Santa Rosa como base para su conservación, manejo y gestión. *Gobierno Regional de Lima - GORE LIMA*. <https://docplayer.es/30463331-Characterizacion-y-evaluacion-de-los-factores-biologicos-principales-del-humedal-de-santa-rosa-como-base-para-su-conservacion-manejo-y-gestion.html>
- Alarcón, B., y Ñique, M. (2014). Índice de calidad del agua según NSF del humedal Laguna Los Milagros (Tingo María, Perú). *Revista Indes*, 2(2), 98-107 <https://www.semanticscholar.org/paper/%C3%8Dndice-de-calidad-del-agua-seg%C3%BAAn-NSF-del-humedal-P%C3%A9rez-%C3%81lvarez/6517132906c7650b710dfba26afcf1b3d921414b>
- Alvarez, C. (2016). *Determinación Analítica de detergentes en las aguas de los Pantanos de Villa*. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional de la Pontificia Universidad Católica del Perú. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/7570/ALVAREZ_GUTIERREZ_CARMEN&PANTANOS_DE_VILLA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ansaldi, M., y Páez, I. (2017). Eutrofización, Un nombre raro, un tema cercano. *Revista Investigación HA*. <https://docplayer.es/87216198-Un-nombre-raro-un-tema-cercano.html>
- Aponte, H., y Ramírez, D. (2011). Humedales de la costa central del Perú: Estructuras y amenazas de sus comunidades vegetales. *Ecología aplicada*, 10(1). <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v10n1/a04v10n1>
- Aragón, J. (2014). Transparencia y colores del Agua. *Boletín especial del Día Mundial del Agua*.
- Aranda, N. (2004). *Eutrofización y calidad del agua de una zona costera tropical*. [Tesis doctoral, Universidad de Barcelona]. Repositorio institucional Universidad de Barcelona. <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/35296>

- Arohuanca, C. (2016). *Evaluación de la carga de nitrógeno y fósforo en las principales fuentes puntuales que vierten al Lago Titicaca como fuente de eutrofización Puno 2015*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa], Repositorio institucional de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2783/AMarcaca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Autoridad Nacional del Agua (2018). Metodología para la Determinación del Índice de calidad de agua ICA- PE aplicado a los cuerpos de agua continentales. <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2440>
- Autoridad Nacional del Agua (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos superficiales. <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/protocolo-nacional-para-el-monitoreo-de-la-calidad-de-los-recursos-hidricos-0>
- Aznar, A., y Alonso, A. (2000). Determinación de los parámetros físico químicos de calidad de las aguas. *Revista Gestión Ambiental*, 2(23), 12-19. <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>
- Baird, R., Eaton, A., y Rice, E. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.) Washington DC. Oficina de publicaciones Asociación Estadounidense de Sector Pública 800. <https://studylib.es/doc/8946126/standard-methods-for-the-examination-of-water-and-wastewa>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile 2016. *Calidad del Agua*. Chile. <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/23747/2/Calidad%20del%20Agua%20Final.pdf>
- Blancas, C., y Hervás, E. (2001). Contaminación de las aguas por nitratos y efectos sobre la salud. *Manual de Salud Ambiental*, 87.
- Bonansa, M., Ledesma, C., Rodríguez, C., y Sánchez, A. (2012). Concentración de clorofila-a y límite de zona fótica en el embalse Río Tercero (Argentina) utilizando imágenes del satélite CBERS-2B. *Revista Ambia-Agua* (3), 61-71. <http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v7n3/v7n3a06.pdf>
- Boné, E., Casa, V., Metaloni, G., y Safra, V. (2019). Ganadería y Calidad de Agua en el Delta del Paraná Desafíos y recomendaciones. Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales.

https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/124183/CONICET_Digital_Nro.79_fcfead-5651-4218-ba04-debfaa081522_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

- Bressler, D., y Michael, P. (2005). Effects of eutrophication on wetland ecosystems.
- Cabos, J., Bardales, C., León, C., y Gil, L. (2019). Evaluación de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del biol y biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno en un biodigestor de geomembrana de policloruro de vinilo. *Revista Arnaldoa*, 26(3). http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992019000300021&script=sci_arttext
- Caho-Rodríguez, C., y López-Barrera, E. (2017). Determinación del Índice de Calidad de Agua Para el sector occidental del humedal Torca- Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. *Revista Producción + Limpia*, 12(2), 35 – 49. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552017000200035
- Camargo, J., y Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Revista Ecosistemas*, 16(2), 98-10. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/457>
- Campos-Gonzales, M., Vargas, J., Franco-Herrera, A., y Medina, J. (2011). Distribución de la Clorofila "a" en las aguas adyacentes a las islas de Providencia y Santa Catalina Caribe Colombiano. *Revista Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 40(2), 347-360. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-97612011000200007&script=sci_arttext
- Cárdenas, G., y Sánchez, I. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Revista Universidad y Salud*, 15(1), 72-88. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072013000100007
- Carlson, R. (1977). A trophic State index for lakes. *Revista Limnological Research Center*, 22(2).
- Carpenter, S., Caraco, N., Corell, D., Howarth, R., Sharpley, A., y Smith, V. (1998). Contaminación No puntual de Aguas Superficiales con Fósforo y Nitrógeno. *Revista Tópicos en Ecología* (3).

- Castillo, R., y Humantínco, A. (2020). Variación espacial de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la zona litoral del humedal costero Santa Rosa, Lima, Perú. *Revista de biología tropical*, 68(1), 50-68. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v68n1/0034-7744-rbt-68-01-50.pdf>
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) (2001). Metodologías Simplificadas para la Evaluación de Eutrofización en Lagos Cálidos Tropicales. Programas Regional CEPIS/HPE/OPS 1981-1990.
- Ciencias Ambientales (2003). Determinación de Fosfatos en aguas por Espectrofotometría. *Revista Técnicas Avanzadas en Química*. <https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/TAQ/curso0304/guiones0304.pdf>
- Chacón, R. (2020). *Evaluación de la biodiversidad de los humedales de Ventanilla*. [Tesis de Grado, Universidad nacional Mayor de San Marcos]. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/15859/Chacon_gr.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chapa, C., y Guerrero, R. (2010). Eutrofización abundancia que mata. Limusa y Colegio de Ingenieros Ambientales. <https://bibliotecas.umar.mx/publicaciones/Eutrofizacion.pdf>
- Chelsey, L., y Clint, S. (2009). El dilema del fósforo. Técnicas para la Agricultura Sostenible - Oregon State University. https://www.academia.edu/6372562/El_dilema_del_f%C3%B3sforo
- Choque, R., y Jalisto, P. (2021). *Evaluación de grado de eutrofización de la laguna de Huatata-Chincho, Cusco 2021*. [Tesis de grado, Universidad Continental]. Repositorio de la Universidad Continental. [https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10663#:~:text=La%20investigaci%C3%B3n%20tuvo%20como%20objetivo,mixto%20\(cualitativo%20y%20cuantitativo\).](https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10663#:~:text=La%20investigaci%C3%B3n%20tuvo%20como%20objetivo,mixto%20(cualitativo%20y%20cuantitativo).)
- Chota, A., y Ojanama, G. (2019). *Aplicación de Microorganismos Eficientes (EM) para remover el contenido de nitrógeno total y fósforo total en la laguna Ricuricocha – Región San Martín*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio de la Universidad Peruana Unión. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3036>
- Comisión Nacional del Agua. (2004). Estadísticas del Agua en México 2004. (2ª ed.). http://centro.paot.org.mx/documentos/conagua/Estadisticas_Agua_2004.pdf

- Convención de Ramsar sobre los humedales (2018). *Perspectiva mundial sobre los humedales. Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas*. Galand (Suiza). Secretaría de la Convención de Ramsar. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/gwo_s.pdf
- Custodia, M. (2012). Impactos antropogénicos en la calidad del agua del río Cunas. *Revista Apuntes de Ciencia y Sociedad*, 2(2). <http://journals.continental.edu.pe/index.php/apuntes/article/view/54>
- Dávila, P., Díaz, S.-H., y Valdés, J. (2014). Obtención de perfiles de biomasa fitoplactónica en bahía San Jorge (Antofagaste, Chile) a partir de imágenes en color. *Revista Ciencias Marinas*, 40(1), 59-73. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-38802014000100005
- Del Ángel, M. (1994). *Contribución al estudio de la demanda bioquímica de oxígeno*. (Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo Leon). <http://eprints.uanl.mx/7204/1/1020091184.PDF>
- Diaz, A., y Sotomayor, L. (2013). *Evaluación de la eutrofización de la laguna Conococha – Ancash a agosto de 2012*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/publications/Theses/Tesis_Diaz_y_Sotomayor_2013.pdf
- Diersing, N. (2009). *Water Quality: Frequently Asked Questions*.
- Enrique-Ayala, E., Gavidia, C., Garriazo, A., y Changanqui, D. (2021). *Evaluación de la calidad del agua en los canales de la Zona de Reglamentación Especial de Los Pantanos de Villa (Lima, Perú)*. *South Sustainability*, 2(2). e036. <https://doi.org/10.21142/SS-0202-2021-e002>
- Escobar, R., y Espinoza, C. (2021). *Nivel de eutrofización de la laguna choclococha, Huancavelica 2019*. [Tesis de grado. Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio de la Universidad Nacional de Huancavelica. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/35e4b667-9273-4353-a4c9-f93f064f8fb5>
- Escobar, S. (2020). *Determinación de microorganismos considerados indicadores biológicos de eutrofización en la laguna Huacracocha Huancayo en el periodo de abril a septiembre del año 2019*. [Tesis de grado, Universidad Continental]. Repositorio institucional de la Universidad Continental.

[https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/7882/3/IV_FIN_107
TE_Escobar_Cayetano_2020.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/7882/3/IV_FIN_107_TE_Escobar_Cayetano_2020.pdf)

Figuerras, F., y Niell, F. (1986). Visibilidad del Disco Secchi, Clorofila “a” y materia orgánica particulado en la ría de Pontevedra. *Revista de Instituto de Investigaciones Marinas*, 50(4), 607 - 637.
https://digital.csic.es/bitstream/10261/88565/1/Disco_secchi.pdf

García, F., y Miranda, V. (2018). Eutrofización, una amenaza para el recurso hídrico. *Revista de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de México*, 2(1).
http://ru.iiec.unam.mx/4269/1/2-Vol2_Parte1_Eje3_Cap5-177-Garc%C3%ADa-Miranda.pdf

García, P., Fernández, R., y Cirujano, S. (2010). Habitantes del Agua. Macrófitos. Agencia Andaluza del Agua.
https://www.researchgate.net/publication/236122954_HABITANTES_DEL_AGUA_MACROFITOS

Gaviria, J. (2009). *Conductas de forrajeo en los procesos de compra que realizan los clientes del mini mercado "Minimerca" de la ciudad de Pereira*. Informe Final. Universidad Católica Popular del Risaralda.
<https://repositorio.ucp.edu.co/bitstream/10785/2275/1/CDMPSI82.pdf>

Gobierno Regional de Lima (2016). Conservar los humedales costeros de la región Lima: una acción contra el cambio climático. Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente.
http://siar.regionlima.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/boletin_de_humedales_de_la_region_lima.pdf

Goitía, Y., y Romero, T. (2011). Análisis preliminar de la metodología para obtener el perfil vertical de parámetros del nivel eutrófico de un embalse. *Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXXII, (3), 39-46.
<https://riha.cujae.edu.cu/riha/article/view/6/6>

Gómez, J., y Dalence, J. (2014). Determination of total suspended solids parameter using images from optical sensors in a section of the middle catchment of the Bogotá River (Colombia).

