

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES



Estados tróficos en los espejos de agua del humedal El Paraíso y los factores que contribuyen a los procesos de eutrofización (2020-2021)

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES

Pamela Zarit Rivas Castillo

Milena Edita Tahua Flores

ASESORES

Narda Stella Fajardo Vidal

Irene Maximiliana Castro Medina

Lima, Perú

2023

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° 036 - 2023/UCSS/FIA/DI

Siendo las 08:30 a.m. del martes 19 de septiembre de 2023, a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- | | |
|------------------------------------|-----------------|
| 1. Elvira Teófila Castañeda Chirre | presidente |
| 2. Fredy Román Paredes Aguirre | primer miembro |
| 3. Armando Chiclla Salazar | segundo miembro |
| 4. Narda Stella Fajardo Vidal | asesora |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada **Estados tróficos en los espejos de agua del humedal El Paraíso y los factores que contribuyen a los procesos de eutrofización (2020-2021)**, que presentan las bachilleres en **Ciencias Ambientales, Pamela ZaritRivas Castillo y Milena Edita Tahua Flores**, 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 **X**
DESAPROBAR ...

La tesis, con el calificativo de **MUY BUENA** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare **EXPEDITA** para conferir el **TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL**.

Lima, 19 de setiembre de 2023.

Elvira Teófila Castañeda Chirre
PRESIDENTE

Fredy Román Paredes Aguirre
1°MIEMBRO

Armando Chiclla Salazar
2°MIEMBRO

Narda Stella Fajardo Vidal
3°MIEMBRO

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

Ciudad, 17 de Marzo 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, bajo mi asesoría, con título: ESTADOS TRÓFICOS EN LOS ESPEJOS DE AGUA DEL HUMEDAL EL PARAÍSO Y LOS FACTORES QUE CONTRIBUYEN A LOS PROCESOS DE EUTROFIZACIÓN (2020 - 2021), presentado por PAMELA ZARIT RIVAS CASTILLO CON CÓDIGO DE ESTUDIANTE 2015101733 Y DNI N° 74974268, y MILENA EDITA TAHUA FLORES CON CÓDIGO DE ESTUDIANTE 2015101767 Y DNI N° 76714930 para optar el título profesional 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 %** (poner el valor del porcentaje).* 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 del Asesor (a)
DNI N°: 40013789
ORCID: 0000-0003-3508-8324
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 mis padres, José Rivas Escribano y Mirian Castillo Eugenio, quienes me apoyaron incondicionalmente y me motivaron a cumplir con mis metas a nivel personal y profesional. A mis tías, Andrea Castillo y Margarita Rivas quienes, con su apoyo emocional en los momentos difíciles, me motivaron a seguir esforzándome.

Pamela Zarit Rivas Castillo

A mis padres, Edita Flores Roque y César Tahua Bravo, quienes me han apoyado siempre en mi desarrollo personal y profesional a pesar de las diversas dificultades, especialmente a mi madre que es mi soporte y mi fuerza en cada etapa de mi vida. A mi prima y mi tía, Denys Contreras Flores e Higinia Flores Roque, quienes me brindaron su apoyo en todo sentido durante los momentos complicados del desarrollo de esta tesis en el contexto de una pandemia y están siempre pendientes de mis pasos, por lo que estoy sumamente agradecida.

Milena Edita Tahua Flores

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darnos la vida, brindarnos la paciencia y la perseverancia para continuar día a día, y bendecirnos con la oportunidad de concluir una de nuestras metas.

A nuestras familias, por su constante apoyo y motivación en el logro de nuestras metas a nivel personal y profesional.

A nuestras asesoras y docentes: a la Mg. Blga. Narda Fajardo Vidal, por incentivarnos a realizar la presente investigación y apoyarnos en cada paso de su desarrollo, y a la Mg. Geóg. Irene Castro Medina, por brindarnos sus conocimientos y aceptar guiarnos en el planeamiento y ejecución de la investigación.

Al Ing. José Víctor Ruiz Ccancece, por impulsarnos y guiarnos en el desarrollo de nuestra tesis brindándonos sus conocimientos, compartiendo sus experiencias en la investigación y motivándonos a lograr nuestros objetivos.

Al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo [PRONABEC], por brindarnos la oportunidad de formarnos profesionalmente en una universidad de calidad a través del Programa Beca 18, así como a los miembros de la oficina de Beca 18 en la Universidad, por su acompañamiento y soporte emocional en nuestra formación académica.

Al Lic. Miguel Angel Romero Baldeon, del Complejo Arqueológico Bandurria, por su apoyo logístico y acompañamiento en el trabajo de campo.

Al Programa de Responsabilidad Social del laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C. (SAG) que, mediante el compromiso ambiental con el Complejo Arqueológico Bandurria próximo al Humedal El Paraíso, financió la investigación como apoyo a la conservación del referido humedal costero cubriendo los costos de los análisis fisicoquímicos del presente estudio.

A Yancarlos Llanos Santos y Ruth Elisabet Chauca Quiñones, nuestros compañeros del programa de estudios de Ingeniería Ambiental, por su gentil colaboración en nuestros trabajos de campo.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria	vi
Agradecimientos	vii
Índice general	ix
Índice de tablas	xii
Índice de figuras	xiv
Índice de apéndices	xvi
Resumen	xvii
Abstract	xviii
Introducción	1
Objetivos	3
Capítulo I: Marco teórico	4
1.1. Antecedentes	4
1.1.1. Internacionales	4
1.1.2. Nacionales	7
1.2. Bases teóricas especializadas	14
1.2.1. Humedales	14
1.2.2. Impacto antrópico	16
1.2.3. Eutrofización	17
1.2.4. Estados tróficos	18
1.2.5. Índice de estado trófico adaptado a diferentes ecosistemas	19
1.2.6. Parámetros fisicoquímicos del agua	21
1.2.7. Sistemas de Información Geográfica (SIG)	22

1.2.8. Interpolación basada en ponderación por distancia	23
1.2.9. Teledetección	24
1.2.10. Análisis multitemporal	24
1.2.11. Análisis multiespectral	24
1.2.12. Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI)	25
Capítulo II: Materiales y métodos	26
2.1. Diseño de la investigación	26
2.2. Lugar y fecha	26
2.2.1. Características generales del humedal El Paraíso	27
2.3. Materiales y equipos	28
2.3.1. Materiales de campo	28
2.3.2. Equipos y software	28
2.4. Población y muestra	29
2.5. Técnicas e instrumentos	29
2.6. Descripción de la investigación	31
2.7. Identificación de las variables y su mensuración	46
2.8. Análisis estadístico de datos	46
Capítulo III: Resultados	48
3.1. Parámetros fisicoquímicos asociados al proceso de eutrofización	48
3.2. Estados tróficos	58
3.3. Actividades antrópicas identificadas	66
3.3.1. Actividades antrópicas	66
3.3.2. Percepción de la población respecto al humedal	69

3.4. Relación entre el crecimiento urbano del Pueblo Paraíso y la presencia de vegetación del humedal El Paraíso en las últimas dos décadas	72
3.4.1. Crecimiento urbano del Pueblo Paraíso en el período 2002-2020	72
3.4.2. Presencia de vegetación en el humedal El Paraíso en las últimas dos décadas	77
3.4.3. Correlación de Pearson entre el crecimiento urbano y la vegetación del humedal El Paraíso en las últimas dos décadas	83
Capítulo IV: Discusiones	84
4.1. Parámetros fisicoquímicos de los espejos de agua	84
4.2. Estados tróficos	86
4.3. Actividades antrópicas identificadas en el centro poblado “San José de Puñún”	87
4.3.1. Actividades antrópicas	87
4.3.2. Percepción de la población respecto al humedal	90
4.4. Relación entre crecimiento urbano y la presencia de vegetación en los espejos de agua	91
Capítulo V: Conclusiones	93
Capítulo VI: Recomendaciones	96

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Niveles del estado trófico en los cuerpos de agua.</i>	19
Tabla 2. <i>Clasificación de estados tróficos de acuerdo con el Índice de Estado Trófico de Carlson.</i>	20
Tabla 3. <i>Métodos de ensayo</i>	30
Tabla 4. <i>Preselección de los puntos de muestreo</i>	33
Tabla 5. <i>Ubicación de los puntos de muestreo</i>	33
Tabla 6. <i>Envases y preservantes usados para la toma de muestras</i>	35
Tabla 7. <i>Fórmulas empleadas para obtener el NDVI según imagen satelital</i>	43
Tabla 8. <i>Variables de la investigación</i>	46
Tabla 9. <i>Resultados de la primera campaña de muestreo (octubre 2020) para el espejo de agua norte</i>	48
Tabla 10. <i>Resultados de la primera campaña de muestreo (octubre 2020) para el espejo de agua sur</i>	49
Tabla 11. <i>Resultados de la segunda campaña de muestreo (marzo 2021) para el espejo de agua norte</i>	50
Tabla 12. <i>Resultados de la segunda campaña de muestreo (marzo 2021) para el espejo de agua sur</i>	51
Tabla 13. <i>Diferencias significativas entre los valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos respecto a los espejos de agua según la prueba t de Student</i>	52
Tabla 14. <i>Diferencias significativas entre los valores de los parámetros fisicoquímicos respecto a las campañas de muestreo según la prueba t de Student</i>	53
Tabla 15. <i>Correlación de Pearson entre resultados de la primera campaña para la laguna norte</i>	54

Tabla 16. <i>Correlación de Pearson entre resultados de la primera campaña para la laguna sur</i>	55
Tabla 17. <i>Correlación de Pearson entre resultados de la segunda campaña para la laguna norte</i>	56
Tabla 18. <i>Correlación de Pearson entre resultados de la segunda campaña para la laguna sur</i>	57
Tabla 19. <i>Estados tróficos obtenidos en la segunda campaña de muestreo para el espejo de agua norte</i>	58
Tabla 20. <i>Estados tróficos obtenidos en la segunda campaña de muestreo para el espejo de agua sur</i>	58
Tabla 21. <i>Estados tróficos obtenidos en la segunda campaña de muestreo para el espejo de agua norte</i>	58
Tabla 22. <i>Estados tróficos obtenidos en la segunda campaña de muestreo para el espejo de agua sur</i>	58
Tabla 23. <i>Estimación del área ocupada por viviendas de acuerdo con su nivel de consolidación</i>	72
Tabla 24. <i>Áreas por clases obtenidas del cálculo de NDVI</i>	77
Tabla 25. <i>Correlación entre el crecimiento urbano y la variación de la superficie vegetal</i>	83

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Mapa de ubicación de los espejos de agua del humedal El Paraíso	27
<i>Figura 2.</i> Metodología de la investigación	31
<i>Figura 3.</i> Primer muestreo en el humedal El Paraíso	36
<i>Figura 4.</i> Segundo muestreo en el humedal El Paraíso	36
<i>Figura 5.</i> Aplicación de la encuesta a los pobladores del centro poblado San Antonio de Puñun	37
<i>Figura 6.</i> Muestras en el Laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C.	37
<i>Figura 7.</i> Procedimiento para la determinación del parámetro fósforo total	38
<i>Figura 8.</i> Procedimiento para la determinación del parámetro demanda bioquímica de oxígeno	39
<i>Figura 9.</i> Procedimiento para la determinación del parámetro clorofila a	40
<i>Figura 10.</i> Procedimiento para la determinación del parámetro nitrógeno total	41
<i>Figura 11.</i> Procedimiento para obtener el NDVI a partir de imágenes Landsat	42
<i>Figura 12.</i> Digitalización del área ocupada por viviendas a partir de imágenes Google Earth	44
<i>Figura 13.</i> Procedimiento para obtener mapas de estados tróficos	45
<i>Figura 14.</i> Mapa de estados tróficos obtenidos a partir del parámetro transparencia del agua en la primera campaña	60
<i>Figura 15.</i> Mapa de estados tróficos obtenidos a partir del parámetro clorofila a en la primera campaña	61
<i>Figura 16.</i> Mapa de estados tróficos obtenidos a partir del parámetro fósforo total en la primera campaña	62
<i>Figura 17.</i> Mapa de estados tróficos obtenidos a partir del parámetro transparencia del agua en la segunda campaña	63

<i>Figura 18.</i> Mapa de estados tróficos obtenidos a partir del parámetro clorofila a en la segunda campaña	64
<i>Figura 19.</i> Mapa de estados tróficos obtenidos a partir del parámetro fósforo total en la segunda campaña	65
<i>Figura 20.</i> Fuente de abastecimiento de agua para la población encuestada	66
<i>Figura 21.</i> Destino final del agua residual	67
<i>Figura 22.</i> Tipo de residuos que segrega la población encuestada	67
<i>Figura 23.</i> Destino de los residuos sólidos generados por la población encuestada	68
<i>Figura 24.</i> Actividades económicas realizadas por la población encuestada	69
<i>Figura 25.</i> Relación entre la población encuestada y el humedal	70
<i>Figura 26.</i> Responsables de la protección del humedal según la opinión de la población encuestada	71
<i>Figura 27.</i> Mapa del área ocupada por viviendas para el año 2002	73
<i>Figura 28.</i> Mapa del área ocupada por viviendas para el año 2010	74
<i>Figura 29.</i> Mapa del área ocupada por viviendas para el año 2015	75
<i>Figura 30.</i> Mapa del área ocupada por viviendas para el año 2020	76
<i>Figura 31.</i> Mapa del índice normalizado de vegetación (1999)	78
<i>Figura 32.</i> Mapa del índice normalizado de vegetación (2005)	79
<i>Figura 33.</i> Mapa del índice normalizado de vegetación (2010)	80
<i>Figura 34.</i> Mapa del índice normalizado de vegetación (2015)	81
<i>Figura 35.</i> Mapa del índice normalizado de vegetación (2020)	82

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo en el espejo de agua norte	109
Apéndice 2. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo en el espejo de agua sur	110
Apéndice 3. Validación de la encuesta del primer experto	111
Apéndice 4. Validación de la encuesta del segundo experto	112
Apéndice 5. Encuesta de identificación de actividades antrópicas	113
Apéndice 6. Certificado de calibración del multiparámetro	117
Apéndice 7. Certificado de calibración del conductímetro	119
Apéndice 8. Certificado de calibración de la sonda LDO	121
Apéndice 9. Resultados del análisis fisicoquímico del primer muestreo	123
Apéndice 10. Resultados del análisis fisicoquímico del segundo muestreo	126
Apéndice 11. Cadena de custodia del primer muestreo	128
Apéndice 12. Cadena de custodia del segundo muestreo	129
Apéndice 13. Oficio de permiso de investigación del Gobierno Regional de Lima	130
Apéndice 14. Cartas de presentación para salidas de campo	131
Apéndice 15. Midiendo la transparencia del agua con la ayuda del disco de Secchi en la laguna norte	133
Apéndice 16. Usando el multiparámetro para la medición de parámetros in situ	133
Apéndice 17. Recogiendo muestras de agua con la ayuda del brazo muestreador	133
Apéndice 18. Coloración verde en laguna sur	134
Apéndice 19. Recogiendo muestras de agua en la laguna sur	134
Apéndice 20. Vista panorámica de la laguna sur	134

RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo determinar los estados tróficos en los espejos de agua del humedal El Paraíso y los factores que contribuyen a los procesos de eutrofización. Mediante el análisis de imágenes satelitales evaluó la relación entre la urbanización y la presencia de vegetación en las últimas dos décadas. Se aplicó una encuesta a la población con el fin de identificar las principales actividades antrópicas en el humedal. Se determinaron 11 estaciones de muestreo donde se evaluaron los parámetros fisicoquímicos potencial de hidrógeno (pH), temperatura (T), oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE) y transparencia de disco de Sechi (DS), fósforo total (PT) y nitrógeno total (NTK), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y clorofila a (Cl-a). Asimismo, se empleó el Índice de Estado Trófico de Carlson para determinar los estados tróficos de las lagunas. Respecto a la relación entre la urbanización y la presencia de vegetación en el humedal, se encontró una relación fuertemente positiva ($r = 0,976$; $p = 0,024$). Las principales actividades antrópicas que influyen en la eutrofización de las lagunas son actividades domésticas, ganadería y agricultura. Los parámetros fisicoquímicos mostraron valores mínimos y máximos de pH (6,97 – 9,58), T (20,80 – 32,80 °C), OD (6,37 – 11,56 mg/L), CE (5530 – 12960 $\mu\text{s/cm}$), DS (0,15 – 1,02 m), PT (0,013 – 1,197 mg/L), NT (<1,00 – 6,10 mg/L), DBO₅ (<2,00 – 71,10 mg/L) y Cl-a (<0,003 -0,060 mg/L) para octubre de 2020, y de pH (7,86 – 8,81), T (23,00 – 32,30 °C), OD (7,96 – 10,09 mg/L), CE (8060 – 14200 $\mu\text{s/cm}$), DS (0,05 – 0,25 m), PT (0,05 – 1,20 mg/L), NT (1,23 – 6,10 mg/L), DBO₅ (<2,00 – 14,20) y Cl-a (0,006 - 0,035 mg/L) para marzo de 2021. De acuerdo con el Índice de Estado Trófico de Carlson (CTSI), la laguna norte presentó estado mesotrófico (CTSI_N = 48,12) y la laguna sur presentó estado fuertemente eutrófico (CTSI_S = 76,06) en octubre de 2020, mientras que el espejo de agua norte mostró estado medianamente eutrófico (CTSI_N = 65,54) y el espejo de agua sur mostró estado fuertemente eutrófico (CTSI_S = 70,50) en marzo de 2021. Finalmente, se concluye que los espejos de agua presentaron estados tróficos que indican la presencia de contaminantes y proliferación de algas, siendo el crecimiento urbano, el aporte de aguas residuales domésticas por infiltración, las actividades de agricultura y ganadería, los factores principales que contribuyen al estado actual de las lagunas.