Gonzales, S., Aponte, H., y Cano, A. (2019). Actualización de flora vascular del humedal Santa Rosa-Chancay (Lima-Perú). *Revista Arnaldoa*, 26(3), 867-882.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v26n3/a03v26n3.pdf>

- Goyenola, G. (2007). Transparencia, Color Y turbidez. *RED MAPSA*, 1, 2.
- Guillermo, M. (2008). Biodiversidad. *Proyecto UNICA "Universidad en el Campo"*. <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4770/biodiversidad.pdf>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. (6ª ed.). México DF: McGraw-Hill https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- Huaman-Vilca, S., Lucen-Espinoza, M., Paredes-Vite, M., y Changanauqui, D. (2020). *Evaluación de la calidad del agua de la laguna Marvilla en los Pantanos de Villa (Lima, Perú)*. *South Sustainability*, 1(2). e019. <https://doi.org/10.21142/SS-0102-2020-019>
- Jimenez, L., Jahuira, F., y Ibañez, V. (2016). Treatment of eutrophicated waters of the interior bay of Puno, Peru, with the use of two macrophytes. *Revista de Investigación Altoandina*, 18(4), 403- 410.
- Jurado, E., Sáenz, D., Velásquez, M., Azáldegui, A., y Benavides, O. (2017). Riesgo del uso de detergentes domésticos en la calidad del agua en poblaciones en transición de lo rural a lo urbano; Churín 2017. *Revista Investigación*. <https://www.aulavirtualusmp.pe/ojs/index.php/AF/article/view/1763>
- Kitsiou, D., y Karidys, M. (2011). Coastal marine eutrophication assessment: a review on data analysis. *National Librarian of Medicine*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21411155/>
- Kulkarni, A. (2011). Water Quality Retrieval from Landsat TM Imagery. *SciVerse ScienceDirect*, 1(6), 475-480.
- Lamparelli, M. (2004). *Graus de trofia em corpos d' água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento*. [Tesis doctoral. Universidad de Sao Paulo].
- Larios, F., González, C., y Morales, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*, 2(2), 09-25. <https://usil.edu.pe/sites/default/files/2022-05/revista-saber-y-hacer-v2n2.2-1-19set16-aguas-residuales.pdf>

- López, M., y Madroñero, S. (2015). Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: Caso Laguna de la Cocha. *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 21-42. <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v25n2/v25n2a02.pdf>
- Lopez, J., Vázquez, V., Gómez, L., y Priego A. (2010). Humedales. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/9655/09HUMEDALESB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Maja, E. (2007). *Evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos indicadores del estado trófico del lago Yojoa*. [Tesis de Maestría, Ecole Polytechnique Federale de Laussane]. https://www.academia.edu/7138243/Tesis_Evelyn_Studer_Acerca_del_Lago_de_Yojoa
- Martínez, E. (2006). Técnicas y conceptos básicos para la caracterización físico-química y biológica de la calidad del agua. *Revista Aula y Ambiente*, 6, 67-80. https://www.researchgate.net/publication/352198297_Tecnicas_y_conceptos_basicos_para_la_caracterizacion_fisico-quimica_y_biolologica_de_la_calidad_del_agua
- Márquez, G. (1996). *Ecosistemas estratégicos y otros estudios de ecología ambiental*. Bogotá, Colombia: Fondo FEN.
- Mateu, A. (2016). Problems of eutrophication of surface waters in relation to agriculture. Universidad Politécnica de Valencia.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2020). Protocolo de Actuación Interinstitucional para Gestionar y Proteger los ecosistemas incluidos en la Lista Sectorial de Ecosistemas Frágiles. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-el-protocolo-de-actuacion-interi-decreto-supremo-n-007-2020-minagri-1877380-3/>
- Ministerio del Ambiente. (2016). Salud y Ambiente, Dirección General de Educación, Cultura y Ciudadanía Ambiental. <http://www.minam.gob.pe/educacion/wp-content/uploads/sites/20/2017/02/Publicaciones-1.-Texto-de-consulta-M%C3%B3dulo-1-1.pdf>
- Mixquititla-Casbis, G., y Villegas-Torres, O. (2016). Importancia de los fosfatos y fosfitos en la nutrición de cultivos. *Revista Acta Agrícola y Pecuaria*, 2(3), 55-61. <http://aap.uaem.mx/index.php/aap/article/view/22/30>

- Moreira, J., y Sabando, B. (2016). *Determinación del nivel de eutrofización del embalse Sixto Duran Ballén mediante índices de estado trófico*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. Repositorio de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. <https://repositorio.espam.edu.ec/xmlui/handle/42000/285>
- Moreno, D., y Ramírez, J. (2010). Variación Temporal de la Condición trófica del Lago del Parque Norte, Medellín (Antioquia), Colombia. *Revista Actualidades Biológicas*, 32(92), 75-87. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-35842010000100007
- Moreno, D., Quintero, J. y López A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia, México. *Revista El hombre y su Ambiente*, 1(78), 23-33. <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n78ne/eutrofia2.pdf>
- Moreta, J. (2008). *La eutrofización de los lagos y sus consecuencias*. Ibarra 2008. [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio institucional de la Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/720>
- Ordenanza 013 de 2020 [Municipalidad Provincial de Huaral]. Por la cual se reconoce al humedal Santa Rosa como Área de Conservación Ambiental. 25 de setiembre 2020. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1365372/Ordenanza%20Municipal%20N%C2%B0%20013-2020-MPH-CM.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas (2018). Prueba piloto de la metodología de monitoreo y primeras constataciones sobre el indicador 6.3.2. de los ODS. *Agua Limpia y Saneamiento*. https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2018/10/SDG6_Indicator_Report_632-progress-on-ambient-water-quality-2018_ES.pdf
- Organización de las Naciones Unidas (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos *Aguas Residuales el recurso desaprovechado*. <https://blogdelagua.com/documentacion/aguas-residuales-el-recurso-desaprovechado/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2009). *Cianobacterias Planctónicas del Uruguay- Manual para la identificación y medidas de gestión*. (S. Bonilla, Ed.) *PHI-VII/ Documento Técnico N° 16*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000216319.locale=en>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

- Orjuela, L. (2013). *Hoja metodológica del indicador Promedio del total de sólidos en suspensión por estación [Versión 1]*. Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. 6p. http://www.ideam.gov.co/documents/24155/123679/07-3.19_HM_Promedio_solidos_suspension_3_FI.pdf/f62097e7-489b-4cac-9c62-0485338f2542
- Ornelas, J., Yahia, E., Gardea, A., y Pérez, J. (2012). Antioxidantes en Alimentos y Salud. *ResearchGate*, 124.
- Oroná, C., Duarte, O., y Paz-Ferreiro, J. (2012). Comportamiento del fósforo al pasar de una masa de agua dulce (Río Primero) a otra salada (Laguna de Plata), Córdoba, Argentina. *Estudios en la Zona no Saturada del Suelo*, 11. http://www.zonanosaturada.com/zns13/publications_files/4.3.pdf
- Pacheco, J., Pat, R., y Cabrera, A. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Revista Académica Ingeniería*, 6(3), 73-81. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46760308.pdf>
- Pérez, R., Rivero, F., Jiménez-Noda, M., Manganiello, L., Vega, C., Cova, R., y Moreno, J. (2017). Evaluación de la calidad del agua en un humedal de agua salada del Caribe. *Revista INGENIERÍA UC*, 24(3). <https://www.redalyc.org/pdf/707/70754692015.pdf>
- Pinos-Rodríguez, J., García-López, L., Peña-Avelino, L., Rendón-Huerta, J., González-González, C., y Tristán-Patiño, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Revista Agrociencia* 46(4), 359-370. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1405-31952012000400004
- Pulido-López, P., y Pinilla-Agudelo, G. (2017). Evaluación del estado trófico del humedal El Salitre, último humedal urbano de referencia en Bogotá. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 41(158), 41-50. <https://raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/411/264>
- Quiroz-Santos, R., y Mendoza-Caballero, W. (2022). Evaluación de los estados tróficos de la Laguna Principal del Área de Conservación Regional Anbufera de Medio Mundo, Huaura – Lima, Perú. *Revista Biotempo* 19(2), 149-164. <https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Biotempo/article/view/4988/6331>

- Raffo, E., y Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos* 17(1), 71-80. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Ramirez, D., Aponte, H., y Cano, A. (2010). Flora vascular y vegetación del humedal de Santa Rosa (Chancay, Lima). *Revista Peruana de Biología*, 17(1), 105-110. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332010000100012
- Ramsar (2006). Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971), 4a. edición. *Ramsar*. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_manual2006s.pdf
- Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina (2010). Contaminación y eutrofización del agua. RAP – AL Uruguay. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2010/08/ContaminacionEutrofizacionAgua.pdf>
- Resendiz, J. (2012). Evaluación de la calidad del agua en lagos y embalses. *Universidad Nacional Autónoma de México*, 37.
- Rodiles-Hernández, R., Gonzales-Díaz, A., y Gonzales-Acosta, A. (2013). Ecosistemas acuáticos. *Revista de diversidad de ecosistemas*, 45-57. https://www.researchgate.net/publication/260752925_Ecosistemas_acuaticos
- Rodríguez, R., Retamozo, R., Aponte, H., y Valdivia, E. (2017). Evaluación microbiológica de un cuerpo de agua del ACR Humedales de Ventanilla (Callao, Perú) y su importancia para la salud pública local. *Revista Ecología Aplicada*, 16(1).
- Rodríguez, L. (2012). *Determinación del estado trófico de tres ecosistemas lénticos de La Sabana de Bogotá con base al fitoplancton, en dos periodos climáticos contrastantes*. [Tesis de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11125/RodriguezGarzo_nLauraStefhany2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodríguez, A., y Sánchez, C. (2010). Lluvia ácida y sus efectos. *Química del Agua*. <https://www.divulgameteo.es/uploads/Lluvia-%C3%A1cida.pdf>
- Roldán, G., y Ramírez, J. (2008). Fundamentos de Limnología neotropical (2ª ed.). Universidad de Antioquia.

https://www.academia.edu/41460514/FUNDAMENTOS_DE_LIMNOLOGIA_NE_OTROPICAL_2DA_ED_ROLDAN_RAMIREZ

- Romero, M. (2019). *Determinación de eutrofización a partir de la salubridad de sus nutrientes, en la laguna urbana valle hermoso del cantón guano*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/10597/1/236T0428.PDF>
- Romero, M. (2010). Proceso de eutrofización de afluentes y su prevención por medio de tratamiento de efluentes. *Revista Ingeniería Primero*, (17) 64-74. https://fgsalazar.net/LANDIVAR/INGPRIMERO/boletin17/URL_17_AMB02_TR_ATAMIENTO.pdf
- Ruiz, L., Ruiz, A., Hernández, A., García, R., y Valadez, A. (2019). Extracción y Cuantificación de clorofila en hojas comestibles del estado de Tabasco. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4, 891. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume4/4/10/126.pdf>
- Samboni, N., Carbajal, Y., y Carlos J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Revista Ingeniería e Investigación* 27(3), 172-181. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092007000300019
- Sánchez, P. (2017). *Comportamiento de las concentraciones de ortofosfatos en efluentes agrícolas en el condado de Douglas, Illinois*. (Tesis de pregrado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras). <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/3eb94af1-a025-457b-b87f-ca93a2c10716/content>
- Sánchez, Y. (2016). *Caracterización química del Huano de aves marinas de la Isla, San Jerónimo, Baja California, México y su viabilidad como fertilizante agrícola*. (Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California). <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/1319>
- Sanchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez, R., y Zambrano, L. (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. México: Instituto Nacional de Ecología. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Perspectivas-sobre-conservaci%C3%B3n-de-ecosistemas-acu%C3%A1ticos-en-M%C3%A9xico.pdf>

- Sánchez, J. (2001). V-100- El fósforo, parámetro crítico de calidad de agua Técnicas Analíticas y de Muestreo. *ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*. <http://www.ingenieroambiental.com/junio/fosforo.pdf>
- Santiago, E. (2017). *Desarrollo de tecnologías basadas en la remoción de fósforo para recuperación de lagunas pampeanas eutrofizadas*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de la Plata]. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/62777/Documento_completo_pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2020). *Mapa de clasificación climática nacional*.
- Servicio Agrícola y Ganadero SAG. (2006). Conceptos y Criterios para la Evaluación Ambiental de Humedales. *Revista Centro de Ecología Aplicada Ltda.*, 7. <https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/GUIAV67JUNIO2007.pdf>
- Sierra, C. (2011). Calidad del Agua: Evaluación y diagnóstico. (15), 390-425.
- Sipaúba-Tavares, L. y Dias, S. (2014). Water quality and communities associated with macrophytes in a shallow water supply reservoir on an aquaculture farm. *Brazilian Journal of Biology*. 74(2), 420-428
- Soncco, R., y Álvarez, D. (2020). *Estado del arte sobre los índices que determinan el nivel de eutrofización en lagunas altoandinas*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio institucional de la Universidad Peruana la Unión. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3326/Rocio_Trabajo_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sotil, H. (2017). *Análisis de indicadores de contaminación bacteriológica (Coliformes Totales y Coliformes Termotolerantes) en el lago de Moronacocha*. [Tesis de grado, Universidad Científica del Perú]. Repositorio institucional de la Universidad Científica del Perú. <http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/274/SOTIL-1-Trabajo-An%C3%A1lisis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., y Haan, C. (2006). La larga sombra del ganado, problemas ambientales y opciones. <https://www.fao.org/3/a0701s/a0701s.pdf>

- Streit, N., Ramírez, L., Queiroz, L., Jacob, E., y Queiroz, M. (2015). Producción de pigmentos naturales (clorofila-a) en biorrefinerías agroindustriales. *Ciencias Agrarias*, 8(2), 27-34.
- Studer, E. (2007). Evaluación de parámetros biológicos, químicos e indicadores del estado trófico del Lago de Yojoa. *École Polytechnique Fédérale De Lausanne*.
- Toledo, A., Talarico, M., Chinez, S., y Agudo, E., (1983). A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In Anais do 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1983. Camburiú.
- Toro, L. (2019). *Aplicación de Metodologías para la estimación de la eutrofización en embalses tropicales y selección del Índice de Estado Trófico más adecuado para el Embalse Peñol Guatapé, Colombia*. [Tesis de grado, Universidad de Antioquia]. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/12104/1/ToroLorena_2019_AplicacionMetodologiasEmbalses.pdf
- Torres, P., Hernán, C., y Patiño, P. (2009). Water Quality Index In Surface Sources Used In Water Production For Human Consumption. A Critical Review. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94.
- Trujillo, D., Duque, L., Arcila, J., Rincón, A., Pacheco, S., y Herrera O. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/flotación usando almidón de plátano. *Revista Ion* 27(1), 17-34. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2014000100003
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN]. (2018). Guía de monitoreo Participativo de la Calidad de Agua. *UICN*.
- Vásquez, G., Herrera, L., Cantera, J., Galvis, A., Cardona, D., y Hurtado, I. (2012). Metholy for determining eutrophication levels in aquatic ecosystems. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 24, 112-128.
- Vásquez, G. (2021). Las algas y su importancia como indicadores ecológicos en lagos volcánicos tropicales. *Revista Instituto de Ecología A.C.* <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/component/content/article/17-ciencia-hoy/1257-las-algas-y-su-importancia-como-indicadoras-ecologicas-en-lagos-volcanicos-tropicales>

Vera, J., y Zambrano, D. (2021). Grado de eutrofización del Humedal La Segua. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Viale, A. (2008). Manual de Estadísticas Ambientales Andinas. Lima. https://www.comunidadandina.org/StaticFiles/OtrosTemas/MedioAmbiente/Manual_estadisticas_ambientales.pdf

Zambrano, A. (2018). Evaluación del grado de eutrofización de la laguna natural El Carmen y su situación con las épocas del año. *Escuela superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López*.

Zouiten, H. (2012). *Análisis mediante modelo avanzado de procesos de eutrofización en las lagunas litorales: Aplicación a masas de agua atlánticas y mediterráneas*. [Tesis doctoral, Universidad de Cantabria. Santander]. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/96870/TesisHZ.pdf?sequence=>

TERMINOLOGÍA

Actividad antropogénica. Son todas las actividades que realiza el hombre en su vida cotidiana que, si lo realiza sin tener un cuidado con el ambiente, afectaría los ecosistemas exponiendo al peligro a muchas especies y a su propia salud (Custodia, 2012).

Aguas residuales. Son aguas que han sido modificada sus características originales por las actividades antropogénicas, por la composición que presentan tienen que ser vertidas a un cuerpo natural con previo tratamiento (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2014)

Biodiversidad. Hace referencia a la variabilidad de la vida y de los ecosistemas (terrestres y acuáticos), abarcando diversidad de especies vegetativas, animales, hongos y microorganismos que habitan en un ambiente determinado, proporcionando varios servicios benéficos al medio ambiente (Guillermo, 2008).

Biomasa fitopláctónica. Se define como el peso total del fitoplancton por unidad de volumen o de área, así mismo, puede ser estimada a través de la concentración de la clorofila “a”, la biomasa del fitoplancton es una propiedad ecológica clave para la determinación del estado trófico del agua (Dávila *et al.*, 2014).

Contaminación ambiental. Se conoce como contaminación ambiental a la existencia de agentes físico, químico y biológico o a la mezcla de varios agentes en el ambiente, la cual pueden ser peligrosos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o que puedan ser perjudiciales la vida en general (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2016).

Cuerpo de agua. Se define como masas de agua corriente o quieta, que se encuentran en la superficie terrestre o en el subsuelo, en estado líquido o sólido, ya sean de origen natural como artificial y pueden ser agua salada o dulce, tales como: manantiales, marismas,

lagunas, lagos, mares, ríos, arroyos, pantanos, charcos temporales y cualquier otra acumulación de agua (ANA, 2016).

Ecosistema acuático. Está comprendida por lagos, lagunas, estuarios, etc., que se caracterizan por la alta productividad biológica y que son hábitats de muchas especies que se interrelacionan (Rodiles-Hernández *et al.*, 2013).

Ecosistema frágil. Son territorios con alto valor de conservación y son vulnerables a las actividades antrópicas que se desarrollan cerca de su entorno o dentro de ellos, la cual amenazan y ponen en riesgo los servicios ecosistémicos que ofrecen (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2020).

Forrajear. Se entiende como búsqueda de alimentos de origen vegetal en grandes cantidades utilizando poca energía por parte de los animales, así mismo, se caracteriza por una acción directa del individuo sobre el ambiente que lo circunda (Gaviria, 2009).

Humedal. Los humedales son aquellas zonas inundadas que comprenden una gran variedad de flora y fauna, de igual manera son ambientes de gran variedad de hábitat, tales como pantanos, marismas de marea, manglares, lagos, ríos lagunas costeras, arrecifes de coral, asimismo las zonas marinas con profundidades que no superen los 6 metros en marea baja (Ramsar, 2006).

Macrófitas acuáticas. son plantas acuáticas que se encuentran localizadas en el agua o terrenos inundados y son visibles a simple vista, ya que, tienen algunas partes de sus estructuras vegetativas sumergidas y flotantes, son plantas con un buen indicador biológico, puesto que, son considerados buenos referentes de calidad del agua (García *et al.*, 2010).

Nutrientes. Es todo elemento que requiere un organismo para subsistir y lograr reproducirse. Son fundamentales para que haya una adecuada purificación de la laguna (Romero, 2019). Pero el exceso de nutrientes en el agua hace que se reproduzcan diferentes organismos, por ejemplo, las algas y un exceso de esta afecta la calidad del agua (Vásquez, 2021).

Vertimiento de aguas residuales. Hace referencia a la descarga deliberada de aguas residuales a un cuerpo de agua natural, ya sean provenientes de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarios, domésticos en general o la mezcla de ellas (Comisión Nacional del Agua, 2004).

APÉNDICES

Apéndice 1

Resultados de los parámetros físico - químicos in situ del humedal Santa Rosa: Época húmeda

Puntos de muestreo	Coordenadas		Parámetros		
	Este	Norte	Potencial de hidrógeno	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura (C°)
P1	252772,61	8717579,91	8,2	113,6	19,3
P2	252571,06	8717628,03	7,6	28,7	19,7
P3	252396,58	8717528,76	8,2	23,5	19,8
P4	252485,77	8717357,75	8,4	57,7	20,6

Apéndice 2

Resultados de los parámetros físico - químicos in situ del humedal Santa Rosa: Época seca

Puntos de muestreo	Coordenadas		Parámetros		
	Este	Norte	Potencial de hidrógeno	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura (C°)
P1	252733,47	8717537,78	9,0	13,95	30,0
P2	25262969	8717622,11	8,5	14,33	29,5
P3	252432,93	8717522,64	8,9	6,06	29,0
P4	252599,42	8717386,42	9,0	13,55	29,0

Apéndice 3

Resultados de la transparencia del agua del humedal Santa Rosa: Época húmeda

Puntos de muestreo	Coordenadas		Disco Secchi			
	Este	Norte	Desaparece	Aparece	Promedio (cm)	Promedio (m)
P1	252772,61	8717579,91	8,0	7,5	7,75	0,08
P2	252571,06	8717628,03	3,6	35,3	35,45	0,35
P3	252396,58	8717528,76	40,2	40,0	40,10	0,40
P4	252485,77	8717357,75	38,5	38,2	38,35	0,38

Apéndice 4

Resultados de la transparencia del agua del humedal Santa Rosa: Época húmeda

Puntos de muestreo	Coordenadas		Disco Secchi			
	Este	Norte	Desaparece	Aparece	Promedio (cm)	Promedio (m)
P1	252733,47	8717537,78	8,0	7,5	7,75	0,08
P2	252629,69	8717622,11	35,6	35,3	35,45	0,35
P3	252432,93	8717522,64	40,2	40,0	40,10	0,40
P4	252599,42	8717386,42	38,5	38,2	38,35	0,38

Apéndice 5

Resultados de los parámetros de eutrofia del humedal Santa Rosa: Época húmeda

Puntos de muestreo	Coordenadas		Clorofila "a" (mg/L)	Parámetros	
	Este	Norte		Fósforo total (mg/L)	Fósforo soluble reactivo (mg/L)
P1	252772,61	8717579,91	0,000534	0,056	0,258
P2	252571,06	8717628,03	0,000267	0,817	0,755
P3	252396,58	8717528,76	0,000801	0,78	0,578
P4	252485,77	8717357,75	0,000801	0,042	0,073

Apéndice 6

Resultados de los parámetros de eutrofia del humedal Santa Rosa: Época seca

Puntos de muestreo	Coordenadas		Clorofila "a" (mg/L)	Parámetros	
	Este	Norte		Fósforo total (mg/L)	Fósforo soluble reactivo (mg/L)
P1	252733,47	8717537,78	1,777	5,778	1,38
P2	252629,69	8717622,11	1,665	11,009	1,279
P3	252432,93	8717522,64	0,38	5,563	0,16
P4	252599,42	8717386,42	2,053	12,102	1,619

Apéndice 7

Resultados de los parámetros del índice de calidad de agua del humedal Santa Rosa: Época húmeda

Puntos de muestreo	Coordenadas		Parámetros					
	Este	Norte	Clorofila "a" (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Nitrógeno total (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Coliformes termotolerantes (mg/L)
P1	252772,61	8717579,91	0,000267	2,561	0,84	193,4	404	79
P2	252571,06	8717628,03	0,000267	1,061	2,018	9,6	272	23
P3	252396,58	8717528,76	0,000267	1,232	1,089	4,7	32	490
P4	252485,77	8717357,75	0,000534	0,383	0,73	3,8	27	790