Palabras clave: Humedal, estados tróficos, parámetros fisicoquímicos, encuesta, análisis multitemporal.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the trophic states in the water bodies of the El Paraíso wetland and the factors that contribute to eutrophication processes. Through the analysis of satellite images, the relationship between urbanization and the presence of vegetation in the last two decades was evaluated. A survey was applied to the population in order to identify the main anthropic activities in the wetland. Eleven sampling stations were determined where the physicochemical parameters potential of hydrogen (pH), temperature (T), dissolved oxygen (DO), electrical conductivity (EC) and Secchi disk transparency (SD), total phosphorus (TP) and total nitrogen (TN), biochemical oxygen demand (BOD₅) and chlorophyll a (Chl-a) were evaluated. The Carlson Trophic State Index was also used to determine the trophic states of the lagoons. Regarding the relationship between urbanization and the presence of vegetation in the wetland, a strong positive relationship was found ($r = 0,976$; $p = 0,024$). The main anthropogenic activities that influence the eutrophication of the lagoons are domestic activities, livestock and agriculture. The physicochemical parameters showed minimum and maximum values of pH (6,97 – 9,58), T (20,80 – 32,80 °C), DO (6,37 – 11,56 mg/L), EC (5530 - 12960 $\mu\text{s/cm}$), SD (0,15 – 1,02 m), TP (0,013 – 1,197 mg/L), NT (<1,00 – 6,10 mg/L), BOD₅ (<2,00 – 71,10 mg/L) and Chl-a (<0,003 -0,060 mg/L) for October 2020, and pH (7,86 – 8,81), T (23,00 – 32,30 °C), DO (7,96 – 10,09 mg/L), EC (8060 - 14200 $\mu\text{s/cm}$), SD (0,05 – 0,25 m), TP (0,05 – 1,20 mg/L), TN (1,23 – 6,10 mg/L), BOD₅ (<2,00 – 14,20 mg/L) and Chl-a (0,006 -0,035 mg/L) by March 2021. According to the Carlson Trophic State Index (CTSI), the northern lagoon showed mesotrophic state (CTSI_N = 48,12) and the southern lagoon showed strongly eutrophic state (CTSI_S = 76,06) in October 2020, while the northern water mirror showed moderately eutrophic state (CTSI_N = 65,54) and the southern water mirror showed strongly eutrophic state (CTSI_S = 70,50) in March 2021. Finally, it is concluded that the water mirrors showed trophic states that indicate the presence of pollutants and algae proliferation, with urban growth, the contribution of domestic wastewater through infiltration, agricultural and livestock activities being the main factors contributing to the current state of the lagoons.

Keywords: Wetland, trophic states, physicochemical parameters, survey, multitemporal analysis.

INTRODUCCIÓN

Los humedales se definen como ecosistemas básicamente acuáticos, caracterizados por brindar diversos servicios ecosistémicos. Pese a ello, actualmente son considerados ecosistemas amenazados, principalmente aquellos que se encuentran cerca de las ciudades. Las principales problemáticas en los humedales del Perú son justamente las prácticas inadecuadas, como la extracción intensiva de recursos naturales, el uso inadecuado del agua, la inapropiada disposición de residuos sólidos y la descarga de aguas servidas, las cuales originan la pérdida de los cuerpos de agua y de la biodiversidad (Pulido, 2010).

La eutrofización es el proceso por el cual se da el incremento de nutrientes en el agua, el cual afecta el desarrollo de la vida, en la medida que disminuye la biodiversidad debido a la proliferación de microalgas, fitoplancton y la incidencia de especies nocivas, así como a eventos de hipoxia y anoxia; esto último, debido a la mayor demanda de oxígeno de dichos nuevos organismos y a la incapacidad de realizar el proceso de fotosíntesis por la restricción del ingreso de luz solar (RAPAL Uruguay, 2010). Como lo indican Moreno *et al.* (2010), este fenómeno es ocasionado principalmente por la descarga de aguas residuales, a la vez que es consecuencia del arrastre de nutrientes por escorrentía debido a la erosión del suelo y el uso indiscriminado de fertilizantes, que generan un aporte considerable de nitratos, amonio y fosfatos.

El humedal El Paraíso se encuentra ubicado en la costa del Perú y, de acuerdo con Cruz (2002), las lagunas principales de esta albufera se encuentran amenazadas específicamente por la sobreexplotación de los recursos, la descarga de aguas residuales urbanas y las técnicas agropecuarias inadecuadas. Además, Cruz (2002) menciona que mediante el canal de irrigación Santa Rosa -una de las fuentes de suministro de los espejos de agua- estas lagunas están siendo afectadas con altos niveles de concentración en contaminantes microbiológicos y bioquímicos. Así, este humedal se encontraría susceptible a sufrir eutrofización; sin embargo, no existen estudios en el área que permitan conocer los estados tróficos en los espejos de agua y, por consiguiente, aseverar que el proceso se esté desarrollando.

La población aledaña al humedal en un 50 % se dedica a la extracción de “junco” *Sciurus* sp., “totora” *Thyphus* sp. y “carrizo” *Phragmites australis* para la producción y venta de esteras y artesanías, pero esto lo hacen sin un plan de manejo por lo que se corre con el riesgo de sobreexplotación de los recursos. Asimismo, los pobladores extraen los recursos hidrobiológicos de la laguna como lo son: “lisa” *Mugil cephalus* Linnaeus, “monengue” *Dormitator latifrons* Richardson y “mojarrilla” *Aequidens rivulatus* Günther, siendo la especie lisa la más consumida (Cruz, 2002); no obstante, la población carece de conocimiento sobre este ecosistema (Ruíz, 2008).

La importancia de este ecosistema se basa en la alta diversidad de aves migratorias y residentes que alberga. De acuerdo con Cruz *et al.* (2017), en el humedal El Paraíso, el 43,2 % de aves son migratorias continentales y residentes, de las cuales se han identificado cinco especies amenazadas según el D.S N°034-2004-AG (2004). Debido a ello, los factores de amenaza mencionados colocan en riesgo la presencia de la avifauna del humedal debido al impacto que sufre su hábitat en cuanto a la disponibilidad de alimento y la calidad del ecosistema (Quiñonez y Hernandez, 2017).

Por otro lado, si bien el humedal El Paraíso es reconocido por la Estrategia Nacional de Humedales como uno de los más importantes en el Perú por su alta diversidad en especies de aves, actualmente no se considera parte de las áreas naturales protegidas del Perú - ANP, aunque el Gobierno Regional de Lima tiene la iniciativa para que este ecosistema se convierta en un Área de Conservación Regional - ACR (Pulido, 2010).

Por todo ello, el presente trabajo de investigación pretende evaluar la relación entre los estados tróficos en los espejos de agua del humedal El Paraíso, las actividades antrópicas y la urbanización, con la finalidad de aportar una investigación que contribuya al desarrollo sostenible del humedal y al proceso de categorización como área de conservación regional del mismo.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar los estados tróficos en los espejos de agua del humedal El Paraíso y los factores que contribuyen a los procesos de eutrofización.

Objetivos específicos

- Determinar los parámetros fisicoquímicos en los espejos de agua del humedal El Paraíso.
- Determinar los estados tróficos en los espejos de agua del humedal El Paraíso.
- Identificar las actividades antrópicas del Centro Poblado San José de Puñún que podrían contribuir a la eutrofización de los espejos de agua del humedal El Paraíso.
- Evaluar la relación entre el crecimiento urbano del Pueblo Paraíso y la vegetación en espejos de agua del humedal El Paraíso como factor de riesgo de eutrofización en las últimas dos décadas.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. Internacionales

Guzmán *et al.* (2021) estudió los cambios de expansión urbana y su relación con el estado trófico de la Laguna Grande y Laguna Chica de San Pedro de la Paz en los últimos 30 años, en Chile. Esta investigación tuvo como objetivo principal evaluar el efecto de la expansión urbana sobre el estado trófico de las lagunas. La metodología consistió en la evaluación de los parámetros de estado trófico (fósforo total, nitrógeno total, clorofila a y transparencia del agua) mediante el índice de Carlson y la clasificación de Smith, para lo cual realizó el muestreo de agua superficial en tres campañas. Además, usó imágenes satelitales de cinco periodos entre 1985 y 2021 para determinar la variación de superficie urbana mediante el análisis de fotointerpretación. Posterior a ello, realizó el análisis estadístico comparativo entre la superficie urbana y los parámetros de estado trófico de los lagos. Los resultados obtenidos para índice de Carlson mostraron un estado mesotrófico para ambas lagunas, mientras que la clasificación de Smith mostró un estado eutrófico para la Laguna Grande en los parámetros de fósforo total, nitrógeno total y transparencia. En cuanto a los resultados del análisis de fotointerpretación, se observó una expansión del 221 % en la cuenca lacustre. Respecto a los resultados del análisis estadístico comparativo, indicaron correlaciones negativas y positivas fuertes; pero estadísticamente no significativas. El autor concluyó que, si bien hubo un constante crecimiento urbano lineal, esto no ocurre con los parámetros de estado trófico, ya que estadísticamente las correlaciones entre las dos variables no fueron significativas. Al finalizar, el autor recomendó implementar un programa de monitoreo continuo de las lagunas en conjunto con un seguimiento constante y fiscalización.

Paredes (2020) estudió la eutrofización en la marisma de Doñana y los arroyos de sus cuencas vertientes, pertenecientes al “Espacio Natural de Doñana”, en España. La investigación tuvo como objetivo principal conocer el comportamiento espacio-temporal de las concentraciones de nutrientes en estos cuerpos de agua, así como identificar sus posibles fuentes, mediante un enfoque mixto y con alcance descriptivo y explicativo. Para ello, la metodología consistió en la realización de 56 muestreos de campo entre los años 2013 y 2016, donde estudió la variación superficial y temporal de los valores de nitrógeno, fósforo y clorofila a; además, el autor evaluó cuantitativamente los cultivos bajo plástico en el periodo 1995-2018, asimismo realizó un análisis de la composición isotópica de nitrógeno, oxígeno e hidrógeno en halófitas en la marisma y distintos puntos de arroyos vertientes a ella (afectados por agricultura y aguas residuales urbanas). En cuanto a los resultados, la cuantificación correspondiente a los cultivos bajo plástico mostraba un incremento de 487 % en área cubierta por invernaderos para el periodo estudiado, lo que explicaba la mayor concentración de nutrientes en los arroyos, donde la mayoría de muestras superaban los límites para el óptimo desarrollo de vida piscícola; asimismo, los resultados del análisis isotópico señalaron que el contenido de nitrógeno en los arroyos tuvieron un origen predominantemente antrópico, y en la marisma indicaba tener origen natural. La autora concluyó que la protección del ecosistema no había logrado evitar la intensificación de la actividad antrópica en las cuencas y sus efectos; también halló un importante proceso de desnitrificación en los arroyos y lagunas estudiados de acuerdo con el análisis isotópico de nitrógeno y oxígeno, por lo que señaló que indicaba la mitigación natural de la eutrofización en el ecosistema.

Diodato *et al.* (2018), en su estudio titulado “Dinámica e impacto de la eutrofización por aportes urbanos en las cuencas hídricas y zona costeras de la ciudad de Ushuaia, Tierra de Fuego” realizado en Argentina, tuvo como objetivo identificar las bahías receptoras efluentes urbanos mediante la caracterización de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de los efluentes ubicados en las bahías Ushuaia, Encerrada y Golondrina. La metodología consistió en el muestreo bimestral (desde el mes de octubre del 2009 hasta febrero del 2011), donde ubicaron 12 estaciones de muestreo a lo largo de las cuencas de agua dulce que atraviesan la ciudad de Ushuaia. Las ubicaciones fueron de la siguiente manera: 3 estaciones en Arroyo Grande (AGa; AGm y AGd), 3 estaciones en Arroyo Buena

Esperanza (ABEa; ABEm y ABEd), 2 estaciones en arroyo Rodríguez (Ara y ARd), 2 estaciones en Turbal urbano (T y ST), uno a la salida al mar del dispersor cloacal (DC) y a la salida de un entubamiento de desborde sobre bahía Golondrina (BG). Los parámetros in situ fueron temperatura, oxígeno disuelto, salinidad, pH, conductividad y turbidez. Además, se tomaron muestras de nitratos, nitritos, amonio, fosfatos y silicatos, material orgánico particulada, sólidos totales en suspensión y bacteria coliformes totales y fecales. Para el análisis de las variables entre los sitios, realizaron la prueba de Kruskal-Wallis. Posterior a ello, analizaron los datos mediante la matriz de correlación y rotación Varimax, a su vez realizaron el análisis factorial mediante el programa Statistica 7.1. Asimismo, en cada estación de muestreo se calculó el índice de calidad de agua, donde consideraron los parámetros de T, OD, pH, turbiedad, CF, NO_3^- , PO_4^{3-} , y STS; para los cálculos se consideraron el valor promedio de todas las fechas de muestreo. Los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas en todos los parámetros al comparar las medias de los 12 sitios. Además, las estaciones DC, ARd, T, ST y BG mostraron valores altos de nutrientes, materia orgánica, sólidos totales en suspensión y bacterias coliformes y en menor concentración de OD. En cuanto al análisis factorial, indicó que el 73,72 % de la varianza total se puede explicar en 4 factores. El primer factor, indicó que el 41,92 % de la varianza total se encuentra correlacionado con la temperatura, asimismo, con las altas concentraciones de NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , SiO_3^{3-} y CF y con la disminución de OD, concluyendo que este hecho estaría asociado al ingreso de aportes urbanos. El segundo factor indicó que el 12,6 % de la varianza total estuvo correlacionado positivamente con la turbidez y las concentraciones de materia orgánica y sólidos totales en suspensión, estos parámetros se relacionan con el ingreso al sistema de agua tanto de origen urbano como de origen natural. Para el tercer factor, el 10,84 % de la varianza total, estuvo correlacionado positivamente con el pH y la conductividad. Por último, el cuarto factor contribuyó con un 8,37 % relacionándose positivamente con la presencia de NO_3^- . Por otro lado, los resultados del ICA mostraron baja calidad ambiental para ABEd, ARd, T, ST y BG, para las demás estaciones muestran una calidad media a buena, con excepción de DC. Los autores concluyen que las zonas altas conservan su calidad de agua a diferencia de las estaciones aguas abajo, por lo que mencionan que los cursos de agua son receptores de las actividades antrópicas y a su vez estos son emisores al sistema costero.

González y Matamoros (2017), realizaron un trabajo de investigación en el humedal Gualí – Tres Esquinas (Colombia), cuyo objetivo fue determinar del grado de eutrofización mediante el uso del índice de eutrofización (IE). Para ello, emplearon tanto la metodología planteada por Vollenweider como la distancia inversa ponderada (IDW), ubicaron 33 estaciones a lo largo del humedal y realizaron 3 campañas de muestreo con el fin de determinar las cantidades de fósforo y clorofila a. Los resultados obtenidos en el IE presentaron, que el humedal fue encontrado en un grado de mesotrófico y eutrófico, mientras que de acuerdo con la metodología propuesta por Vollenweider y al análisis estadístico arrojado por la interpolación IDW realizada en el software ArcGIS, el humedal presentó un grado eutrófico. Finalmente, los autores concluyeron que el humedal Gualí – Tres Esquinas presentó una condición eutrófica causada por la disposición de escombros y residuos sólidos y las descargas de efluentes de aguas residuales y de lluvia provenientes de las municipalidades de Funza y Mosquera.

Beltrán y Rangel (2013), en su estudio realizado en Colombia, tuvieron como objetivo determinar la relación entre la variabilidad del fósforo total en el agua y el estado trófico del humedal de Jaboque. La metodología empleada consistió en un modelo de simulación dinámica que incluía la entrada y salida del agua, así como el ingreso de fósforo total, basándose en ecuaciones diferenciales, para lo cual utilizaron el programa computacional Stella 9.1; en cuanto a las variables utilizadas, los autores dividieron al humedal en tres secciones y trabajaron en la época seca (menor caudal) y lluviosa (mayor caudal). De acuerdo con los resultados, la carga de fósforo disminuía en la época de lluvia, mientras que en la época seca ocurría lo contrario. Asimismo, los resultados obtenidos mostraron un orden decreciente respecto a los estados tróficos y un orden creciente para los tiempos de retención desde la primera hasta la tercera sección. De esta manera, concluyeron que tanto la primera como la segunda sección se encontraban en estado de eutrofia, mientras que la última presentaba condición de mesotrofia.