Apéndice 8

Resultados de los parámetros del índice de calidad de agua del humedal Santa Rosa: Época seca

Puntos de muestreo	Coordenadas		Parámetros					
	Este	Norte	Clorofila "a" (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Nitrógeno total (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Coliformes termotolerantes (mg/L)
P1	252733,47	8717537,78	0,0008	2,185	8,942	80	27	3500
P2	252629,69	8717622,11	0,0011	2,172	5,407	72	26,7	3500
P3	252432,93	8717522,64	0,0003	1,149	3,593	40	-1	140000
P4	252599,42	8717386,42	0,0003	2,047	9,293	85	31,5	2200

Apéndice 9

Resultado de los parámetros para el índice de calidad de agua (ICA-PE) de las dos épocas evaluadas del humedal Santa Rosa, Chancay

Parámetros a Evaluar	Unidad de medida	ECA Cat. 4 - E1	Puntos de monitoreo				Puntos de monitoreo				
			Temporada húmeda				Temporada seca				
			P-01	P-02	P-03	P-04	P-01	P-02	P-03	P-04	
Parámetro Biológico	Clorofila "a"	mg/L	0,008	0,000267	0,000267	0,000267	0,000534	0,0008	0,0011	0,0003	0,0003
	Fósforo total	mg/L	0,035	2,561	1,061	1,232	0,383	2,185	2,172	1,149	2,047
	Nitrógeno total	mg/L	0,315	0,840	2,018	1,089	0,730	8,942	5,407	3,593	9,293
Parámetro Físico-Químicos	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5,00	193,400	9,600	4,700	3,800	80,000	72,000	40,000	85,000
	Sólidos suspendidos totales	mg/L	≤25	404,000	272,000	32,000	27,000	27,000	26,700	-1,000	31,500
	Oxígeno disuelto	mg/L	≥5	113,600	28,700	23,500	57,700	13,950	14,330	6,060	13,550
pH	-	6,5-8,5	8,200	7,600	8,200	8,400	9,000	8,500	8,900	9,000	
Parámetro Microbiológico	Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1000	79,000	23,000	490,000	790,000	3,500,000	3,500,000	140,000,000	2,200,000
DATOS	Número de parámetros que NO cumplen			4	4	3	3	6	5	5	6
	Número Total de parámetros a Evaluar			8	8	8	8	8	8	8	8
	Número de datos que NO cumplen el ECA			4	4	3	3	6	5	5	6
	Número Total de Datos			8	8	8	8	8	8	8	8

Nota. Elaboración propia a partir de la Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales (2018).

Apéndice 10

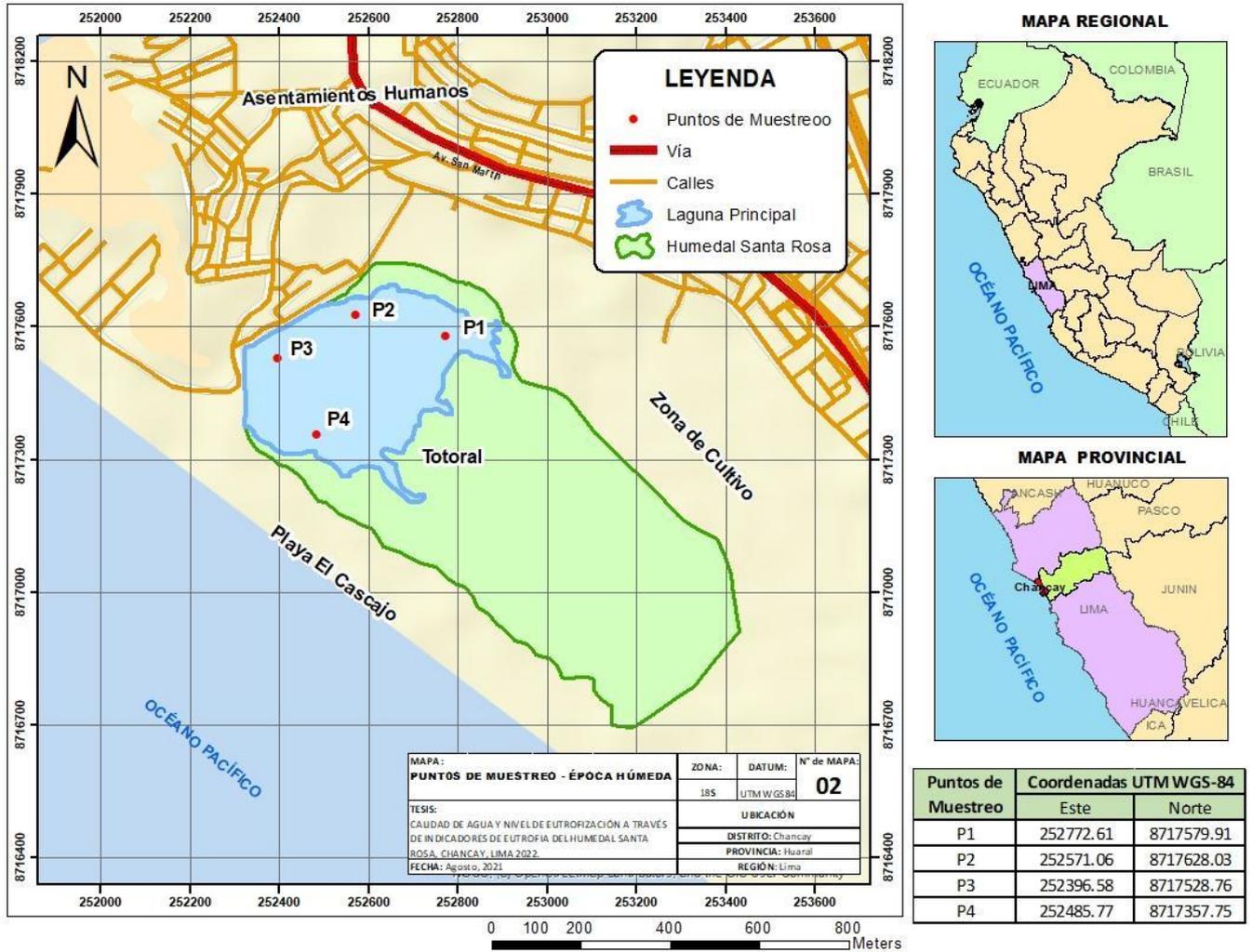
Cálculo de los excedentes de cada parámetro, factores y valor de índice de calidad de agua (ICA-PE) de las dos épocas evaluadas del humedal Santa Rosa, Chancay

CÁLCULO DE LOS FACTORES DEL ICA-PE EXCEDENTES DE CADA PARÁMETRO EN CADA MONITOREO	F1		0,5				0,63			
	F2		0,5				0,63			
	Clorofila "a"	mg/L								
	Fósforo Total	mg/L	72,17	29,31	34,20	9,94	61,43	61,06	31,83	57,49
	Nitrógeno Total	mg/L	1,67	5,41	2,46	1,32	27,39	16,17	10,41	28,50
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	37,68	0,92			15,00	13,40	7,00	16,00
	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	15,16	9,88	0,28	0,08	0,08	0,07		0,26
	Oxígeno Disuelto	mg/L								
	pH	-					0,06		0,05	0,06
	Coliformes Fecales	NMP/100mL					2,50	2,50	139,00	1,20
	Sumatoria de los excedentes		15,83	5,69	4,62	1,42	13,31	11,65	23,54	12,94
	F3		94,06	85,05	82,20	58,64	93,01	92,09	95,92	92,83
ICA - PE		45,69	50,89	52,54	66,15	46,30	46,83	44,62	46,40	
		REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	MALO	REGULAR	

Nota. Elaboración propia a partir de la Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales (2018).

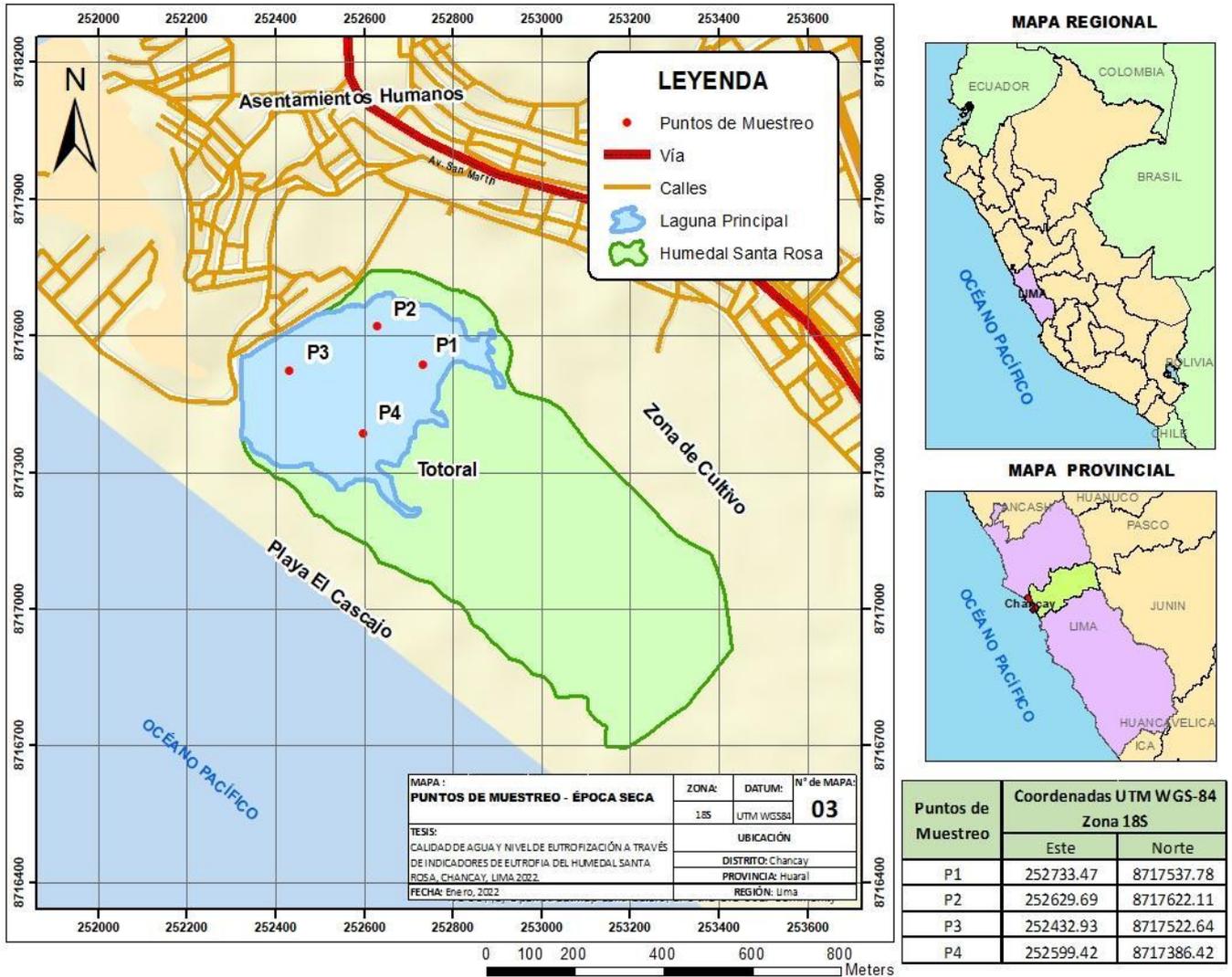
Apéndice 11

Mapa de ubicación de puntos de muestreo de la época húmeda del humedal Santa Rosa



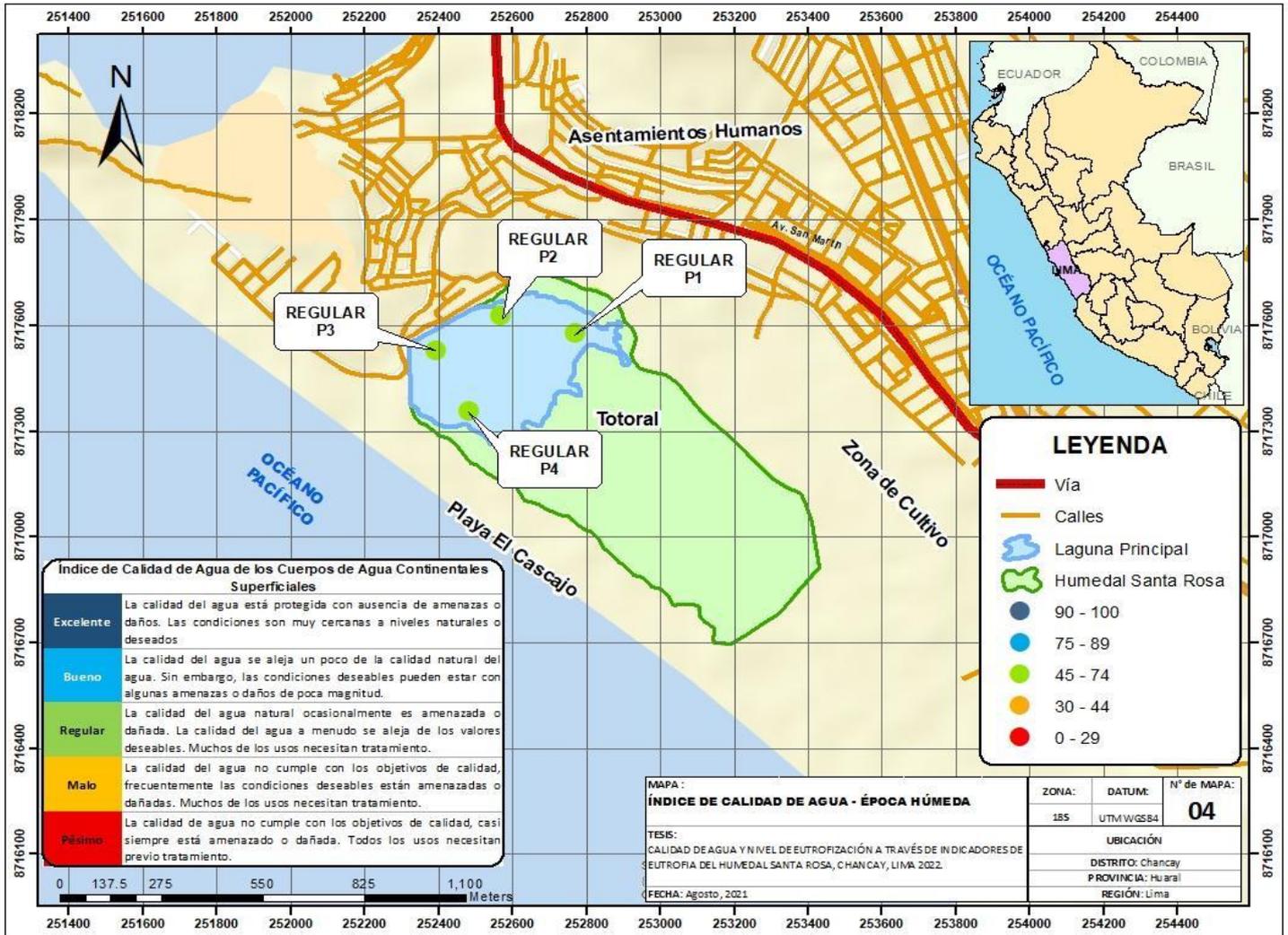
Apéndice 20

Mapa de ubicación de puntos de muestreo de la época seca del humedal Santa Rosa



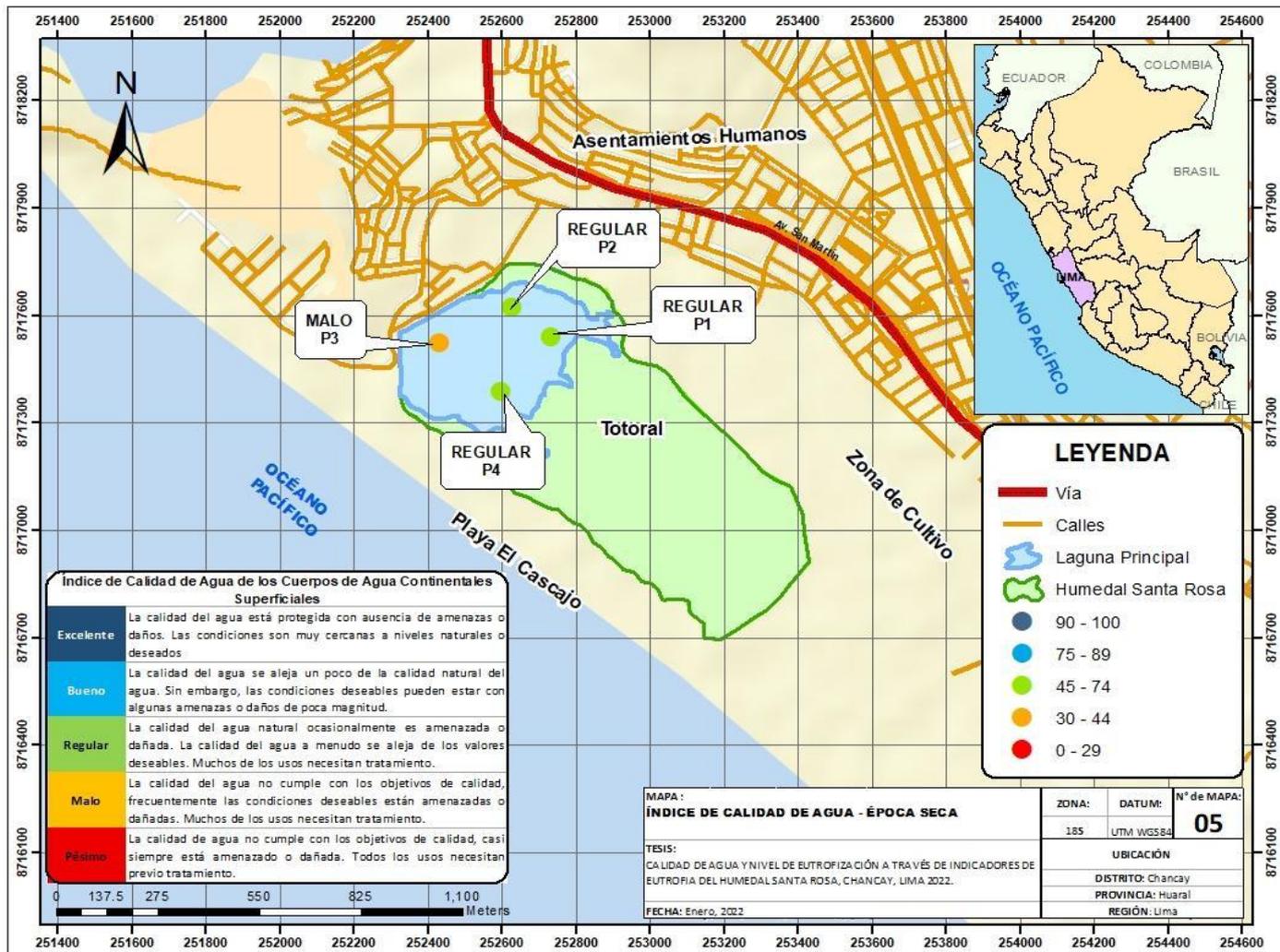
Apéndice 29

Mapa de puntos de monitoreo con resultados del ICA-PE de la época húmeda del humedal Santa Rosa



Apéndice 37

Mapa de puntos de monitoreo con resultados del ICA-PE de la época seca del humedal Santa Rosa



Apéndice 45

Informe del laboratorio de los parámetros de eutrofia correspondiente a la época húmeda



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-10229

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : MARIA ROCIO CERVANTES FLORES
2.-DIRECCIÓN : Av. José Santos Chocano N°802, Los Olivos
3.-PROYECTO : HUMEDAL SANTA ROSA - CHANCAY -EUTROFIZACION
4.-PROCEDENCIA : HUMEDAL SANTA ROSA, CHANCAY-LIMA
5.-SOLICITANTE : MARIA ROCIO CERVANTES FLORES
6.-ORDEN DE SERVICIO N° : 0000004093-2021-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : NO APLICA
8.-MUESTREADO POR : EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2021-09-13

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Agua
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 4
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2021-08-21
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2021-08-21 al 2021-09-13


Gaby Moreno Muñoz
Jefe de Laboratorio
CIP N° 191207


Marco Valencia Huerta
Ingeniero Químico
CIP N° 152207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-10229**III. MÉTODOS Y REFERENCIAS**

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Clorofila ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10200 H, 23 rd Ed. 2017	Plankton. Chlorophyll
Fosfato o Fósforo Reactivo Disuelto ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 - P E, 23 rd 2017	Phosphorus-Ascorbic Acid Method
Fósforo Total ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P B(Item 5) y E, 23 rd Ed. 2017	Phosphorus. Ascorbic Acid Method

"SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-10229

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-36001	M-21-36002	M-21-36003	M-21-36004			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	M1: BRIZO DE LA LAGUNA	M2: LAGUNA PRINCIPAL	M3: LAGUNA PRINCIPAL	M4: LAGUNA PRINCIPAL			
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
PRODUCTO:	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural			
SUB PRODUCTO:	Superficial (Laguna)	Superficial (Laguna)	Superficial (Laguna)	Superficial (Laguna)			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO :	21-08-2021 08:05	21-08-2021 08:40	21-08-2021 09:30	21-08-2021 10:10			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Clorofila (*)	mg Chlorophylla/L	0,002	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Fosfato o Fósforo Reactivo Disuelto (*)	mg P/L	0,004	0,010	0,258	0,755	0,578	0,073
Fósforo Total (*)	mg P/L	0,004	0,010	0,056	0,817	0,780	0,042

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " \leq " Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " \leq " Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

Apéndice 54

Informe del laboratorio de parámetros de eutrofia correspondiente a la época seca



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-450

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : MARIA ROCIO CERVANTES FLORES
2.-DIRECCIÓN : Av. José Santos Chocano N°802, Los Olivos
3.-PROYECTO : TESIS DE CALIDAD DE AGUA
4.-PROCEDENCIA : HUMEDAL SANTA ROSA, CHANCAY-LIMA
5.-SOLICITANTE : MARIA ROCIO CERVANTES FLORES
6.-ORDEN DE SERVICIO N° : 000000099-2022-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : NO APLICA
8.-MUESTREADO POR : EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2022-01-24

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Agua
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 4
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2022-01-14
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2022-01-14 al 2022-01-24

Liz Y. Quispe Quispe
Jefe de Laboratorio
CIP N° 211662

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-450**III. MÉTODOS Y REFERENCIAS**

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Clorofila ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10200 H, 23 rd Ed. 2017	Plankton. Chlorophyll
Fosfato o Fósforo Reactivo Disuelto ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 - P E, 23 rd 2017	Phosphorus-Ascorbic Acid Method
Fósforo Total ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P B((Item 5) y E, 23 rd Ed. 2017	Phosphorus. Ascorbic Acid Method

"SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-450
IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-02051	M-22-02052	M-22-02053	M-22-02054			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	M1 BRAZO DE LAGUNA	M2 LAGUNA PRINCIPAL	M3 LAGUNA PRINCIPAL	M4 LAGUNA PRINCIPAL			
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
PRODUCTO:	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural			
SUB PRODUCTO:	Superficial (Laguna)	Superficial (Laguna)	Superficial (Laguna)	Superficial (Laguna)			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO :	13-01-2022 11:27	13-01-2022 11:05	13-01-2022 11:10	13-01-2022 11:23			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Clorofila (*)	mg Chlorophylla/L	0,002	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Fosfato o Fósforo Reactivo Disuelto (*)	mg P/L	0,004	0,010	1,308	1,279	0,160	1,619
Fósforo Total (*)	mg P/L	0,004	0,010	1,777	1,665	0,380	2,053

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, *<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, *<=" Menor que el L.D.M.

": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

Apéndice 63

Informe del laboratorio de parámetros de calidad de agua correspondiente a la época húmeda



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-10276

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : MARIA ROCIO CERVANTES FLORES
2.-DIRECCIÓN : Av. José Santos Chocano N°802, Los Olivos
3.-PROYECTO : HUMEDAD SANTA ROSA-CHANCAY-INDICE DE CALIDAD (ICA)
4.-PROCEDENCIA : HUMEDAL SANTA ROSA, CHANCAY-LIMA
5.-SOLICITANTE : MARIA ROCIO CERVANTES FLORES
6.-ORDEN DE SERVICIO N° : 0000004093-2021-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : NO APLICA
8.-MUESTREADO POR : EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2021-09-08

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Agua
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 4
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2021-08-24
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2021-08-24 al 2021-09-08

Gaby Moreno Muñoz
Jefe de Laboratorio
CIP N° 191207

Marco Valencia Huerta
Ingeniero Químico
CIP N° 152207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-10276
III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Clorofila ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10200 H, 23 rd Ed. 2017	Plankton. Chlorophyll
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	SMEWW 9221 F.2, 23 rd Ed. 2017	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
Demanda Bioquímica de Oxígeno ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017 <input type="checkbox"/>	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Fósforo Total ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P B (Item 5) y E, 23 rd Ed. 2017	Phosphorus. Ascorbic Acid Method
Nitrógeno Total ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C, 23rd Ed. 2017	Nitrogen (Total). Persulfate Method
Sólidos Suspendidos Totales ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. 2017 <input type="checkbox"/>	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C

⁽¹⁾ "SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-10276

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-36179	M-21-36180	M-21-36181	M-21-36182			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	M1 BRAZO DE LAGUNA	M2 LAGUNA PRINCIPAL	M3 LAGUNA PRINCIPAL	M4 LAGUNA PRINCIPAL			
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
PRODUCTO:	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural			
SUB PRODUCTO:	Superficial (Laguna)	Superficial (Laguna)	Superficial (Laguna)	Superficial (Laguna)			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO :	21-08-2021 08:05	21-08-2021 08:40	21-08-2021 09:30	21-08-2021 10:10			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Clorofila (*)	mg Chlorophylla/L	0,002	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	79,0	23,0	490,0	790,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	193,4	9,6	4,7	3,8
Fósforo Total (*)	mg P/L	0,004	0,010	2,561	1,061	1,232	0,383
Nitrógeno Total ²	(mg N/L)	0,050	0,120	0,840	2,018	1,089	0,730
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg Total Suspended Solids/L	2	5	404	272	32	27

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " $<$ "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " $<$ "= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

Apéndice 72

Informe del laboratorio de parámetros de calidad de agua correspondiente a la época seca



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-451

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : MARIA ROCIO CERVANTES FLORES
2.-DIRECCIÓN : Av. José Santos Chocano N°802, Los Olivos
3.-PROYECTO : TESIS DE CALIDAD DE AGUA
4.-PROCEDENCIA : HUMEDAL SANTA ROSA, CHANCAY-LIMA
5.-SOLICITANTE : MARIA ROCIO CERVANTES FLORES
6.-ORDEN DE SERVICIO N° : 000000099-2022-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : NO APLICA
8.-MUESTREO POR : EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2022-01-24

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Agua
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 4
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2022-01-14
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2022-01-14 al 2022-01-24

Liz Y. Quispe Quispe
Jefe de Laboratorio
CIP N° 211662

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-451

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Clorofila ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10200 H, 23 rd Ed. 2017	Plankton. Chlorophyll
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) 2	SMEWW 9221 F.2, 23 rd Ed. 2017	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E. Coli
Demanda Bioquímica de Oxígeno ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Fósforo Total ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P B((Item 5) y E, 23 rd Ed. 2017	Phosphorus. Ascorbic Acid Method
Nitrógeno Total ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C, 23rd Ed. 2017	Nitrogen (Total). Persulfate Method
Sólidos Suspendidos Totales ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. 2017	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C

*SMEWW : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-451

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-02055	M-22-02056	M-22-02057	M-22-02058			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	M1 BRAZO DE LAGUNA	M2 LAGUNA PRINCIPAL	M3 LAGUNA PRINCIPAL	M4 LAGUNA PRINCIPAL			
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
PRODUCTO:	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural			
SUB PRODUCTO:	Superficial (Laguna)	Superficial (Laguna)	Superficial (Laguna)	Superficial (Laguna)			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO :	13-01-2022 09:12	13-01-2022 09:35	13-01-2022 10:25	13-01-2022 09:50			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Clorofila (*)	mg Chlorophylla/L	0,002	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	3 500,0	3 500,0	140 000,0	2 200,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	80,0	72,0	40,0	85,0
Fósforo Total (*)	mg P/L	0,004	0,010	2,185	2,172	1,149	2,047
Nitrógeno Total ²	(mg N/L)	0,050	0,120	8,942	5,407	3,593	9,293
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg/L	2,0	5,0	27,0	26,7	<5,0	31,5

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " $<$ "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " $<$ "= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

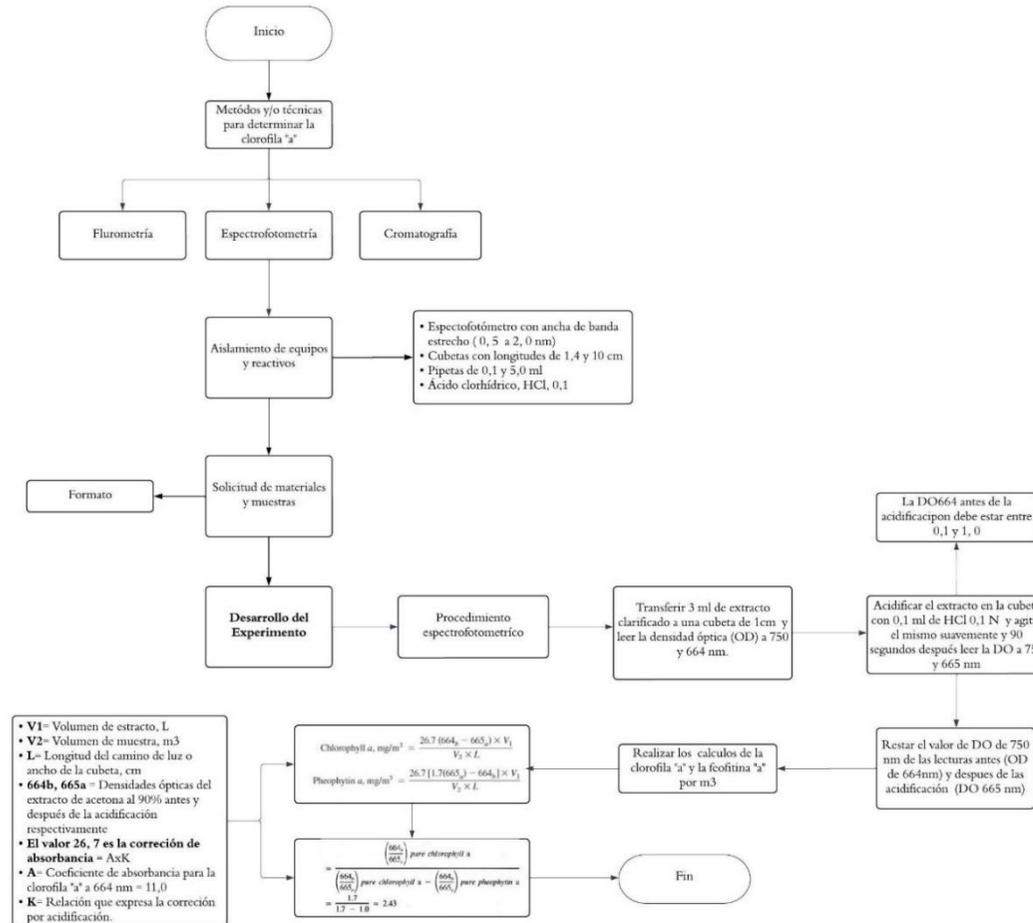
V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

Apéndice 80

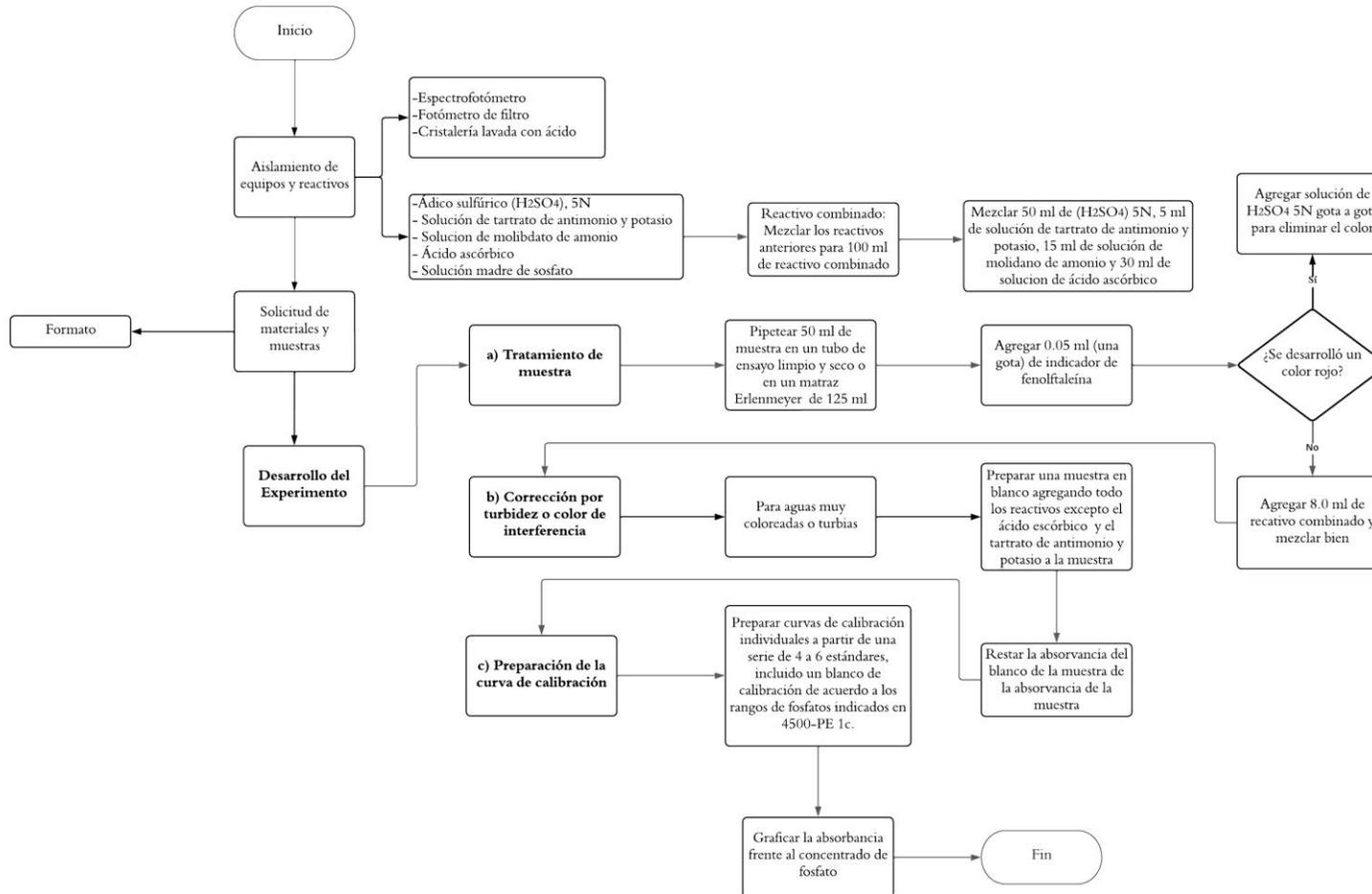
Flujograma de analisis de clorofila "a" en el laboratorio



Nota. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Ed (2017).