1.1.2. Nacionales

Chiclla (2022) en su investigación en el humedal Albuferas de Medio Mundo, Huaura, Perú, tuvo como objetivo evaluar las floraciones algales y su relación con el nivel de eutrofización de las aguas del humedal. Para tal fin, realizó el muestreo superficial del agua en seis

estaciones donde obtuvo los parámetros *in situ* de temperatura (T), potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE) y transparencia; asimismo, realizó la recolección de muestras de floraciones de cianobacterias filtrando el agua mediante una res de fitoplancton de 6 µm, para su posterior traslado al laboratorio donde, a partir de las muestras, identificaron y cuantificaron la cianobacteria en estudio, así como determinaron la concentración de clorofila a, nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT); además, determinó el nivel de eutrofización empleando el Índice de Estado Trófico de Carlson. Los resultados mostraron valores de 4,08 a 15,36 mg/L para NT; de 0,10 a 0,13 mg/L para PT; de 25,10 a 26,40 °C para T; de 7,48 a 8,63 para pH y de 3,26 a 5,86 mg/L para OD; además, la cianobacteria *M. aureginosa*, con concentraciones elevadas de $1,0 \times 10^3$ a $3,90 \times 10^3$, presentó dominancia en las floraciones algales. En cuanto a los resultados de las correlaciones entre las floraciones algales y los parámetros fisicoquímicos, estas fueron altas para NT ($p = 0,0001 < 0,05$; $r = 0,740$) y pH ($p = 0,001 < 0,05$; $r = 0,708$), y moderada para T ($p = 0,043$; $r = 0,481$), asimismo indicaron una fuerte relación significativa entre las floraciones algales y la concentración de clorofila ($p = 0,0001$; $r = 0,738$) así como entre las floraciones algales y los valores de estado trófico de Carlson del humedal, que se encontraron en estado eutrófico ($p = 0,002$; $r = 0,688$). Finalmente, la investigación concluyó que existía una relación directa y significativa entre las floraciones algales de *M. aureginosa* y el nivel de eutrofización de las aguas del humedal Albuferas de Medio Mundo.

Airahuacho *et al.* (2020) realizó una investigación en el humedal El Paraíso, Huacho, con el objetivo de demostrar la presencia de parásitos *Anisakis spp* en peces de agua dulce. Para esto, el autor llevó a cabo la captura de ejemplares de tres especies de peces: *Dorminator latifrons* y *Mugil cephalus* del espejo de agua sur, y *Lebiasina bimaculata* del espejo de agua norte. Los resultados del análisis clínico macroscópico de parásitos en vísceras, branquias y músculos evidenciaron la presencia de *Anisakis spp* en estadio larval L3 en un 81 % de los peces capturados, aunque en apariencia estos individuos poseían un aspecto saludable. El estudio concluyó que el hallazgo de *Anisakis spp* en agua dulce, siendo un parásito considerado propio de especies marinas, estaría dado por el ingreso del agua de mar hacia el humedal en épocas de marea alta, y debido a la presencia de gran cantidad de aves migratorias.

Castro (2020) realizó una investigación en humedales de la costa central del Perú, con el objetivo identificar las principales actividades antrópicas que afectan a los humedales Puerto Viejo, Albuferas de Medio Mundo, Ventanilla, Santa Rosa, Pantanos de Villa y El Paraíso. La metodología consistió en un análisis documental de las principales actividades que se desarrollan en cada humedal. De acuerdo con la bibliografía, las actividades antrópicas identificadas en el humedal El Paraíso fueron la agricultura, la ganadería y la urbanización donde los impactos determinados fueron la contaminación microbiológica del recurso hídrico, la afectación de la conservación del ecosistema y la contaminación ambiental, respectivamente. De igual manera, las fuentes indicaron la extracción de recursos vegetales como actividad antrópica en el humedal, aunque sin impactos registrados. Por otro lado, la investigación resaltó la falta de una categoría de protección por el Estado para el humedal El Paraíso.

Quiroz (2019) evaluó los estados tróficos del espejo de agua principal del Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo (ACRAMM), Huaura, Perú. El objetivo principal fue evaluar los estados tróficos del espejo de agua e identificar las fuentes de contaminación asociada al proceso de eutrofización. La investigación fue descriptivo-transversal para el análisis fisicoquímico y explicativo no experimental para el estudio de las fuentes de contaminación y sus efectos. La metodología utilizada fue el análisis fisicoquímico de la laguna en dos muestreos; asimismo, formuló modelos matemáticos con base en arreglos de regresión lineal simple y múltiple, considerando los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico como variables independientes y los valores de reflectancia de las bandas de Sentinel-2 como dependientes. En la primera campaña obtuvo como resultados, una variabilidad muy similar en los parámetros fisicoquímicos a lo largo de la columna de agua con medias de 4,88 a 4,90 mg/L para OD; de 25,41 a 25,68 °C para T; de 5333,21 a 5421,54 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para CE; de 8,24 a 8,29 para pH; 0,13 a 0,19 m para DS, de 0,125 a 0,128 mg/L para fosfatos y de 4,810 a 5,028 mg/L para NT. Del mismo modo, la laguna presentó estado eutrófico en las seis fechas evaluadas, indicado por la transparencia del Disco de Secchi ($\text{IETM}_{\text{DS}} > 76,04$); mientras que fue clasificado en estado eutrófico ($\text{IETM}_{\text{PT}} > 65,56$) en las cinco primeras fechas y presentó estado oligotrófico a eutrófico en la última ($\text{IETM}_{\text{PT}} = 38,29 - 56,99$), de acuerdo con el modelo para fósforo total. Finalmente, el autor concluyó que la laguna presentaba eutrofización, ocasionada fundamentalmente por el ingreso de aguas residuales industriales y de agricultura, así como por el desarrollo del

pastoreo y la existencia de infraestructuras turísticas, de abastecimiento y tratamiento de agua.

Tito (2019), en el trabajo de investigación, tuvo como objetivo principal determinar la relación entre el nivel de eutrofización y el impacto ambiental en la laguna Génesis de Pantanos de Villa, Chorrillos, Lima, Perú. La investigación fue de diseño no experimental, y nivel de estudio fue descriptivo – correlacional. La metodología aplicada consistió en la toma de muestras de 3 puntos de la laguna, donde realizó la medición de los parámetros temperatura, pH, CE y OD a fin de comparar los valores obtenidos con los estándares de calidad de agua (categoría 4 y subcategoría E1); asimismo, analizó los parámetros fósforo total, nitrato, sólidos suspendidos y clorofila a para determinar el índice de estado trófico empleando el Índice de Estado Trófico de Carlson (TSI) y evaluó la correlación entre los parámetros fisicoquímicos y los parámetros de eutrofización (variable nivel de eutrofización) mediante la prueba de correlación de Pearson. Los resultados determinaron que la conductividad eléctrica superó los valores establecidos con resultados de 4315, 4340 y 4320 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que pH y oxígeno disuelto no superaron los estándares; por otro lado, encontró que no existía relación significativa entre los parámetros fisicoquímicos y los parámetros de nivel de eutrofización, pero identificó un valor positivo alto de correlación entre clorofila a y sólidos suspendidos. Finalmente, concluyó que la laguna se encontraba en estado mesotrófico de acuerdo con el parámetro clorofila a, en estado eutrófico según el parámetro de transparencia del agua y en estado hipereutrófico dado por el parámetro fósforo total.

Díaz *et al.* (2018) realizó un estudio en la laguna “Paraíso”, Huacho, con el objetivo de cuantificar la producción primaria, índice de productividad y biomasa del fitoplancton y estimar su relación con las condiciones ambientales del espejo de agua. Para ello, llevó a cabo una investigación descriptiva-correlacional con diseño de una sola casilla tomando 120 unidades muestrales: 90 por muestreo aleatorio estratificado en tres puntos y 30 por muestreo aleatorio sistemático. Los resultados mostraron heterogeneidad entre pigmentos y puntos de muestreo en la totalidad de variables e indicadores, la prueba de Tukey indicó valores más altos de oxígeno, productividad total, y productividad primaria neta e índice de productividad en los estratos 3, 1 y 2 respectivamente, además el pigmento más abundante fue la clorofila a. La relación de la temperatura del aire con el índice de productividad fue

negativa, mientras que fue positiva con la biomasa. El estudio concluyó que el cuerpo de agua presentó una buena productividad primaria dada por el elevado valor del índice de productividad y la tasa de biomasa fitoplanctónica; asimismo, la temperatura del agua mostró influencia negativa en la productividad total, primaria neta, índice de productividad y biomasa.

Loayza *et al.* (2017) realizaron un estudio de teledetección y caracterización fisicoquímica del humedal El Cascajo, en Chancay, Perú. El objetivo principal de este estudio fue evaluar el nivel de contaminación del humedal. Para ello, la metodología consistió en ubicar 4 puntos de muestreo en el humedal, donde evaluaron *in situ* los parámetros fisicoquímicos de temperatura, OD, CE, pH y profundidad; y en laboratorio, los parámetros sólidos totales, transparencia, nitrógeno orgánico y nitrógeno total. Asimismo, usaron la teledetección mediante imágenes aeroespaciales del satélite Landsat de los años 2005, 2011 y 2015, donde aplicaron la combinación de bandas para falso color (4-3-2) y la clasificación supervisada de imágenes e índice de vegetación (NDVI). Los autores compararon los resultados obtenidos con los valores del ECA agua – 2015 de la categoría 4 (Conservación del ambiente acuático), y los valores oscilaron de 20 a 23 °C para T; de 7,85 a 8,7 para pH; de 15 a 21 cm para transparencia del agua; de 1,1 a 1,24 m para profundidad; de 4,6 a 6 mg/L para OD; de 900 a 38000 uS/cm para CE; de 0,018 a 0,2 mg/L para NO₃; de 20,8 a 78,65 mg/L para NT y de 1,4 a 20,8 % para materia orgánica, donde observaron que los valores de OD, CE, NT y materia orgánica superaron el ECA agua; y finalmente, los resultados del índice NDVI mostraron gran presencia de lechugas de agua. Por último, los autores concluyeron que el humedal se encontraba en proceso de eutrofización a causa de la actividad antrópica, el vertimiento de agua residual proveniente de la alcantarilla y el sobrepastoreo en la zona.

Tello *et al.* (2014) estudió la caracterización de sedimentos en la laguna norte del humedal El Paraíso, en Perú, tuvo como objetivo principal evaluar los parámetros fisicoquímicos en el agua y estudiar los elementos químicos en los sedimentos. Para ello, la metodología consistió en un muestreo no probabilístico, donde tomaron muestras de cuatro puntos equidistantes y zigzag, teniendo en cuenta el fondo, extensión y forma de la laguna y el movimiento horizontal del agua, y aplicaron la fluorescencia de rayos X por energía dispersa y la espectroscopia de absorción atómica a estas cuatro estaciones. Los parámetros que

evaluaron fueron: temperatura, oxígeno disuelto, alcalinidad, dureza, pH y transparencia del agua. De esta manera, los resultados obtenidos fueron 19,08 °C para T; 7,18 mg/L para OD; 8,5 para pH; 184 mg/L para alcalinidad; 300 mg/L para dureza y 18,75 cm para transparencia, mientras que en los resultados de los sedimentos obtuvieron 8,16 para pH y niveles de concentración en ppm de Ca (43 281,98) > Fe (5319,51) > Mn (137,69) > Sr (111,17) > Si (81,00) > Zn (32,28) > Cu (6,42). Los autores concluyeron que los parámetros fisicoquímicos no superaron los estándares de calidad ambiental (ECA agua) y respecto a las concentraciones de Cu y Zn, no superaron los valores establecidos por la norma Internacional Interim Sediment Quality Guidelines.

Díaz y Sotomayor (2013) realizaron una investigación sobre el nivel de eutrofización en la laguna Conococha, ubicada en el departamento de Áncash, Perú. El estudio tuvo como objetivo principal determinar el nivel trófico mediante diferentes modelos matemático para cada parámetro fisicoquímico, mediante un enfoque cualitativo, alcance explicativo y un diseño no experimental. Los autores establecieron seis puntos de monitoreo de acuerdo con el método de cuadrantes y consideraron las zonas con fuentes de contaminación y la descarga de sus efluentes y residuos sólidos, donde realizaron dos campañas de muestreo, en época estival y en época lluviosa y emplearon las variables fósforo total, nitrato, clorofila a y transparencia del agua para la determinación del estado trófico mediante la OECD y el índice de Carlson, que se analizaron individualmente. Obtuvieron como resultados, de acuerdo con la OECD, un nivel trófico hipereutrófico para la variable fósforo total, un nivel eutrófico para la variable nitrato, un nivel hipereutrófico para clorofila a y también un nivel hipereutrófico para la variable transparencia, todo ello en ambas temporadas; además, con el índice de Carlson, el fósforo total determinó un nivel hipereutrófico, la clorofila a indicó un nivel eutrófico y la transparencia determinó un nivel eutrófico para las dos temporadas. Por lo tanto, los autores concluyeron que la laguna Conococha presenta nivel eutrófico con tendencia a hipereutrófico, ocasionado principalmente por el desarrollo de ganadería en la zona, la descarga de aguas residuales y residuos sólidos en el cuerpo receptor.

Cruz (2002) realizó un estudio en los espejos de agua del humedal El Paraíso, Perú. El objetivo principal fue contribuir a la conservación y desarrollo de las lagunas y área de influencia como hábitat de la biodiversidad de aves y de comunidades vegetales. El autor

empleó metodologías para los diferentes aspectos evaluados: para la flora realizó la colecta botánica en los meses de diciembre de 1999 y enero del 2000; para la fauna y avifauna llevó a cabo censos por conductores y censos por transectos en los meses de abril, julio, septiembre, diciembre de 1999 y abril del 2000; para el muestreo de agua tomó tres estaciones de muestreo en la laguna norte, dos estaciones en la laguna sur y una estación entre la entrada del canal y la laguna norte, donde evaluó los parámetros fisicoquímicos, bioquímicos y microbiológicos en el mes de octubre del 2000; por último, para la evaluación de las actividades antrópicas aplicó encuestas de 20 preguntas dirigidas a un total de 13 personas de 4 asociaciones campesinas y agroindustriales. Cabe mencionar que el autor utilizó la metodología establecida por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” para el análisis de las muestras de agua; asimismo, planteó criterios y lineamientos base para formular una propuesta de manejo y desarrollo del lugar, teniendo en cuenta tanto el estado de los recursos naturales como el entorno socioeconómico. Los resultados mostraron que el 50 % de los pobladores practicaban la agricultura y ganadería, y el porcentaje restante, se dedicaba a la extracción de junco, totora y carrizo, y el 92 % de la población presentaba una dependencia de los recursos de los espejos de agua y alrededores, principalmente los peces y el junco; además, los resultados evidenciaron que las personas estaban de acuerdo con promover fines turísticos en el área, aunque el 73 % de ellos prefería el manejo de aves con fines de caza. Asimismo, en cuanto a la avifauna encontró 81 especies en el área de estudio, siendo la familia *Rallidae* la más abundante, respecto a la flora halló 33 especies vasculares de las cuales el 62 % de las familias *Poaceae*, *Cyperaceae* y *Asteraceae*. Asimismo, los resultados obtenidos del monitoreo de agua en ambas lagunas indicaron que cumplían con la mayoría de los parámetros de calidad para la preservación de fauna acuática, pesca y zonas recreativas de contacto primario, y los parámetros bioquímicos de ambas lagunas mostraron niveles de contaminación bajos a comparación de los resultados del agua superficial que llega a través del canal de irrigación Santa Rosa. La autora concluyó que a partir de los impactos ambientales y fuentes identificadas podría generar estrategias de conservación a nivel local, regional y nacional, formulación de acciones de protección y control de los recursos, plan de manejo del área, implementación de programas de capacitación, investigación y monitoreo y la promoción del turismo.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Humedales

Los humedales son ecosistemas constituidos principalmente por agua, ya sea porque la capa freática se ubica en la superficie o cercana a ella o porque las aguas que cubren el suelo son poco profundas (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2007). Así también, según el Artículo 1.1 de la Convención de Ramsar, se define a los humedales de la siguiente manera:

Son humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros (Secretaría de la Convención de Ramsar, 1971, p. 1).

En la Estrategia Nacional del Humedales (D. S. N° 004-2015-MINAM, 2015) “se define como humedales a las extensiones o superficies cubiertas o saturadas de agua, bajo un régimen hídrico natural o artificial, permanente o temporal, dulce, salobre o salado, y que alberga comunidades biológicas características, que proveen servicios ecosistémicos” (p. 26). De esta manera se incluye la importancia de los humedales para la biodiversidad y provisión de servicios.

De acuerdo con la Secretaría de la Convención de Ramsar (2007), se consideran cinco tipos principales de humedales: los marinos (que incluyen humedales costeros, lagunas costeras, costas rocosas y arrecifes de coral), los estuarinos (que incluyen deltas, marismas de marea y manglares), los lacustres (relacionados a lagos), los ribereños (adyacentes a ríos y arroyos), y los palustres (marismas, pantanos y ciénagas). Además, se reconocen a humedales artificiales, utilizados para la crianza de peces y camarones, aquellos estanques de granjas o de grava, tierras de regadío, depresiones inundadas salinas, embalses, piletas de aguas residuales y canales. A nivel global, el Sistema Ramsar de Clasificación de Tipos de Humedales ha clasificado 42 tipos de humedales en tres categorías: humedales marinos y

costeros, humedales continentales y humedales artificiales; mientras que, en el Perú, la Estrategia Nacional de Humedales (D. S. N° 004-2015-MINAM, 2015) considera 3 grupos: humedales costeros, humedales andinos y humedales amazónicos.

Humedales costeros

Dentro de los humedales costeros se incluyen manglares, estuarios, albuferas, deltas, oasis y pantanos (D. S. N° 004-2015-MINAM, 2015). Estos humedales, de acuerdo con lo que menciona Pulido (2010), se encuentran distribuidos a lo largo del litoral costero y marítimo, y se ubican en los departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Áncash, Lima, Ica, Arequipa, Moquegua, Tacna; estos humedales brindan servicios tales como:

- Reserva de agua dulce.
- Acumulación de biomasa y formación de suelos orgánicos.
- Albergue de especies amenazadas o en peligro de extinción.
- Función de zona de recarga, almacenamiento y/o descarga de aguas superficiales y subterráneas.
- Mantenimiento de la calidad del agua y depuración natural.
- Soporte para la pesca, la ganadería y la agricultura.
- Actividades educativas y recreativas.
- Hábitat para fauna, especialmente aves acuáticas y flora.
- Regulación de las intrusiones marinas.
- Estabilización del litoral, control de sedimentos y erosión.
- Mejoramiento del microclima.
- Incremento de la calidad paisajística y la consecuente oferta turística.
- Producción primaria en la cadena trófica.

Humedales andinos

Se incluyen en esta clasificación los lagos, lagunas, bofedales, manantiales, puquios, turberas, humedales de páramo y kársticos andinos (D. S. N° 004-2015-MINAM, 2015). Los humedales del trópico andino se encuentran ubicados entre los 3800 y 4550 m s.n.m. abarcando territorio de Argentina, Bolivia, Chile y Perú, donde destacan el lago Junín y el

lago Titicaca en el territorio peruano (Salvador y Cano, 2002). Así también, Salvador y Cano (2002) describen las amenazas hacia estos humedales en su publicación sobre los humedales del trópico andino, y resaltan que los humedales andinos se encuentran amenazados por la contaminación producto de la actividad minera, y la pérdida de superficie debido a obras de trasvase de aguas hacia la costa; el sobrepastoreo y la extracción de la turba para uso como combustible, representan amenazas para la desaparición de pastos naturales en los oconales y zonas anegadas; sumado a ello, se tienen la pérdida de conocimiento y prácticas ancestrales en el manejo de los humedales.

Humedales amazónicos

Dentro de ellos se encuentran lagos y lagunas amazónicas, complejo de orillares, kársticos amazónicos, pantanos amazónicos, bosques de tahuampa, sabana inundable de palmeras y varillares húmedos (D. S. N° 004-2015-MINAM, 2015). Se ubican en el bioma amazónico y destaca el “Abanico del Pastaza” como el mayor complejo de humedales de la Amazonía peruana (Pérez, 2013), los mismos que están siendo afectados por las actividades extractivas y el cambio de uso de suelo, así como por la inadecuada gestión de los recursos naturales para su conservación (Vasquez, 2019). Estos humedales poseen muy alta biodiversidad y productividad; sin embargo, se encuentran amenazados principalmente por el desarrollo de la minería aurífera ilegal, al igual que las cuencas hidrográficas amazónicas y vertientes andinas (Ráez, 2019).

1.2.2. Impacto antrópico

Los impactos ambientales son definidos, de acuerdo con el D. S N° 019-2009-MINAM, como la alteración producida por actividades antrópicas sobre los componentes ambientales ya sea de manera positiva o negativa. Los impactos ambientales, también conocidos como impactos antrópicos, en la gran mayoría, han venido afectando a los ecosistemas de manera negativa, trayendo como consecuencia la extinción de hábitats, y especies de flora y fauna.

Los humedales nos brindan muchos servicios ecosistémicos y son considerados ecosistemas frágiles. Según la Secretaría de la Convención de Ramsar (2010), los principales impactos antrópicos que afectan a los humedales son:

- Pérdida de hábitat, causado por cambio de uso del suelo para el desarrollo de la agricultura, ganadería y/o el crecimiento urbano e industrial.
- Pérdida de especies endémicas, a causa de la introducción accidental o intencional de especies invasoras o exóticas, por parte de las poblaciones aledañas al humedal.
- La sobreexplotación de los recursos hidrobiológicos y vegetativos, como es el caso de la totora y junco. Asimismo, la presencia de ganadería en la zona provoca la reducción de la cobertura vegetal.
- Eutrofización de sus aguas, debido a una sobre carga de nutrientes como el nitrógeno, fósforo y otras sustancias químicas, causado por las aguas residuales domésticas o las actividades de agricultura.
- Extracción excesiva de agua dulce para regadío de las zonas agrícolas o para el desarrollo de actividades domésticas y/o industriales.

1.2.3. Eutrofización

Se define eutrofización como el proceso por el cual disminuye la calidad del agua a causa del incremento de nutrientes, principalmente nitrógeno, fósforo y materia orgánica; lo cual termina por limitar el oxígeno en los sistemas acuáticos (Moreno *et al.*, 2010). Este proceso se produce naturalmente en los cuerpos de agua; sin embargo, es generalmente influenciado por origen antrópico (Fontúrbel, 2005).

Moreno *et al.*, (2010) explican el proceso de eutrofización que inicia cuando el agua de una masa oligotrófica aumenta su concentración de nutrientes; este enriquecimiento favorece la proliferación del plancton, con lo que el nivel de turbidez del agua aumenta. Por consiguiente, la vegetación acuática sumergida desaparece y con ella la disposición de alimentos, hábitats y de oxígeno disuelto de la fotosíntesis. Además, dado que el fitoplancton se aglomera en la superficie, el oxígeno producido por estos y que abastece al cuerpo de agua queda también en la superficie y se escapa hacia la atmósfera. Puesto que el fitoplancton tiene una tasa elevada de crecimiento, al alcanzar el máximo de su densidad poblacional comienza su etapa de decaimiento; la materia muerta se asienta hasta formar detritos en el fondo del cuerpo de agua, los cuales se acumulan generando abundancia de organismos descomponedores. Estos organismos crecen exponencialmente demandando oxígeno

disuelto que consumen para su respiración, y otros gases como el sulfuro de hidrógeno y el amoníaco son producidos por bacterias anaeróbicas. También las bacterias aerobias estrictas prosperan gracias a la disponibilidad de detritos, consumiendo a su vez mayor oxígeno disuelto. Como consecuencia, se da el agotamiento de oxígeno para peces y crustáceos provocando su sofocación.

1.2.4. Estados tróficos

El término “estado trófico” fue utilizado por primera vez por Naumman en 1929, describiéndolo como una condición de abundancia de biomasa algal causada por factores como la química de la cuenca, principalmente la concentración de nitrógeno y fósforo, y la temperatura y la luz, la misma que causa afectación en la estructura biológica de un lago (Carlson y Simpson, 1996).

Carlson y Simpson (1996), refieren que Naumman realizó la clasificación de los lagos basándose en la clasificación del contenido de nutrientes de los pantanos que desarrolló Weber hacia 1907, pero a diferencia del último, Naumman se basó en la producción cuantitativa de fitoplancton, calificando como lagos oligotróficos a aquellos que tuvieran baja producción, y como eutróficos a los que tuvieran una producción elevada. Estos autores concluyeron que, desde sus orígenes, el término alude a la productividad de los lagos; sin embargo, dado que esta clasificación relacionaba los factores físicos y químicos que influyen en dicha productividad, el estado trófico se ha empleado a través del tiempo incluyendo tanto las variables causales como las de los efectos indistintamente.

Actualmente, se manejan diferentes tipos de clasificación para los estados tróficos como los que describen Moreno *et al.* (2010), tales como el índice de eutrofización de Carlson, las categorías tróficas de la OCDE, el índice de eutrofización por nutrientes, el estado trófico de TRIX, e incluso la aplicación de sistemas de información geográfica. Todos ellos categorizando los estados tróficos generalmente desde oligotróficos (con bajo contenido de nutrientes y biomasa fitoplanctónica) hasta hipereutróficos (con contenidos más altos de nutrientes y mayor biomasa de fitoplancton).

1.2.5. Índice de estado trófico adaptado a diferentes ecosistemas

El Índice de estado Trófico o Índice de Carlson fue uno de las primeras propuestas para la medición del nivel de eutrofización en sistemas lacustres en 1977. Este índice se determina mediante el disco de Secchi (DS) para la medición de la transparencia a través de la columna de agua. La transparencia medirá el nivel de refracción de la luz a través de la turbidez y el color en un volumen de agua (López y Madroño, 2015).

Como se muestra en la Tabla 1, cada vez que el TSI aumenta 10, el DS se reducirá en un 50 %. Asimismo, este índice se puede calcular mediante la concentración de clorofila (Cl-a) y fósforo total (PT) a partir de valores deducidos con anterioridad según su relación con la transparencia. La escala que utiliza va de 0 a 100, abarcando condiciones tróficas desde oligotrofia hasta hipereutrofia (Moreno *et al.*, 2010).

Tabla 1

Niveles del estado trófico en los cuerpos de agua

Nivel de estado de eutrofia	Índice de estado trófico	Disco de S (m)	Fósforo total (mg/m ³)	Clorofila 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
	40	4	12	2,6
Mesotrófico (30 < TSI < 60)	50	2	24	6,4
	60	1	48	20
	70	0,5	96	56
Eutrófico (60 < TSI < 90)	80	0,25	192	154
	90	0,12	384	427
	100	0,06	768	1183
Hipertrófico (90 < TSI < 100)				
Relación de los parámetros de eutrofización.		$\frac{TSI_{DS}}{2}$	$2 * TSI_{Pt}$	$\sqrt{7,8 TSI_{Clor f a}}$

Nota. Moreno *et al.* (2010).

Las fórmulas propuestas por Carlson (1977) para calcular el TSI y el CTSI en función de las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos se presentan a continuación (Iqbal *et al.*, 2022).

$$TSI_{SD}(m) = 60 - 14,41 \ln(SD)$$

$$TSI_{TP} \left(\frac{\mu g}{L} \right) = 14,42 \ln(TP) + 4,15$$

$$TSI_{chl} \left(\frac{\mu g}{L} \right) = 9,81 \ln(Chl) + 30,6$$

$$CTSI = \frac{TSI_{SD} + TSI_{PT} + TSI_{chl}}{3}$$

Donde:

SD = transparencia de la profundidad de Sechi (m)

TP = fósforo total ($\mu g L^{-1}$)

Chl = concentración de clorofila-a ($\mu g L^{-1}$)

CTSI = índice de estado trófico de Carlson

Tabla 2

Clasificación de estados tróficos de acuerdo con el Índice de Estado Trófico de Carlson

Valor del índice	Estado trófico	Descripción
<30	Ultraoligotrófico	La cantidad de nutrientes es despreciable. El cuerpo de agua está limpio.
30 – 40	Oligotrófico	La cantidad de nutrientes en el cuerpo de agua es baja.
40 – 50	Mesotrófico	Moderada concentración de nutrientes.
50 – 60	Ligeramente eutrófico	La concentración de nutrientes es alta. Disminución de la pureza del agua.
60 – 70	Medianamente eutrófico	La concentración de contaminantes es alta.
70 – 80	Fuertemente eutrófico	La concentración de nutrientes es alta causando la proliferación de algas.
> 80	Hipereutrófico	La concentración de nutrientes es muy alta. Se desarrolla la proliferación de algas. La mayor parte de la vida acuática, incluidos los peces no puede sobrevivir.

Nota. Iqbal *et al.* (2022).

1.2.6. Parámetros fisicoquímicos del agua

Nitrógeno total

El nitrógeno total Kjeldahl es el amoníaco libre o amonio (NH_4^+) en sus diferentes formas de compuesto nitrogenados de origen biológico. El nitrógeno al ingresar a un cuerpo de agua, este puede nitrificar, fijar en las arcillas del suelo y/o es consumida por algas y macrófitas en la materia orgánica (White y Reddy, 2009). El nitrógeno en los humedales se suele almacenar en forma de nitrógeno orgánico e inorgánico, este último lo podemos encontrar en forma de amonio, nitratos y nitritos (Reddy y Delaune, 2008). La concentración de nitratos y amonio son un indicador del tiempo de contaminación del agua (Jiménez, 2000). La alta concentración de este compuesto en el agua resulta ser muy nocivo para la vida acuática y para los que consumen este recurso. Las principales causas que provocan el alto nivel de concentración de nitratos son: los fertilizantes, estiércol, compost y pozos sépticos; estos llegan al cuerpo receptor por medio de lixiviados y/ o escorrentías (Minaya, 2016).

Fósforo total

Los humedales se caracterizan por ser ricos en fósforo orgánico e inorgánico, y a su vez se encargan de eliminar y retenerlos (Alvarez, 2016). A partir del fósforo inorgánico, se forman los iones fosfatos (PO_4^-). Los fosfatos se pueden encontrar en el agua de lluvia y en detergentes, como polifosfatos. La elevada concentración de fosfatos en cuerpos acuáticos es nociva ya que puede provocar la muerte de las especies acuáticas. Además, el fosfato es un nutriente para el crecimiento de algas, pero el crecimiento desmedido de estas puede ocasionar la eutrofización del cuerpo de aguas superficiales (Bolaños *et al.*, 2017). Asimismo, Pütz (2008) indica que los fosfatos encontrados en las aguas residuales, que en su mayoría terminan siendo el afluente algún cuerpo receptor, provienen de fertilizantes, excreciones humanas y de animales, detergentes y productos de limpieza.

Clorofila a

La concentración de clorofila a es uno de los métodos más sencillos y utilizados para la medición del fitoplancton, y se mide en pigmentos fotosintéticos por unidad de volumen. El fitoplancton es el conjunto de organismos microscópicos fotosintetizadores que se

encuentran en los cuerpos de agua y que, por tanto, son indicadores de la calidad del agua (Montoya y Aguirre, 2010).

Transparencia del agua

La transparencia está determinada por la absorción de la luz en la columna de agua a determinada profundidad (Echeverría *et al.*, 2007). Su valor es dependiente de la concentración de materiales suspendidos, por lo que se encuentra inversamente relacionado con la turbidez. Se mide en unidades de longitud empleando el disco de Secchi (Quiroz, 2019).

1.2.7. Sistemas de información geográfica (SIG)

El concepto de SIG posee múltiples definiciones, desde unas simples hasta otras más complejas. Se podría entender, de manera simple, como una base de datos que contiene información espacial. Saenz (1992) define un SIG como “un conjunto interactivo de subsistemas orientados hacia la captura y organización de la información de la información georreferenciada, con el fin de suministrar elementos de juicio para apoyar la toma de decisiones” (p. 33). Actualmente, los SIG tienen una aplicación bastante amplia, de hecho, Olaya (2014) refiere que el 70 % de la información que se maneja es georreferenciada. En este sentido, el autor, busca darle una definición más actual, que tome en cuenta la naturaleza integradora del concepto. Olaya define un SIG, con base en otras fuentes, como “un sistema que integra tecnología informática, personas e información geográfica, cuya función es capturar almacenar, editar y representar datos georreferenciados” (Olaya, 2014, p. 3), brindando así un concepto que incluye su función como herramienta de nexo entre sus usuarios y destaca su papel en la ciencia de la información geográfica. El autor también describe cinco componentes fundamentales de un SIG: datos, análisis, visualización, tecnología y factor organizativo.

- a. Datos:** constituyen la base del sistema y contienen la información geográfica, por lo que es necesario conocer sus propiedades y dar importancia a su calidad.
- b. Análisis:** se refiere a la funcionalidad que permite obtener resultados analizando datos mediante formulaciones simples y complejas.

- c. **Visualización:** es la forma principal de representar la información geográfica, de manera que facilita la interpretación.
- d. **Tecnología:** conformada por el *hardware* y el *software*, como medio físico o plataforma y herramienta operativa para manipular los datos, respectivamente.
- e. **Factor organizativo:** referido a la organización entre los elementos del sistema y entre los usuarios a través de la estandarización de los datos para una gestión adecuada.

1.2.8. Interpolación basada en ponderación por distancia

La interpolación se refiere al método que permite obtener valores de puntos no muestreados, mediante cálculo, a partir de otros; en este sentido, el método de interpolación por distancia ponderada se basa en el uso de algoritmos donde el valor de una celda es calculado a partir de la media ponderada de los puntos de influencia seleccionados (Olaya, 2014). Olaya explica que estos métodos no tienen en cuenta la posición de los puntos de influencia, sino su distancia, por lo que los puntos situados en el mismo radio tienen la misma influencia sobre el valor a interpolar; además, no generan valores ajenos al rango de los datos de entrada, por lo que es necesario escoger puntos representativos de la superficie interpolada.

Este método estudia el grado de eutrofia de acuerdo con la distribución espacial, considerando un TSI dado por las variables fósforo total, nitrógeno total, demanda química de oxígeno, profundidad del disco de Secchi, concentración de clorofila a y biomasa de fitoplancton, para describir la eutrofización de los cuerpos de agua lacustres. Utiliza una escala de 0 a 100 para indicar los estados tróficos: oligotrófico, mesotrófico menor, mesotrófico superior, mesotrófico eutrófico, hipereutrófico y muy eutrófico (Moreno *et al.*, 2010). Se emplea la distancia inversa ponderada (IDW) para determinar la distribución espacial y se representan los resultados mediante mapas temáticos, donde se muestra la clasificación de los valores interpolados a partir de los estados tróficos de entrada; de esta manera, se logra ilustrar la distribución espacial de las condiciones de eutrofia en el área de estudio (Fu-Liu *et al.*, 2000, citado por Moreno *et al.*, 2010).

1.2.9. Teledetección

La teledetección se define como una técnica empleada para obtener información de manera remota de un cuerpo situado en la superficie terrestre, marina o en la atmósfera. Se basa en la interacción del objeto con un sensor mediante un flujo de radiación, ya sea radiación solar reflejada por el cuerpo, terrestre emitida por el cuerpo, o emitida por el sensor y reflejada por el cuerpo (Sarría, 2006). Dicha información, permite conocer propiedades o características de los objetos, analizarlas y obtener resultados.