Apéndice 88

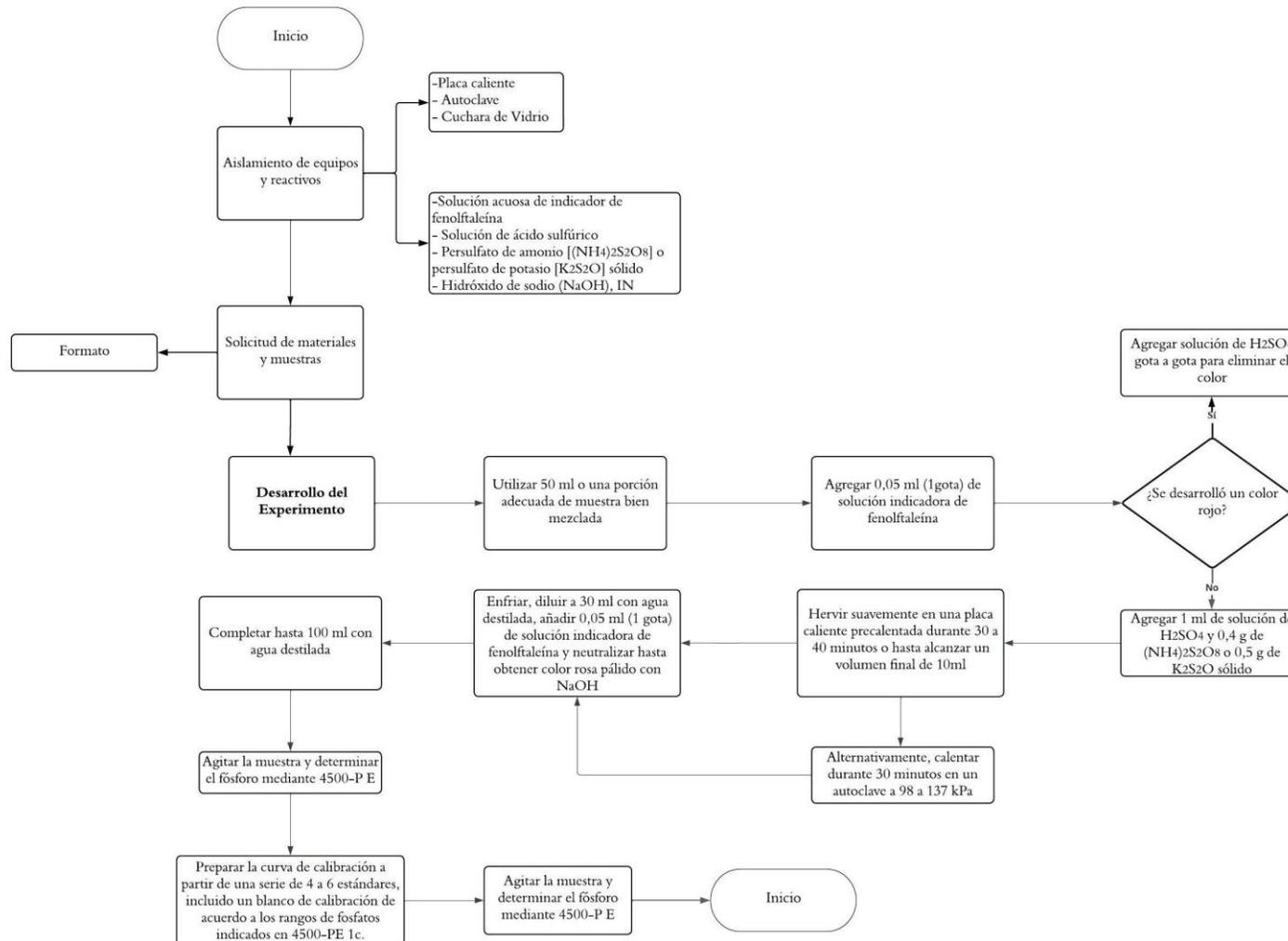
Flujograma de analisis de fosforo soluble reactivo en el laboratorio



Nota. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Ed (2017).

Apéndice 97

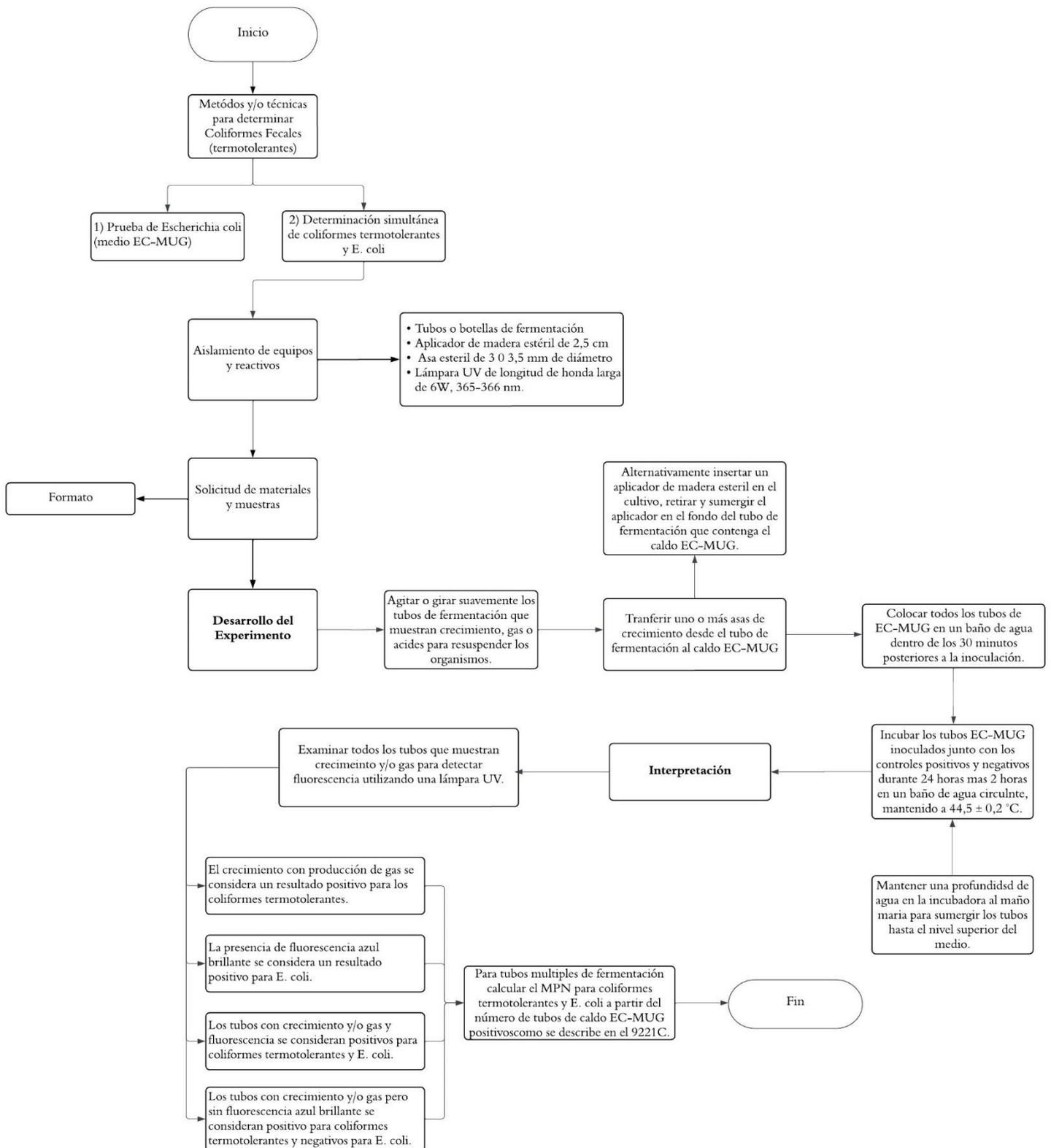
Flujograma de analisis de fosforo total en el laboratorio



Nota. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Ed (2017).

Apéndice 106

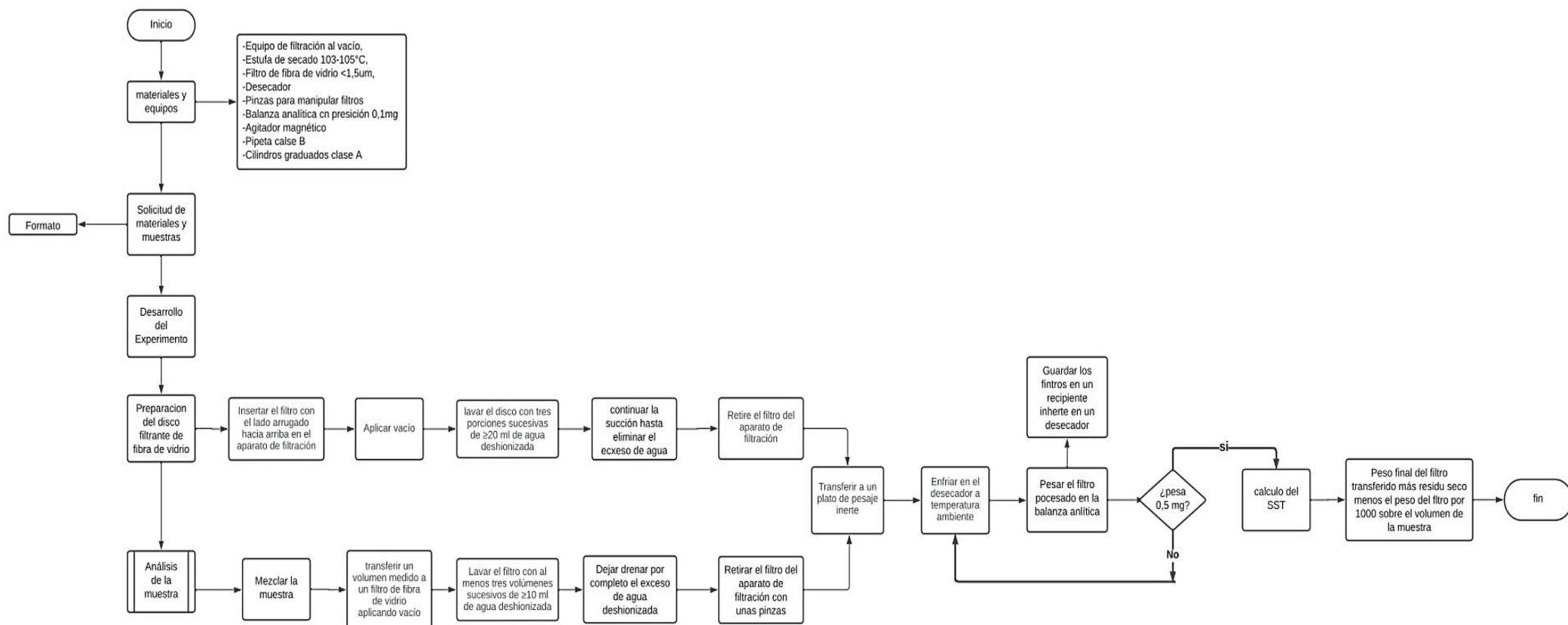
Flujograma de analisis de Coliformes Fecales (termotolerantes) en el laboratorio



Nota. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Ed (2017).