1.2.10. Análisis multitemporal

El análisis multitemporal consiste en la comparación de imágenes satelitales de una misma zona, pero en un intervalo de años. Asimismo, las imágenes deben estar previamente clasificadas con el objetivo de lograr una buena comparación. La clasificación se basa en la elaboración de un solo tipo de leyenda temática para todas las imágenes. Posteriormente, las imágenes, mediante un software, serán vectorizadas con el objetivo de obtener unos polígonos en formato *shape* y así generar una tabla multitemporal con los datos y cálculos de las áreas para cada tipo de parámetro caracterizado (Muñoz *et al.*, 2009).

1.2.11. Análisis multiespectral

El análisis multiespectral consiste en la evaluación de las imágenes multiespectrales en un espacio y tiempo definido, las mismas que están compuestas por bandas espectrales cuya combinación cambiará los colores de las imágenes, resaltando ciertas características específicas de la superficie a evaluar. Las imágenes multiespectrales son un arreglo de columnas y renglones que conforman una matriz de datos numéricos y que representan la emitancia o reflectancia de una parte de la superficie terrestre (Sánchez y Arguijo, 2018).

La cantidad de regiones espectrales o bandas registradas en las imágenes multiespectrales dependerá de la resolución espacial de los satélites, por ejemplo; la constelación de satélites LANDSAT. Las imágenes de LANDSAT están compuestas por siete u ocho bandas espectrales y con una resolución de 15 metros (Berdugo y Reales, 2016).

1.2.12. Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI)

El Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI) determina la vigorosidad de la vegetación a partir de comportamiento radiométrico de la vegetación, actividad fotosintética y estructura foliar de las plantas. Los valores de este índice están en función de la energía absorbida o reflejada por la vegetación en diferentes espectros electromagnéticos. Cuando la vegetación es sana, la imagen tiene un claro contraste entre el espectro visible y el infrarrojo cercano; en cambio, cuando la vegetación sufre alguna alteración, su reflectividad disminuye el infrarrojo cercano y aumenta el rojo (Díaz *et al.*, 2015). En 1973 describieron por primera vez a este índice, que suele variar entre -1 a 1+ de acuerdo con la vigorosidad de la vegetación, como se muestra en la siguiente ecuación (Rouse *et al.*, 1973; citado en Manrique, 1999):

$$NDVI = \frac{\text{Infrarrojo} - \text{rojo}}{\text{Infrarrojo} + \text{rojo}}$$

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

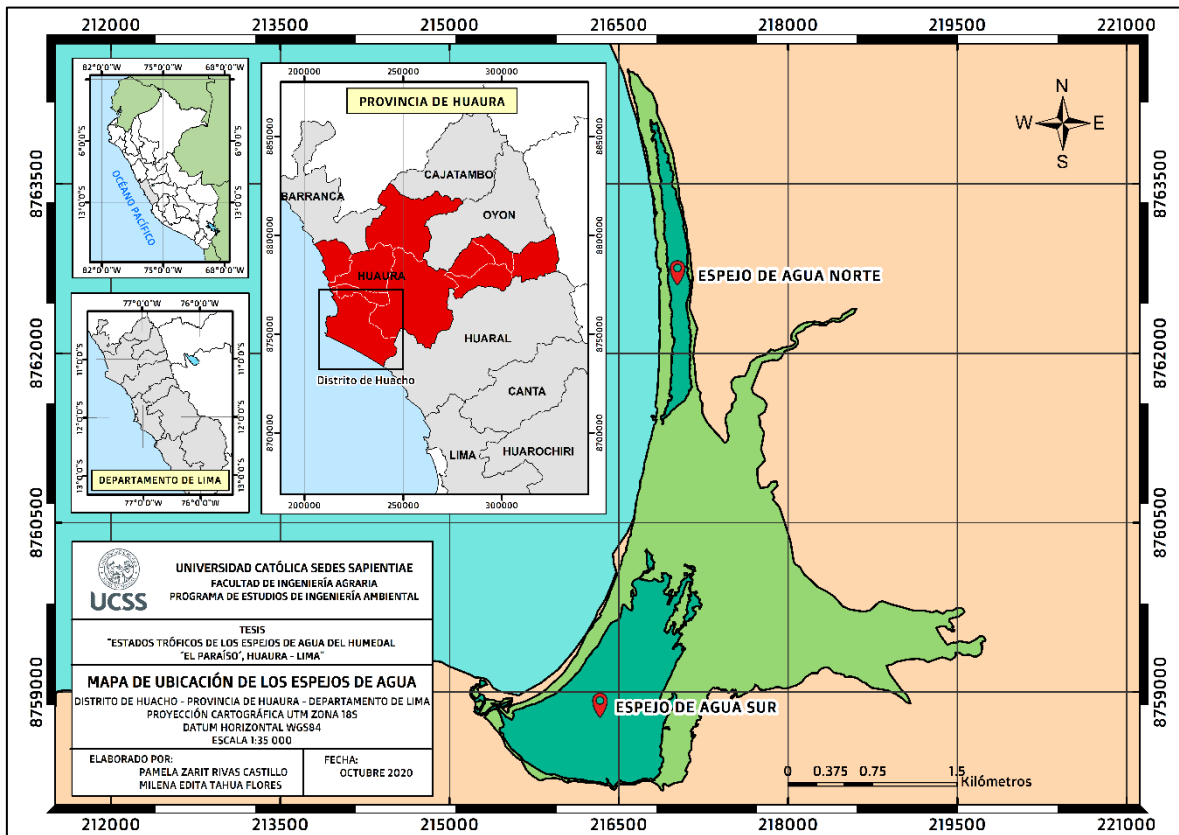
De acuerdo con la clasificación establecida en Hernández *et al.* (2014), se definió la presente investigación como no experimental, con un enfoque cuantitativo y alcance descriptivo. Se clasificó como una investigación de enfoque cuantitativo dado que la evaluación de los estados tróficos en los espejos de agua se determinó a partir de las mediciones numéricas de parámetros fisicoquímicos. Además, dicha evaluación siguió una serie de pasos secuenciales hasta determinar los estados tróficos y describir tanto sus posibles cambios mediante la comparación de los datos en dos fechas como las actividades antrópicas que los podrían propiciar.

2.2. Lugar y fecha

La presente investigación tuvo como área de estudio al humedal El Paraíso, ubicado en la cuenca baja del río Huaura, distrito de Huacho, provincia de Huaura y departamento de Lima, con una superficie estimada de 12 341 hectáreas, y se desarrolló durante el periodo de octubre de 2020 a marzo de 2021. Se evaluaron los dos espejos de agua del humedal, denominados para la investigación como espejo de agua norte y espejo de agua sur, los cuales tienen por referencia las coordenadas geográficas $11^{\circ} 10' 54,41''$ latitud sur y $77^{\circ} 35' 27,86''$ longitud oeste, y $11^{\circ} 13' 07,7''$ latitud sur y $77^{\circ} 35' 54,3''$ longitud oeste, y cuentan con áreas superficiales de $372\,176,82\text{ m}^2$ y $1\,683\,335,3\text{ m}^2$, respectivamente (Figura 1).

Figura 1

Mapa de ubicación de los espejos de agua del humedal El Paraíso



2.2.1. Características generales del humedal El Paraíso

- **Clima**

La zona de estudio cuenta con clima desértico, cálido y húmedo (Quiñonez y Hernandez, 2017).

- **Hábitat**

El humedal el Paraíso posee 9 hábitats, determinados por comunidades vegetativas, suelo y agua; de ellos, 3 son de tipo acuático, representados por playas marinas, lagunas y zonas cenagosas (Pulido, 2010).

- **Flora y fauna**

Pulido (2010) indicó que las especies vegetativas más representativas son: “grama salada” *Distichlis spicata* L. Greene, “salicornia” *Salicornia fruticosa* L. L., “tatora” *Typha angustifolia* L. y “junco” *Scirpus californicus* C.A. Mey., y, en cuanto a fauna, registró 42 especies de aves migratorias, de las cuales 5 son especies migratorias andinas, 36 migratorias boreales y 1 especie migratoria del sur del continente.

Asimismo, entre los años 2015 y 2016, la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente realizó un monitoreo de avifauna, donde encontraron 46 especies y las aves más representativas fueron: gallareta andina, polla de agua, gaviota gris, gaviota capucha gris, gaviota reidora, gaviotín peruano, cormorán y playero occidental (Gobierno Regional de Lima, 2017).

2.3. Materiales y equipos

2.3.1. Materiales de campo

- Libreta de campo
- Lapiceros
- Mapa de ubicación de los puntos de muestreo
- *Cooler*
- Envases
- Preservantes

2.3.2. Equipos y software

- Brazo muestreador
- Equipo portátil multiparámetro
- Equipo de protección personal (chaleco salvavidas, botas de pesca, guantes, mameluco, protector facial, mascarilla)
- Cámara fotográfica semiprofesional
- GPS

- *Softwares:* ArcGIS 10.4.1, Microsoft Office 2016, QGIS 3.4.3, SAS Planet 190707.10011 Stable, SPSS 22.0.)
- Laptop AMD12
- Laptop Core i7

2.4. Población y muestra

Población

Se tomó como población a los espejos de agua norte y sur del humedal El Paraíso, los cuales tienen como área superficial aproximada de 372 177 m² y 1 683 336 m², respectivamente.

Muestra

Se tomaron 6 puntos de muestreo para el espejo norte y 5 para el espejo sur, y de cada punto se colectaron 5 muestras de agua superficial los parámetros fisicoquímicos considerados como se indica en la Tabla 6. La ubicación y cantidad de los puntos de muestreo se establecieron con base en las investigaciones de Ita (2017) para la laguna sur y Quiroz (2019) para la laguna norte, teniendo como criterios principales: la forma de las lagunas, los puntos de contaminación antrópica y la accesibilidad.

2.5. Técnicas e instrumentos

En cuanto a las técnicas, además de los métodos de determinación de parámetros en laboratorio que se especifican en la Tabla 3, se empleó el Índice de estado trófico (IET o TSI) para determinar a través de diferentes indicadores de eutrofia, tales como el Disco de Secchi, la concentración de clorofila a y fósforo total. Asimismo, se utilizó la Distancia Inversa Ponderada (IDW) para representar espacialmente las condiciones de eutrofia encontradas a través de los puntos de muestreo.

De igual manera, en la presente investigación se utilizaron como instrumentos: el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos Superficiales (Resolución

Jefatural N°010-2016-ANA) y los Estándares de Calidad Ambiental para Agua y disposiciones complementarias (Decreto Supremo N°004-2017-MINAM).

Tabla 3

Métodos de Ensayo

Ensayo	Método	L.C	Unidades
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.	2,00 ^(a)	mg/L
Clorofila A	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10200 H, 23rd Ed. 2017. Plankton. Chlorophyll.	3 / 0,003	mg/m ³ mg/L
Fósforo Total (P)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P E, 23rd Ed. 2017. Phosphorus. Ascorbic Acid Method.	0,013	mg/L
Nitrógeno total (NTK)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N _{org} -B, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Organic). Macro-Kjeldahl Method.	1,00	NH ₃ ⁺ -N mg/L

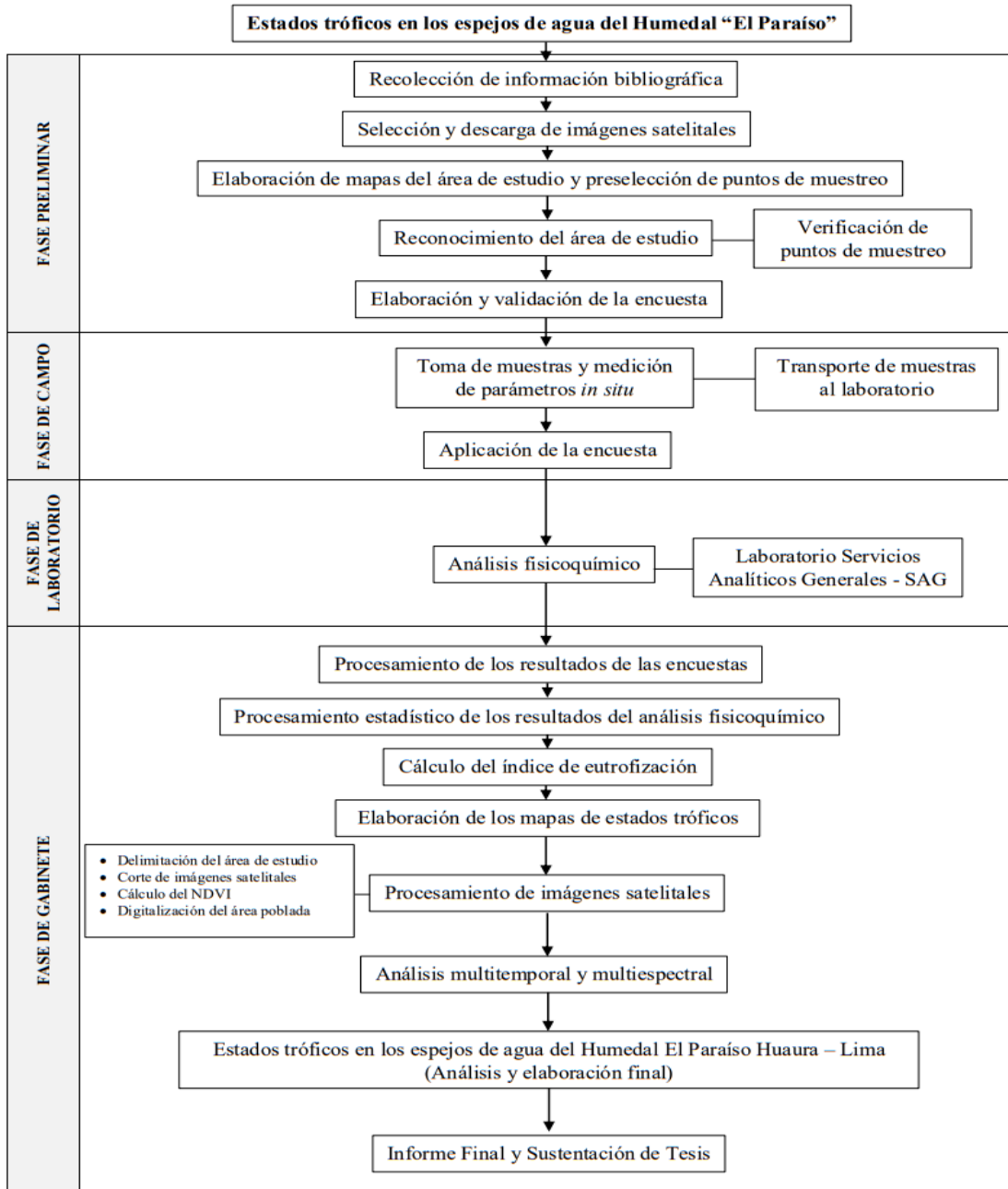
Nota. Información tomada del protocolo de análisis del laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C.
L.C.: límite de cuantificación.

(a) Expresado como límite de detección del método.

2.6. Descripción de la investigación

Figura 2

Metodología de la investigación



La presente investigación se desarrolló con base en el proceso metodológico descrito por Flores (2019), divididas en cuatro fases fundamentales e incluyendo la elaboración de mapas de los estados tróficos como en Quiroz (2019), tal como se muestra en la Figura 2.

Fase preliminar

Durante la fase preliminar, se recopiló información, materiales e instrumentos necesarios para la investigación. Esta fase estuvo constituida por las siguientes actividades:

- **Recolección de información bibliográfica**

Se recopiló información referente al tema, de revistas científicas, normativa legal, repositorios institucionales y otras publicaciones.

- **Selección y descarga de las imágenes satelitales**

Se realizó la selección y descarga de imágenes satelitales, del año 1990 al 2020 con un intervalo de 5 años entre cada imagen, mediante la plataforma *Earth Explorer* del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés). La selección de las imágenes satelitales del área de estudio se realizó considerando mayor visibilidad y ausencia de nubosidad. Además, se realizó la descarga de una imagen satelital del año 2020 para digitalizar la delimitación actual del humedal y sus espejos de agua, empleando la plataforma libre *SAS Planet*.

- **Elaboración de mapas del área de estudio y preselección de los puntos de muestreo**

A partir de la información recopilada y la data recogida, se elaboró un mapa del área de estudio con la finalidad de representar gráficamente su ubicación y los puntos de muestreo, establecidos con base en la visualización satelital de zonas influenciadas por actividades antrópicas y contacto con el mar. Para el espejo de agua norte se consideraron 6 puntos de muestreo, de los cuales el punto N-1 muestra contacto con el mar (ver Apéndice 1). Así también, para el espejo de agua sur se establecieron 5 puntos de muestreo, de los cuales el punto S-1 se encuentra cerca a la salida del espejo de agua hacia el mar y donde se ha observado impactos generados por las actividades recreativas que se desarrollan durante el verano, mientras que los puntos S-3, S-4 y S-5 se ubicaron en la zona del espejo de agua que presenta coloración oscura, de acuerdo con las imágenes satelitales (ver Apéndice 2). A continuación, en la Tabla 3 se muestran los puntos y la descripción de cada uno.

Tabla 4*Preselección de los puntos de muestreo*

Puntos de muestreo	Descripción
N-1	Extremo norte de la laguna
N-2	Punto de ingreso
N-3	Punto medio
N-4	Extracción de especies vegetativas
N-5	Muelle
N-6	Extremo sur de la laguna
S-1	Extremo norte de la laguna
S-2	Punto medio
S-3	Punto medio
S-4	Salida al mar
S-5	Extremo sur de la laguna

- **Reconocimiento del área de estudio**

Previamente, se tramitó la solicitud de permiso para el desarrollo de la investigación, dirigida al Gobierno Regional de Lima, contando con su aprobación (ver Apéndice 13). Se realizó el reconocimiento físico del área de estudio mediante una visita de campo en agosto de 2020, con la finalidad de verificar la distribución de los puntos de muestreo preseleccionados. En la Tabla 5, se presentan las coordenadas UTM de cada uno de los puntos de muestreo.