Apéndice 115

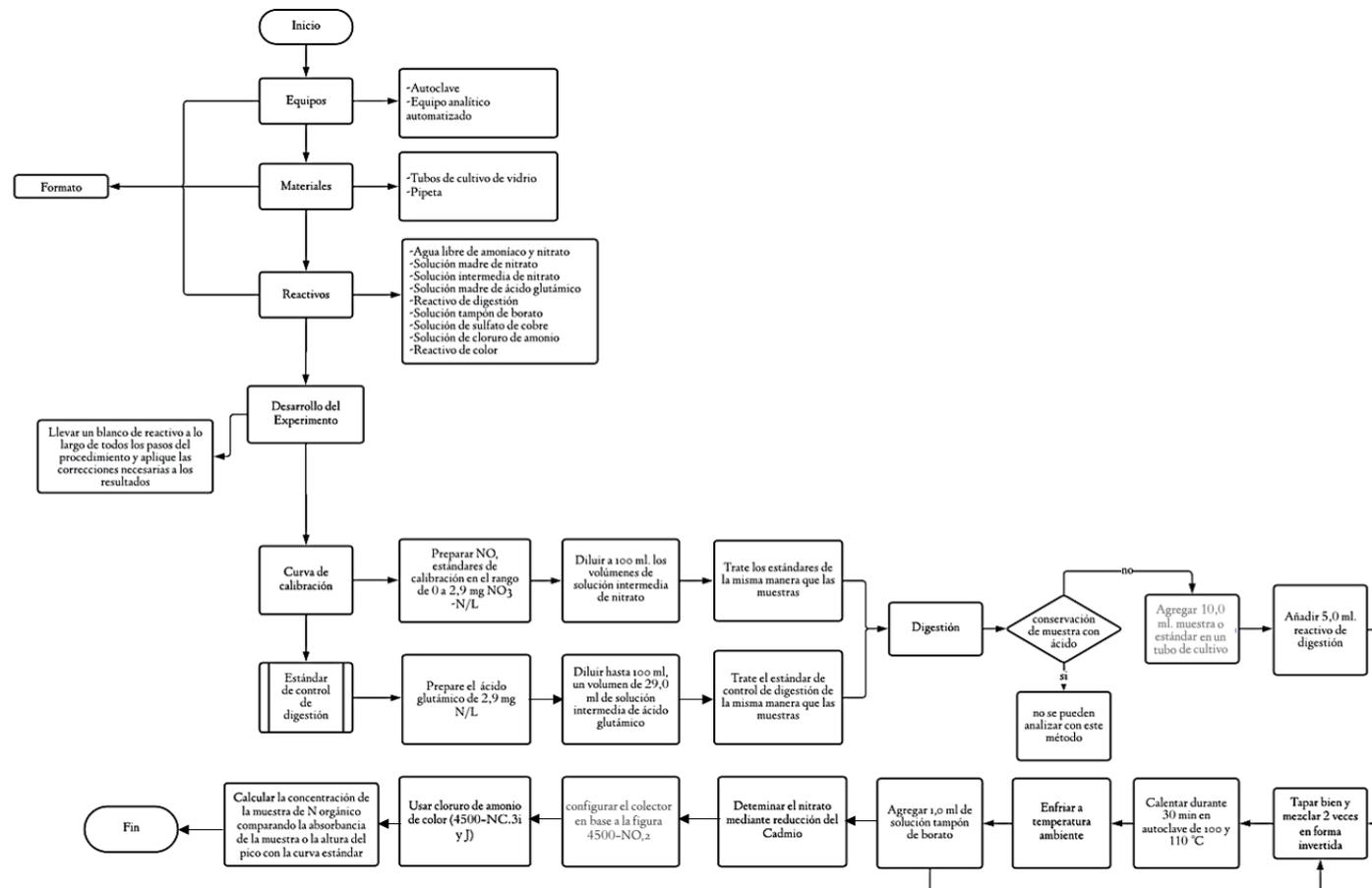
Flujograma de analisis Sólidos Suspensos Totales -SST en el laboratorio



Nota. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Ed (2017).

Apéndice 124.

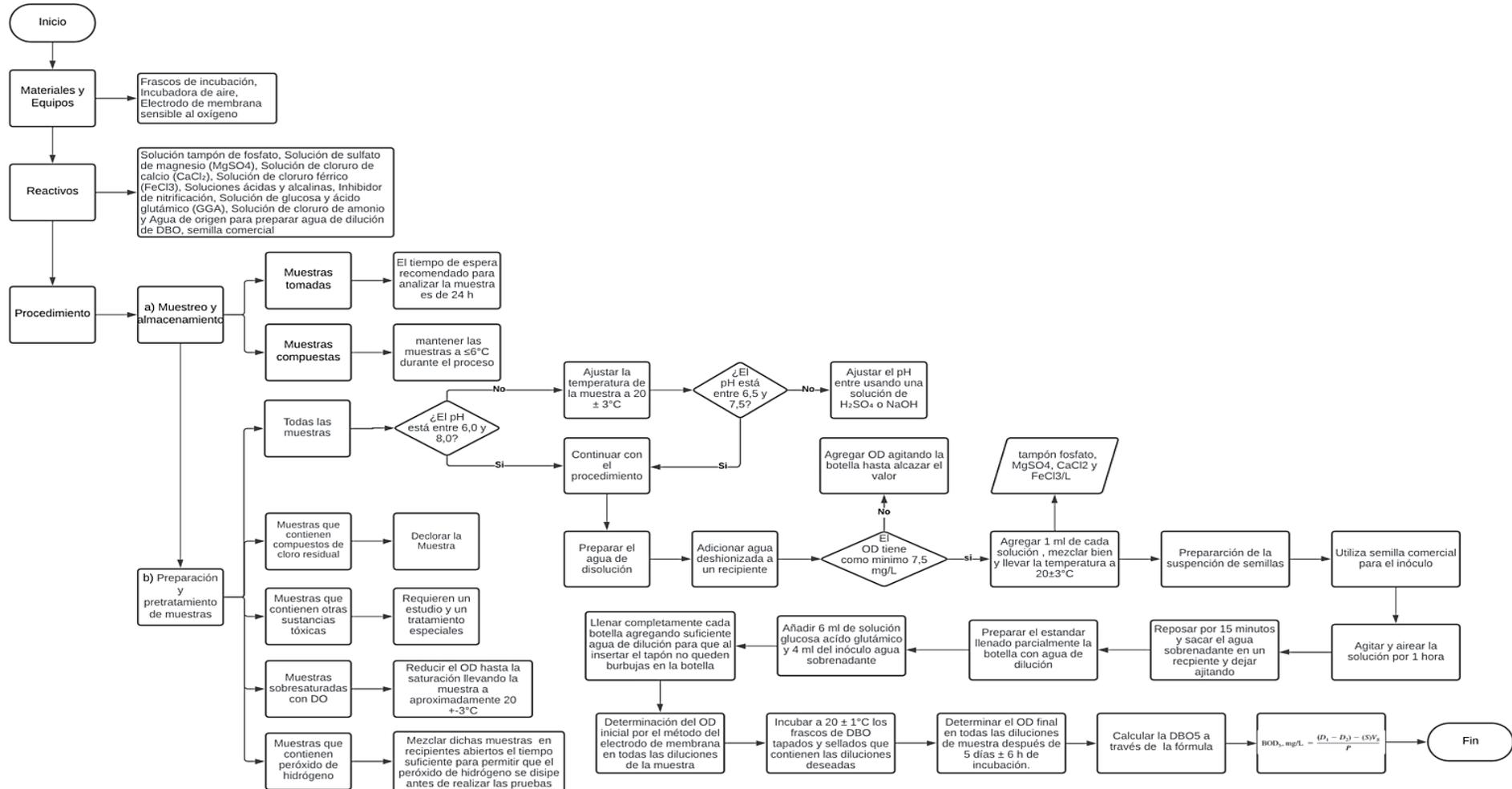
Flujograma de análisis de Nitrógeno Total en el laboratorio



Nota. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Ed (2017).

Apéndice 133

Flujograma de análisis de Demanda Biquímica de Oxígeno



Nota. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Ed (2017).

Apéndice 141

Permiso Otorgado por el Comité de vigilancia Ambiental del Humedal Santa Rosa para el desarrollo de la presente investigación



**COMITÉ DE VIGILANCIA AMBIENTAL DEL HUMEDAL
DE SANTA ROSA – CHANCAY (CVA-HSR)**

FUNDADO EL 23 DE ENERO DEL 2013
R. D. N° 112-2013-MDCH/DDEYTPS

“Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia”

Williams Jurado Zevallos, con DNI N°15988134, en mi calidad de Coordinador General de la Asociación Civil Comité de Vigilancia del Humedal Santa Rosa – Chancay, Provincia Huaral, Región Lima; Asociación Civil conformada por voluntarios ambientales que tenemos como misión institucional Proteger, Conservar y Restaurar el Humedal Santa Rosa - Chancay.

Mediante el presente documento acreditamos que tenemos Consentimiento Informado Previo del estudio de investigación denominado “Calidad del agua y nivel de eutrofización a través de indicadores de eutrofia del humedal Santa Rosa, Distrito de Chancay, Lima; conducidos por María Rocío Cervantes Flores identificada con DNI: 72215618 y Yessica Magali Caso Revollar identificada con DNI N° 76698353, quienes son estudiantes egresados de la facultad de ingeniería agraria de la Universidad Católica Sedes Sapientiae. En tal sentido brindaremos todo el apoyo necesario para que lleve con éxito el estudio de investigación mencionado.

Documento que se extiende para los fines pertinentes

Chancay, 14 de agosto del 2021


Williams Jurado Zevallos
Coordinador General

Contactos:
Williams Jurado Z: Celular N° 984678378 E-mail: juradowr@hotmail.com Dirección: Av. San Martín 373 Peralvillo

Apéndice 145

Registro Fotográfico de la investigación



Vista panorámica del humedal Santa Rosa



Avistamiento de aves en el humedal Santa Rosa



<p>Crianza de vacuno cercano al humedal</p>	<p>Disposición de residuos de construcción cercano al humedal</p>
	
<p>Presencia de vacunos en el humedal</p>	<p>Pastoreo de vacunos en el humedal</p>
	
<p>Crianza de porcinos y ovinos cercano al humedal</p>	<p>Pisoteo de animales, producto del pastoreo</p>
	
<p>Inadecuada disposición de residuos sólidos</p>	<p>Área con presencia de totora</p>



Zona agrícola cercano al humedal



Zona urbana cercano al humedal



Medición de oxígeno disuelto y temperatura in situ



Medición in situ de pH en el humedal Santa Rosa



Recolección de muestras de agua





Etiquetado y rotulado de muestras



ALAB		CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA										CANTON							
Fecha de muestra: 2024/06/10		Yacacola, Cacha, 60 Street, Cacha										Código de muestra: 0097							
Punto de muestreo: Aldea, Páramo, Cacha, Páramo		Cacha, Páramo, Cacha, Páramo										Plan de Muestreo:							
Nombre del proyecto: Reserva Biológica Páramo		Reserva Biológica Páramo										Muestra de agua: 10:00 / 10:00							
Número de muestra: 2058		2058										Procedimiento de muestreo: Standard Sample, Standard							
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA												CONDICIONES DE LA MUESTRA		OBSERVACIONES					
Nº de muestra / Etiqueta	Código de laboratorio	Muestra	Clasificación	Utilización	Nº Frascos	CE	CE		CE	CE	CE	CE	CE						
M1	2058	Agua	Agua	Agua	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
M2	2058	Agua	Agua	Agua	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
M3	2058	Agua	Agua	Agua	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
M4	2058	Agua	Agua	Agua	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Preservación de muestra de fósforo total con ácido sulfúrico (H₂SO₄)

Llenado de cadena de custodia



Almacenaje en recipiente térmico (cooler) para la conservación de las muestras.