Tabla 5*Ubicación de los puntos de muestreo*

Puntos de muestreo	Coordenadas	
	Este	Norte
N-1	216814	8764022
N-2	216886	8763861
N-3	216991	8763013
N-4	217041	8762567
N-5	217141	8761710
N-6	216883	8761411
S-1	216738	8759738
S-2	216321	8759091
S-3	215975	8758929
S-4	216517	8758210
S-5	216681	8758567

- **Elaboración y validación de la encuesta**

Se elaboró una encuesta para identificar las posibles fuentes asociadas al proceso de eutrofización con base en la información brindada por los habitantes del Centro Poblado “San José de Puñun”. La encuesta estuvo constituida por 18 preguntas preestructuradas (ver Apéndice 5) y se validó por juicio de dos expertos (ver Apéndice 3 y 4). Dado que no existen datos oficiales provenientes de censos, se consideró la información brindada por el Sr. Lorenzo Salazar Quito, juez de paz del lugar. Tomando en cuenta que el centro poblado cuenta con 300 viviendas, donde solo reside menos del 50 % de la población, la actual situación de emergencia sanitaria por la pandemia de Covid-19 y las medidas de bioseguridad adoptadas, se logró aplicar la encuesta a una muestra de 30 viviendas, teniendo así un nivel de confianza de 90 % y un margen de error de 13,13 %.

Fase de campo

La fase de campo estuvo constituida por las siguientes actividades:

- **Toma de muestras y medición de parámetros *in situ***

La ejecución de la presente investigación se llevó a cabo en el contexto del estado de emergencia biosanitaria, por lo que se necesitó implementar protocolos de bioseguridad y presentar documentación para el traslado al área de estudio, la misma que fue respaldada por el Departamento de Investigación de la Facultad de Ingeniería Agraria - DIFIA (ver Apéndice 14). En campo, la toma de muestras fue realizada de acuerdo con el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N°010-2016-ANA), los procedimientos indicados por el laboratorio respecto a las condiciones de las muestras, y las medidas de bioseguridad dispuestas por el gobierno. Para el muestreo en el espejo de agua norte se utilizó una embarcación, mientras que para el espejo de agua sur se ingresó directamente. Las muestras de agua superficial fueron tomadas de 11 puntos, 6 puntos en el espejo norte y 5 en el espejo sur, y de cada punto se colectaron en total 5 muestras puntuales a 20 cm de profundidad (ver Apéndice 15). Para la clorofila *a* se utilizó un envase de color ámbar de 1 L, para fósforo total se usó un envase de color blanco de 250 mL, en el caso de nitrógeno total y DBO₅ se colectaron en envases blancos de 1 L, este último parámetro se colectó por duplicado para cada punto. Una vez recogidas las

muestras de cada punto de muestreo fueron colocadas en un *cooler* con refrigerantes para ser trasladadas posteriormente al laboratorio. En la Tabla 5, se muestran las características de los envases y el uso de preservantes.

Tabla 6

Envases y preservantes usados para la toma de muestras

Parámetro	Tipo de envase	Preservante
Demanda bioquímica de oxígeno	Frasco de polietileno de 1 L (blanco)	No requiere preservante
Clorofila a	Frasco de polietileno de 1 L (ámbar)	No requiere preservante
Fósforo total	Frasco de polietileno de 250 mL (blanco)	Ácido sulfúrico (1 mL/1 L muestra)
Nitrógeno total	Frasco de polietileno de 1 L (blanco)	Ácido sulfúrico (1 mL/1 L muestra)

Nota. Información tomada del protocolo de análisis del laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C.

Asimismo, mediante el uso de un multiparámetro, previamente calibrado (ver Apéndice 6, 7 y 8), se midieron los parámetros: temperatura (T), potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), y transparencia del agua empleando disco de Secchi (DS). Los muestreos se realizaron durante dos campañas de muestreo tomando en cuenta el nivel del agua, donde octubre de 2020 representa la época de mayor nivel, y marzo de 2021 representa la época de menor nivel del agua (Figura 3 y 4).

Los formatos para las etiquetas de las muestras y para el llenado de la cadena de custodia (ver Apéndice 11 y 12) fueron obtenidos del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N°010-2016-ANA). Fue utilizado un *cooler* con bolsas de gel refrigerante y hielo para mantener la temperatura de 8 °C de las muestras, y cumpliendo los tiempos máximos de almacenamiento para cada parámetro, garantizando el transporte adecuado de las muestras hasta su análisis en el laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C.

Figura 3

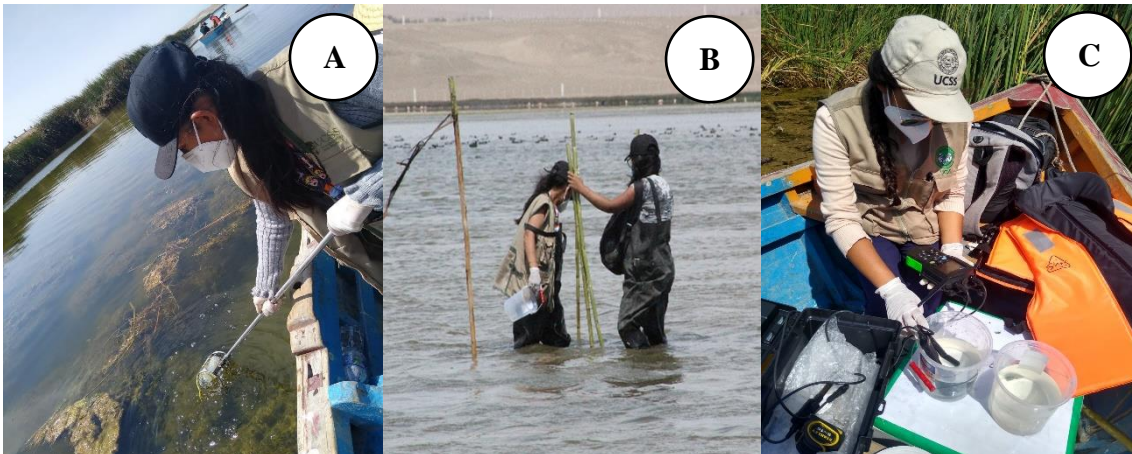
Primer muestreo en el humedal El Paraíso



Nota. A. Toma de muestras en la laguna norte. B. Toma de muestras en la laguna sur. C. Medición de la transparencia del agua con el disco de Secchi en la laguna norte.

Figura 4

Segundo muestreo en el humedal El Paraíso



Nota. A. Toma de muestras en la laguna norte. B. Toma de muestras en la laguna sur. C. Medición *in situ* de los parámetros en la laguna norte.

● **Aplicación de la encuesta**

Se aplicó la encuesta en 30 viviendas del centro poblado “San José de Puñun”, en el mes de julio de 2021, para lo cual se contó con el acompañamiento del Lic. Miguel Romero Baldeon y de un poblador de la zona (Figura 5).

Figura 5

Aplicación de la encuesta a los pobladores del centro poblado San Antonio de Puñun



Nota. A. Encuesta a una pobladora. B. Tesista con la encuesta llena.

Fase de laboratorio

- **Determinación de la concentración de los parámetros fisicoquímicos**

Las muestras de agua fueron debidamente etiquetadas e ingresadas a laboratorio luego de cada muestreo (Figura 6), y se recogieron los resultados luego de 30 días aproximadamente.

Figura 6

Muestras en el laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C.



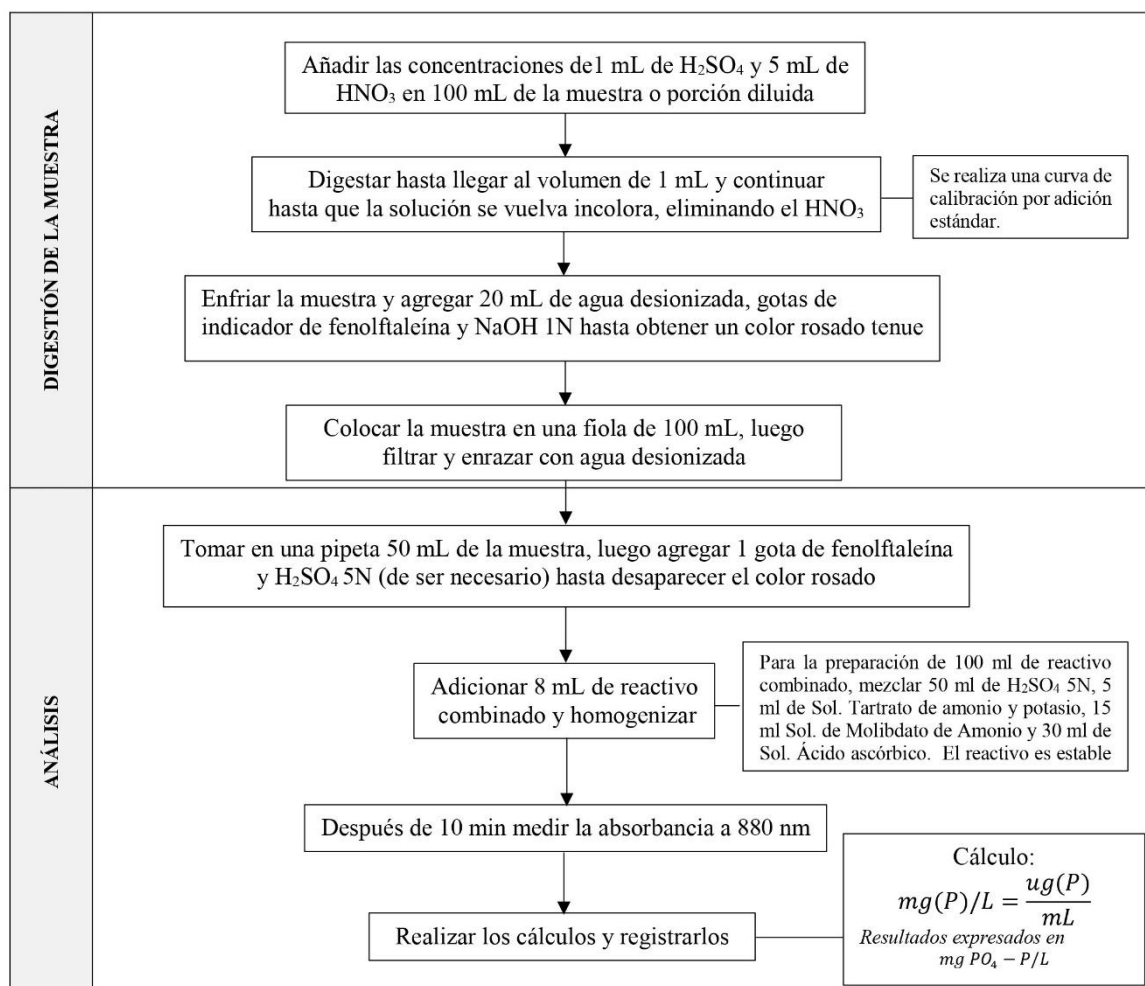
Nota. A. Muestras de la primera campaña. B. Muestras de la segunda campaña.

La determinación de los parámetros fisicoquímicos fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y clorofila a (Cl-a) se realizaron por el laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C de acuerdo con los métodos que se describen en la Tabla 3. Este laboratorio de ensayo está acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación - INACAL (Registro N°LE-047) y el *International Accreditation Service, Inc*

(registro TL829). A continuación, se detallan los procedimientos empleados en el laboratorio para la cuantificación de los parámetros fisicoquímicos.

Figura 7

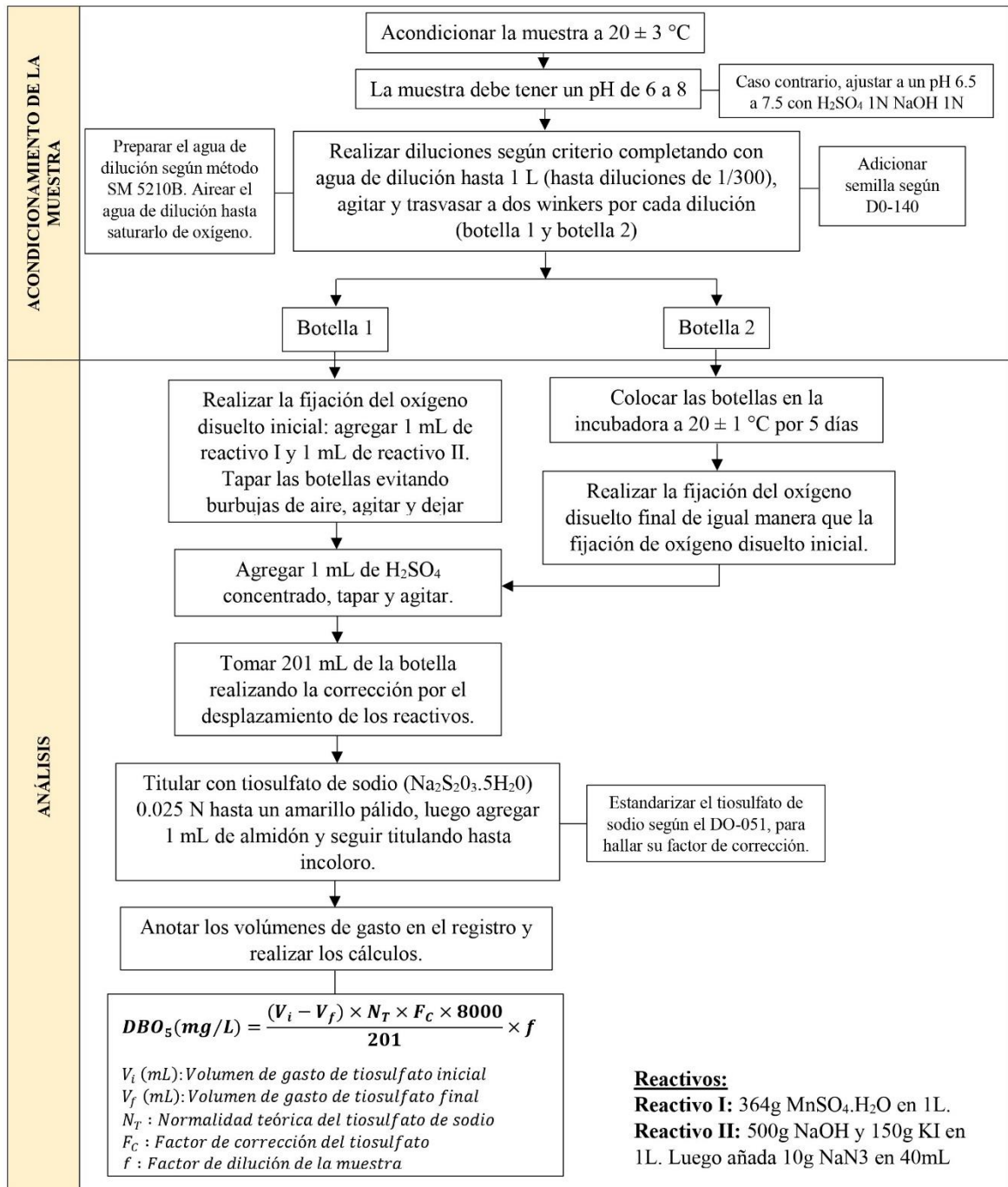
Procedimiento para la determinación del parámetro fósforo total



Nota. Información basada en el procedimiento de análisis del laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C.

Figura 8

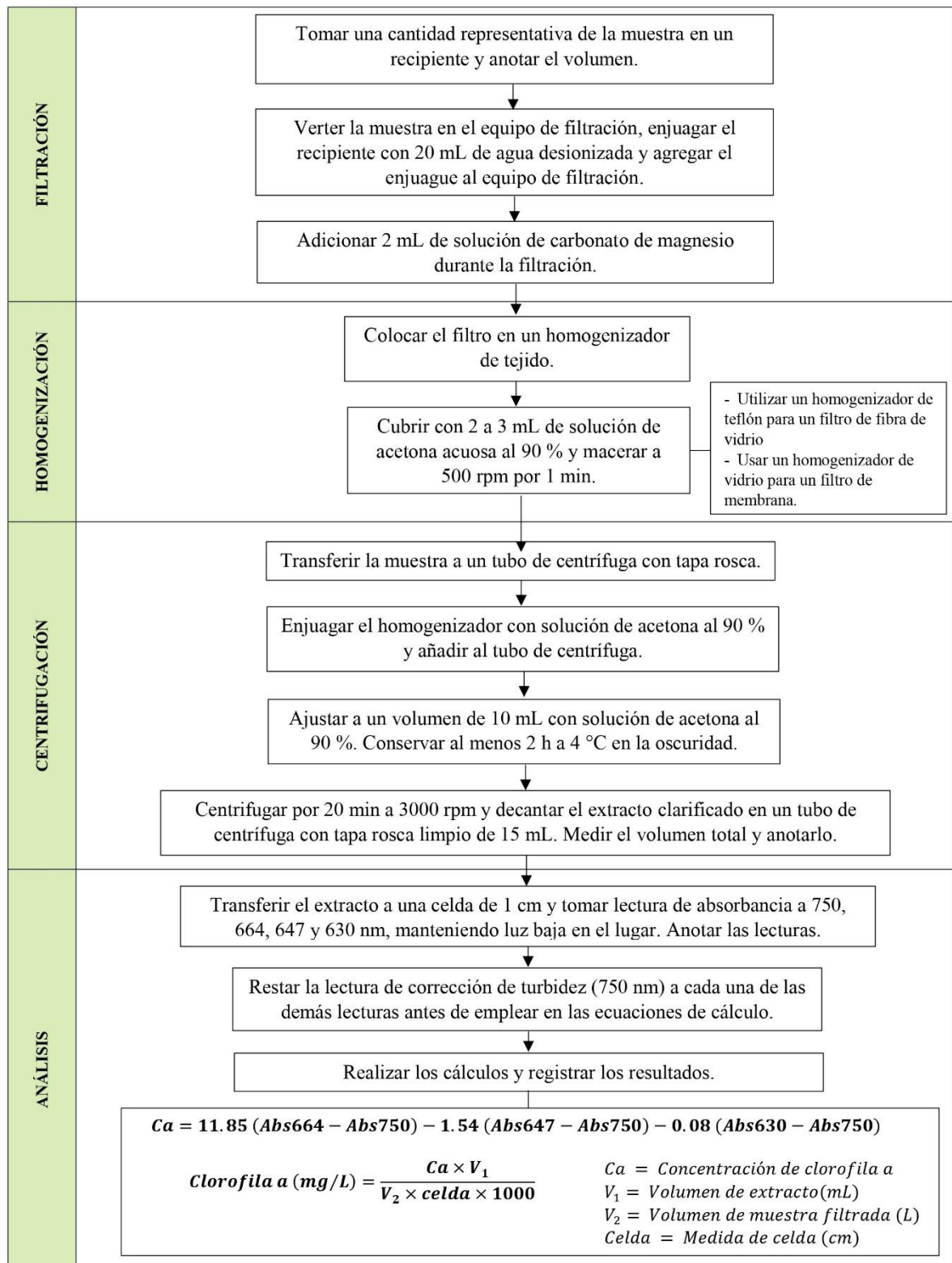
Procedimiento para la determinación del parámetro demanda bioquímica de oxígeno



Nota. Información basada en el procedimiento de análisis del laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C.

Figura 9

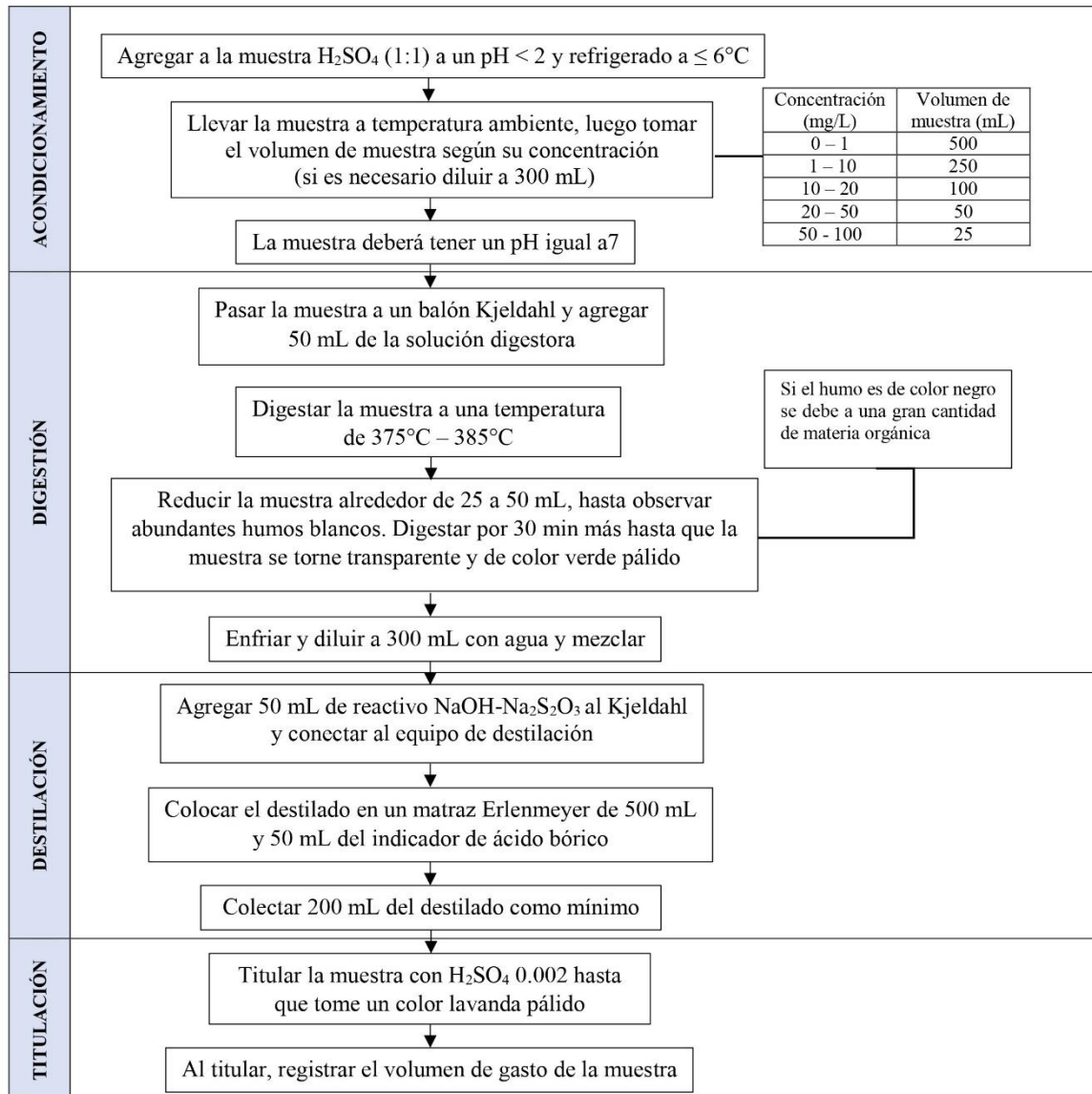
Procedimiento para la determinación del parámetro clorofila a



Nota. Información basada en el procedimiento de análisis del laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C.

Figura 10

Procedimiento para la determinación del parámetro nitrógeno total



Nota. Información basada en el procedimiento de análisis del laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C.

Fase de gabinete

- **Procesamiento de las imágenes satelitales**

a) **Cálculo del NDVI**

Se utilizó el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI), que nos permitió identificar el estado de la vegetación en el humedal a través del periodo de tiempo en estudio, en concordancia con el estudio de Pérez (2011). Se seleccionaron y descargaron imágenes

con mayor visibilidad y menor nubosidad, en este caso del mes de abril, para los años 1999 (Landsat 5), 2005 (Landsat 5), 2010 (Landsat 5), 2015 (Landsat 8) y 2020 (Landsat 8), teniendo en total 7 imágenes satelitales (Figura 7).

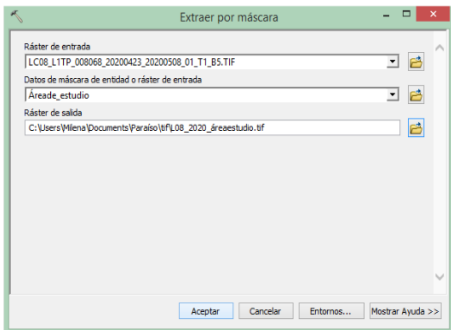
Como se muestra en la Figura 7, estas imágenes fueron cortadas de acuerdo con el área de estudio, cuya delimitación tomó en cuenta el humedal y la zona aledaña ocupada por viviendas, para luego realizar el cálculo del NDVI empleando las bandas infrarrojo cercano y rojo (Tabla 6).

Figura 11

Procedimiento para obtener el NDVI a partir de imágenes Landsat

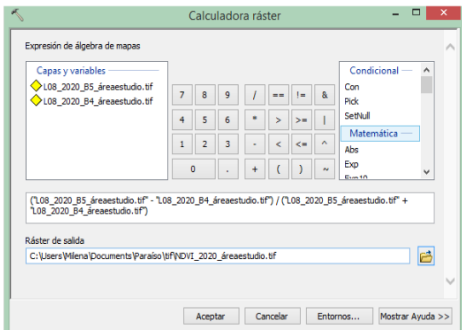
1. Corte de bandas de acuerdo al shapefile del área de estudio

Herramientas de análisis espacial > Extracción > Extraer por máscara



2. Cálculo de bandas para obtener en NDVI

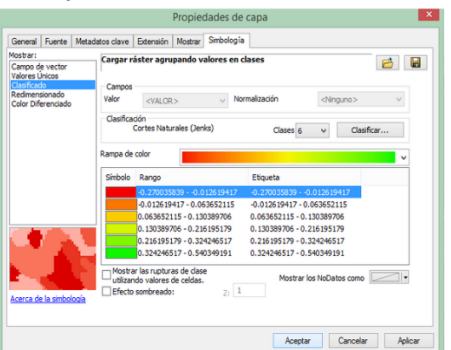
Herramientas de análisis espacial > Álgebra de mapas > Calculadora ráster



3. Clasificación de ráster NDVI

Propiedades > Simbología > Clasificado

Agrupar los valores del ráster en 6 clases y seleccionar la rampa de colores de preferencia.



4. Configuración de colores

Para la mejor representación de los mapas, asignar colores característicos de acuerdo a los valores obtenidos: azul (agua), anaranjado (suelo desnudo), verde en diferentes tonalidades (de acuerdo a la densidad de la vegetación).

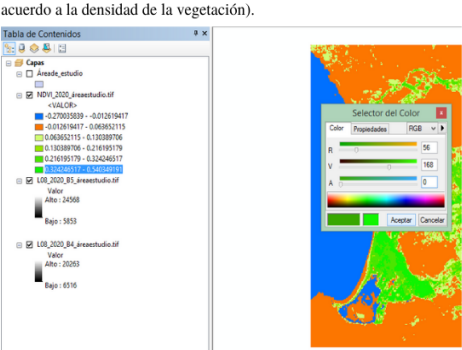


Tabla 7*Fórmulas empleadas para obtener el NDVI según imagen satelital*

Imagen satelital	Fórmula
Landsat 5 TM	$NDVI = \frac{(Banda\ 4 - Banda\ 3)}{(Banda\ 4 + Banda\ 3)}$
Landsat 8 OLI	$NDVI = \frac{(Banda\ 5 - Banda\ 4)}{(Banda\ 5 + Banda\ 4)}$

Nota. Fórmulas adaptadas de Rouse *et al.* (1974)

De acuerdo con lo que mencionado diferentes investigaciones, valores negativos de NDVI representan ausencia de vegetación, valores de entre 0 y 0,1 corresponden a suelo rocoso, arenoso o nieve, y valores superiores indican presencia de vegetación; de manera que, cuanto más cercano a 1 es el valor a partir de 0,1, más densa y sana es la vegetación (Díaz *et al.*, 2015; Muñoz, 2013).

b) Digitalización del área ocupada por viviendas

Se realizó también la digitalización de zonas que presentaban asentamiento de viviendas en el periodo 2002-2020, debido a que no se contaba con el catastro actualizado de la zona, empleando imágenes extraídas de Google Earth, las cuales se seleccionaron debido a la mejor visibilidad que proporcionaban; no se utilizaron imágenes de años anteriores para este caso dado que no mostraban presencia de viviendas. Como se muestra en la Figura 12, las imágenes se cortaron de acuerdo con el área de estudio para luego delimitar bloques de viviendas mediante la digitalización. Del mismo modo, se les clasificó de acuerdo con su consolidación tomando en cuenta el tipo de material de las viviendas que se pudo visualizar desde la vista satelital y el área ocupada del terreno, de manera que se clasificó a viviendas construidas aparentemente con material noble y que ocupaban gran parte del terreno como de mayor consolidación, a aquellas que no ocupaban la totalidad del terreno como de moderada consolidación, y a las viviendas que ocupaban solo una pequeña parte del terreno como de menor consolidación (Figura 12).

Figura 12

Digitalización del área ocupada por viviendas a partir de imágenes Google Earth



- **Cálculo del índice de estado trófico**

Se desarrolló el cálculo de los niveles tróficos mediante el uso del índice de estado trófico (TSI) propuesto por Carlson en 1977 (Iqbal *et al.*, 2022).

- **Elaboración del mapa de estados tróficos**

Conociendo el índice de estado trófico para cada punto de muestreo en ambas campañas, se aplicó el modelamiento por la técnica de “distancia inversa ponderada” usando el *software ArcGis 10.4.1* para elaborar el mapa de estados tróficos, de manera similar a Quiroz (2019), con la modificación de que se obtuvieron para cada campaña de muestreo ya que el principal objetivo fue representar el estado trófico actual de las lagunas (Figura 9).

Figura 13

Procedimiento para obtener mapas de estados tróficos

1. Adición de valores de estados tróficos a la tabla de atributos de las estaciones de muestreo

3. Configuración del entorno

2. Interpolación espacial de los datos

Herramientas de análisis espacial > Interpolación > IDW

4. Configuración de colores

4. Reclasificar ráster de acuerdo estados tróficos

Propiedades > Clasificado > Clasificar

● **Análisis multitemporal y multispectral**

Con el resultado obtenido del cálculo del índice NDVI y la digitalización del área ocupada por viviendas a través de los años en estudio, se analizó la relación entre la variación de la superficie eutrofizada de las lagunas y el crecimiento urbano en la zona, buscando conocer la influencia de este sobre el estado de las lagunas.

2.7. Identificación de las variables y su mensuración

Tabla 8

Variables de la investigación

Variables	Dimensiones	Indicadores
Grado de eutrofización	Parámetros fisicoquímicos	<ul style="list-style-type: none"> ● Temperatura ● Potencial de hidrógeno ● Oxígeno disuelto ● Conductividad eléctrica ● Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) ● Transparencia del agua ● Clorofila a ● Fósforo total ● Nitrógeno total
	Estados tróficos	<ul style="list-style-type: none"> ● Índice de Estado Trófico de Carlson
Actividades antrópicas	Actividades antrópicas del Centro Poblado “San José de Puñún”	<ul style="list-style-type: none"> ● Actividades domésticas ● Ganadería ● Agricultura ● Extracción de especies vegetativas ● Pesca ● Percepción de la población respecto al humedal
Urbanización	Cambios en la extensión del área urbana del Pueblo Paraíso	<ul style="list-style-type: none"> ● Variación del área urbana en el periodo 2002-2020
Vegetación	Cambios en la extensión de la vegetación	<ul style="list-style-type: none"> ● Variación en la extensión de la vegetación en el humedal en el periodo 2002-2020

2.8. Análisis estadístico de datos

El análisis estadístico de los datos recogidos a través de las encuestas y se empleó la prueba t de Student para determinar diferencias significativas entre los valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en las dos campañas de muestreo, empleando el programa Microsoft Excel 2016.

Además, se aplicó la prueba de Pearson para evaluar la correlación entre los valores de los parámetros fisicoquímicos para cada campaña de muestreo, así como para determinar la

relación entre el crecimiento urbano y la vegetación del humedal mediante la prueba de Pearson con un nivel de significancia de 0,05 mediante el programa IBM SPSS Statistics 22.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Parámetros fisicoquímicos asociados al proceso de eutrofización

Tabla 9

Resultados de la primera campaña de muestreo (octubre 2020) para el espejo de agua norte

Parámetros	Unidades	Puntos de muestreo						ECA**
		N-1	N-2	N-3	N-4	N-5	N-6	
Potencial de hidrógeno (pH)	-	7,80	7,77	8,60	8,59	6,97	7,48	6,5-9,0
Temperatura (T)	°C	20,8	20,9	21,5	22,6	23,5	23,3	Δ3***
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	6,37	7,19	10,29	9,76	9,90	8,18	≥5
Conductividad eléctrica (CE)	μS/cm	7470*	7390*	7290*	7220*	6970*	6620*	1000
Disco de Secchi (DS)	m	0,65	0,64	1,02	1,00	0,76	0,88	-
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	5
Clorofila a	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,008
Fósforo total (PT)	mg/L	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	0,035
Nitrógeno total (NTK)	mg/L	1,29*	1,22*	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	0,315

* Valores que no cumplen con los ECA

**Estándares de calidad ambiental (ECA) para Agua, aprobados por D. S. N° 004-2017-MINAM

***Δ3: variación de 3 °C respecto al promedio mensual del área evaluada

Tabla 10*Resultados de la primera campaña de muestreo (octubre 2020) para el espejo de agua sur*

Parámetros	Unidades	Puntos de muestreo					ECA**
		S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	
Potencial de hidrógeno (pH)	-	8,54	8,44	8,46	8,28	8,43	6,5-9
Temperatura (T)	°C	23	23,2	25,2	24,1	23,8	Δ3***
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	9,64	9,13	10,09	8,66	8,59	≥5
Conductividad eléctrica (CE)	mS/cm	8060*	10760*	10620*	12300*	10960*	1000
Disco de Secchi (DS)	m	0,11	0,18	0,24	0,13	0,05	-
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	5
Clorofila a	mg/L	0,013*	0,009*	0,006	0,007	0,014*	0,008
Fósforo total (PT)	mg/L	<0,013	0,694*	1,20*	0,68*	0,266*	0,035
Nitrógeno total (NTK)	mg/L	1,22*	1,87*	1,85*	2,40*	2,51*	0,315

*Valores que no cumplen con los ECA

**Estándares de calidad ambiental (ECA) para Agua, aprobados por D. S. N° 004-2017-MINAM

***Δ3: variación de 3 °C respecto al promedio mensual del área evaluada

Tabla 11

Resultados de la segunda campaña de muestreo (marzo 2021) para el espejo de agua norte

Parámetros	Unidades	Puntos de muestreo						ECA**
		N-1	N-2	N-3	N-4	N-5	N-6	
Potencial de hidrógeno (pH)	-	8,47	8,91	9,58*	9,54*	8,89	8,25	6,5-9,0
Temperatura (T)	°C	28,60	26,80	26,50	32,80	29,80	29,30	$\Delta 3^{***}$
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	10,04	9,74	9,30	10,93	10,88	11,56	≥ 5
Conductividad eléctrica (CE)	$\mu\text{S}/\text{cm}$	5530*	6370*	12960*	8950*	8040*	7720*	1000
Disco de Secchi (DS)	m	0,60	0,46	0,15	0,60	0,30	0,36	-
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	38,90*	8,55*	20,73*	36,03*	29,85*	71,10*	5
Clorofila a	mg/L	0,054	0,003	0,015*	0,012*	0,003	0,060*	0,008
Fósforo total (PT)	mg/L	0,025	0,036*	0,118*	0,101*	0,087*	0,197*	0,035
Nitrógeno total (NTK)	mg/L	1,23*	1,41*	1,91*	2,09*	6,10*	3,07*	0,315

*Valores que superan los ECA.

**Estándares de calidad ambiental (ECA) para Agua, aprobados por D. S. N° 004-2017-MINAM.

*** $\Delta 3$: variación de 3 °C respecto al promedio mensual del área evaluada.

Tabla 12

Resultados de la segunda campaña de muestreo (marzo 2021) para el espejo de agua sur

Parámetros	Unidades	Puntos de muestreo					ECA**
		S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	
Potencial de hidrógeno (pH)	-	8,79*	8,58*	8,74*	8,81*	7,86	6,5-9,0
Temperatura (T)	°C	31,00	30,40	32,30	32,10	31,20	Δ3***
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	9,65	8,61	7,96	8,40	8,79	≥5
Conductividad eléctrica (CE)	μS/cm	9860*	12410*	12170*	14200*	12980*	1000
Disco de Secchi (DS)	m	0,07	0,25	0,15	0,15	0,15	-
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	8,30	5,95*	8,10*	11,90*	14,20*	5
Clorofila a	mg/L	0,007	0,018*	0,008	0,013*	0,035*	0,008
Fósforo total (PT)	mg/L	0,068*	0,070*	0,052*	0,077*	0,167*	0,035
Nitrógeno total (NTK)	mg/L	1,00*	2,31*	2,24*	3,24*	3,71*	0,315

*Valores que superan los ECA

**Estándares de calidad ambiental (ECA) para Agua, aprobados por D. S. N° 004-2017-MINAM

***Δ3: variación de 3 °C respecto al promedio mensual del área evaluada

Al comparar los resultados obtenidos para los parámetros fisicoquímicos en estudio, se encontró que durante la primera campaña los valores no exceden los Estándares de Calidad del Agua para lagos y lagunas - Categoría 4 (D. S. N° 004-2017-MINAM), a excepción de los valores de CE y NTK, los cuales superan los ECA en todos los puntos de muestreo evaluados para ambos espejos de agua. Además, los valores de Cl-a en los puntos S-1, S-2 y S-5, y los valores de PT en los puntos S-2, S-3, S-4 y S-5 superan los estándares en el espejo de agua sur. Asimismo, se compararon los resultados obtenidos en la segunda campaña de muestreo con los ECA, donde los valores de pH los superan en los puntos N-3 y N-4, los valores de CE y NTK los exceden en todos los puntos evaluados; los valores de DBO₅ y PT los superan en los puntos N-2, N-3, N-4, N-5 y N-6, y los valores de Cl-a exceden los estándares en los puntos N-3, N-4 y N-6. También, los valores de CE, PT y NTK sobrepasan los estándares en todos los puntos de muestreo y los valores de DBO₅ y Cl-a los superan en los puntos S-2, S-3, S-4 y S-5 del espejo de agua sur.

En la Tabla 13 se muestran los resultados obtenidos al comparar los valores para cada parámetro entre lagunas para ambas campañas de muestreo mediante la prueba t de Student.

Ambas lagunas presentaron condiciones similares de basicidad y disponibilidad de oxígeno en la primera campaña de muestreo, indicadas por los parámetros pH y OD. En contraste, se obtuvo diferencias significativas para la temperatura del agua, teniendo mayores temperaturas en la laguna sur. Asimismo, se encontraron diferencias en los valores de CE entre lagunas, donde la laguna sur presentaba valores más altos. También se encontraron diferencias para los parámetros DS, Cl-a, PT y NTK en la primera campaña de muestreo, con valores más altos para la laguna sur. Por otro lado, en la segunda campaña, los parámetros pH, T, Cl-a, PT y NTK fueron similares, mientras que la CE y DBO₅ presentaron diferencias significativas.

En la Tabla 14 se muestran las diferencias entre cada parámetro fisicoquímico entre campañas de muestreo. En la laguna norte, se puede observar que para los parámetros pH, T, CE, Cl-a y NTK no se encontraron diferencias significativas; sin embargo, para OD, DS, DBO₅ y PT se encontraron diferencias significativas. En la laguna sur, los parámetros pH, T, OD, CE, DS, Cl-a, NTK no mostraron diferencias significativas, mientras que para DBO₅ y Pt se encontraron diferencias significativas, obteniendo también valores mayores en el mes de marzo.

Tabla 13

Diferencias significativas entre los valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos respecto a los espejos de agua según la prueba t de Student

Parámetros	Significancia estadística para laguna norte y laguna sur			
	p	Octubre 2020	p	Marzo 2021
Potencial de hidrógeno (pH)	0,145	No significativo	0,115	No significativo
Temperatura (T)	0,013	*Significativo	0,064	No significativo
Oxígeno disuelto (OD)	0,4154	No significativo	0,008	*Significativo
Conductividad eléctrica (CE)	0,001	*Significativo	0,027	*Significativo
Disco de Secchi (DS)	0,000052	*Significativo	0,016	*Significativo
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	Valores similares	Valores Similares	0,022	*Significativo
Clorofila a	0,002	*Significativo	0,523	No significativo
Fósforo total (PT)	0,025	*Significativo	0,94	No significativo
Nitrógeno total (NTK)	0,006	*Significativo	0,747	No significativo

* p<0.05

Tabla 14

Diferencias significativas entre los valores de los parámetros fisicoquímicos respecto a las campañas de muestreo según la prueba t de Student

Parámetros	Significancia estadística para las dos campañas (octubre 2020 y marzo 2021)			
	p	Laguna norte	p	Laguna sur
Potencial de hidrógeno (pH)	0,011	No significativo	0,512	No significativo
Temperatura (T)	6,957	No significativo	5,469	No significativo
Oxígeno disuelto (OD)	0,037	*Significativo	0,214	No significativo
Conductividad eléctrica (CE)	0,328	No significativo	0,109	No significativo
Disco de Secchi (DS)	0,002	*Significativo	0,7987	No significativo
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	0,004	*Significativo	0,001	*Significativo
Clorofila a	0,068	No significativo	0,265	No significativo
Fósforo total (PT)	0,01	*Significativo	0,046	*Significativo
Nitrógeno total (NTK)	0,064	No significativo	0,339	No significativo

* p<0.05

Tabla 15*Correlación de Pearson entre resultados de la primera campaña para la laguna norte*

		pH	T	OD	CE	DS	DBO5	Cl-a	PT	NTK
pH	Correlación de Pearson	1	-	0,265	0,473	0,629	.a	.a	.a	-
	Sig. (bilateral)		0,419	0,612	0,343	0,181	,	,	,	0,854
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6
T	Correlación de Pearson	-	1	0,567	-	0,394	.a	.a	.a	-
	Sig. (bilateral)	0,419		0,24	,871*	0,44	,	,	,	0,803
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6
OD	Correlación de Pearson	0,265	0,567	1	-	0,795	.a	.a	.a	-
	Sig. (bilateral)	0,612	0,24		0,293	0,059	,	,	,	,895*
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6
CE	Correlación de Pearson	0,473	-	-	1	-	.a	.a	.a	0,667
	Sig. (bilateral)	0,343	,871*	0,293		0,296	,	,	,	0,148
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6
DS	Correlación de Pearson	0,629	0,394	0,795	-	1	.a	.a	.a	-
	Sig. (bilateral)	0,181	0,44	0,059	0,296		,	,	,	,816*
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6
DBO ₅	Correlación de Pearson	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a
	Sig. (bilateral)	,	,	,	,	,	,	,	,	,
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Cl-a	Correlación de Pearson	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a
	Sig. (bilateral)	,	,	,	,	,	,	,	,	,
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6
PT	Correlación de Pearson	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a
	Sig. (bilateral)	,	,	,	,	,	,	,	,	,
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6
NTK	Correlación de Pearson	-	-	-	0,667	-	.a	.a	.a	1
	Sig. (bilateral)	0,097	0,803	,895*	0,148	,816*	,	,	,	
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

a. No se puede calcular porque, como mínimo, una de las variables es constante.

Tabla 16*Correlación de Pearson entre resultados de la primera campaña para laguna sur*

		pH	T	OD	CE	DS	DBO5	Cl-a	PT	NTK
pH	Correlación de Pearson	1	-0,295	0,641	-,916*	0,059	.b	0,483	-0,333	-0,779
	Sig. (bilateral)		0,63	0,244	0,029	0,925	,	0,409	0,585	0,12
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
T	Correlación de Pearson	-0,295	1	0,343	0,465	0,545	.b	-0,664	0,812	0,346
	Sig. (bilateral)	0,63		0,572	0,43	0,342	,	0,222	0,095	0,569
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
OD	Correlación de Pearson	0,641	0,343	1	-0,567	0,72	.b	-0,324	0,372	-0,748
	Sig. (bilateral)	0,244	0,572		0,319	0,17	,	0,595	0,537	0,146
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
CE	Correlación de Pearson	-0,916*	0,465	-0,567	1	0,081	.b	-0,528	0,542	,886*
	Sig. (bilateral)	0,029	0,43	0,319		0,897	,	0,361	0,345	0,046
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
DS	Correlación de Pearson	0,059	0,545	0,72	0,081	1	.b	-0,837	0,849	-0,313
	Sig. (bilateral)	0,925	0,342	0,17	0,897		,	0,077	0,069	0,608
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
DBO ₅	Correlación de Pearson	.b	.b	.b	.b	.b	.b	.b	.b	.b
	Sig. (bilateral)	,	,	,	,	,	,	,	,	,
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Cl-a	Correlación de Pearson	0,483	-0,664	-0,324	-0,528	-0,837	.b	1	-,903*	-0,109
	Sig. (bilateral)	0,409	0,222	0,595	0,361	0,077	,		0,036	0,862
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
PT	Correlación de Pearson	-0,333	0,812	0,372	0,542	0,849	.b	-,903*	1	0,225
	Sig. (bilateral)	0,585	0,095	0,537	0,345	0,069	,	0,036		0,716
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
NTK	Correlación de Pearson	-0,779	0,346	-0,748	,886*	-0,313	.b	-0,109	0,225	1
	Sig. (bilateral)	0,12	0,569	0,146	0,046	0,608	,	0,862	0,716	
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

b. No se puede calcular porque, como mínimo, una de las variables es constante.

Tabla 17*Correlación de Pearson entre resultados de la segunda campaña para laguna norte*

		pH	T	OD	CE	DS	DBO5	Cl-a	PT	NTK	
pH	Correlación de Pearson	1	0,11	-	0,442	0,729	0,215	-0,595	0,721	0,101	0,115
	Sig. (bilateral)		0,835	0,38	0,101	0,683	0,212	0,106	0,85	0,828	
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
T	Correlación de Pearson	0,11	1	0,724	-0,141	0,532	0,422	0,018	0,205	0,283	
	Sig. (bilateral)	0,835		0,104	0,79	0,277	0,405	0,974	0,696	0,587	
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
OD	Correlación de Pearson	-	0,442	0,724	1	-0,298	0,231	0,794	0,349	0,59	0,516
	Sig. (bilateral)	0,38	0,104		0,566	0,66	0,059	0,497	0,218	0,295	
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
CE	Correlación de Pearson	0,729	-	0,141	0,298	1	0,716	-0,164	0,322	0,446	0,058
	Sig. (bilateral)	0,101	0,79	0,566		0,109	0,756	0,534	0,376	0,913	
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
DS	Correlación de Pearson	-	0,215	0,532	0,231	-0,716	1	0,112	0,229	0,459	0,402
	Sig. (bilateral)	0,683	0,277	0,66	0,109		0,833	0,662	0,36	0,43	
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
DBO5	Correlación de Pearson	-	0,595	0,422	0,794	-0,164	0,112	1	0,808	0,71	0,18
	Sig. (bilateral)	0,212	0,405	0,059	0,756	0,833		0,052	0,114	0,733	
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
Cl-a	Correlación de Pearson	-	0,721	0,018	0,349	-0,322	0,229	0,808	1	0,338	0,259
	Sig. (bilateral)	0,106	0,974	0,497	0,534	0,662	0,052		0,513	0,62	
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
PT	Correlación de Pearson	-	0,101	0,205	0,59	0,446	0,459	0,71	0,338	1	0,296
	Sig. (bilateral)	0,85	0,696	0,218	0,376	0,36	0,114	0,513		0,569	
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
NTK	Correlación de Pearson	-	0,115	0,283	0,516	0,058	0,402	0,18	-	0,259	0,296
	Sig. (bilateral)	0,828	0,587	0,295	0,913	0,43	0,733	0,62	0,569		
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	

Tabla 18*Correlación de Pearson entre resultados de la segunda campaña para la laguna sur*

		pH	T	OD	CE	DS	DBO ₅	Cl-a	PT	NTK
pH	Correlación de Pearson	1	0,289	-	-0,23	-0,16	-0,622	-,963**	-	-
	Sig. (bilateral)		0,637	0,055	0,71	0,797	0,262	0,009	0,013	0,634
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
T	Correlación de Pearson	0,289	1	-	0,388	-0,337	0,336	-0,319	-	0,252
	Sig. (bilateral)	0,637		0,601	0,519	0,58	0,58	0,6	0,739	0,683
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
OD	Correlación de Pearson	-0,055	-0,601	1	-0,693	-0,531	-0,008	-0,006	0,171	-0,51
	Sig. (bilateral)	0,93	0,284		0,195	0,357	0,99	0,992	0,783	0,38
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
CE	Correlación de Pearson	-0,23	0,388	-	1	0,508	0,499	0,421	0,291	,891*
	Sig. (bilateral)	0,71	0,519	0,693		0,382	0,392	0,48	0,635	0,043
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
DS	Correlación de Pearson	-0,16	-0,337	-	0,508	1	-0,311	0,315	-	0,378
	Sig. (bilateral)	0,797	0,58	0,531	0,382		0,61	0,606	0,015	0,53
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
DBO ₅	Correlación de Pearson	-0,622	0,336	-	0,499	-0,311	1	0,643	0,801	0,746
	Sig. (bilateral)	0,262	0,58	0,008	0,392	0,61		0,242	0,103	0,148
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Cl-a	Correlación de Pearson	-0,963**	-0,319	-	0,421	0,315	0,643	1	,944*	0,756
	Sig. (bilateral)	0,009	0,6	0,006	0,48	0,606	0,242		0,016	0,139
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
PT	Correlación de Pearson	-0,951*	-0,207	0,171	0,291	-0,015	0,801	,944*	1	0,681
	Sig. (bilateral)	0,013	0,739	0,783	0,635	0,981	0,103	0,016		0,206
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
NTK	Correlación de Pearson	-0,634	0,252	-0,51	0,891*	0,378	0,746	0,756	0,681	1
	Sig. (bilateral)	0,251	0,683	0,38	0,043	0,53	0,148	0,139	0,206	
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

3.2.Estados tróficos

Tabla 19

Estados tróficos obtenidos en la primera campaña de muestreo para el espejo de agua norte

	N-1	N-2	N-3	N-4	N-5	N-6	Promedio
TSI(DS)	66,21	66,43	59,71	60,00	63,95	61,84	63,02
TSI(PT)	41,14	41,14	41,14	41,14	41,14	41,14	41,14
TSI(CI-a)	41,38	41,38	41,38	41,38	41,38	41,38	41,38
CTSI _N							48,12

Tabla 20

Estados tróficos obtenidos en la primera campaña de muestreo para el espejo de agua sur

	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	Promedio
TSI(DS)	91,81	84,71	80,56	89,40	103,17	89,93
TSI(PT)	41,14	98,49	106,39	98,11	84,88	85,80
TSI(CI-a)	55,76	52,15	48,18	49,69	56,49	52,45
CTSI _S						76,06

Tabla 21

Estados tróficos obtenidos en la segunda campaña de muestreo para el espejo de agua norte

	N-1	N-2	N-3	N-4	N-5	N-6	Promedio
TSI(DS)	67,36	71,19	87,34	67,36	77,35	74,72	74,22
TSI(PT)	50,57	55,82	72,94	70,70	68,55	80,33	66,49
TSI(CI-a)	69,73	41,38	57,17	54,98	41,38	70,77	55,90
CTSI _N							65,54

Tabla 22

Estados tróficos obtenidos en la segunda campaña de muestreo para el espejo de agua sur

	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	Promedio
TSI(DS)	98,32	79,98	87,34	87,34	87,34	88,06
TSI(PT)	65,00	65,41	61,13	66,79	77,95	67,25
TSI(CI-a)	49,69	58,95	51,00	55,76	65,48	56,18
CTSI _S						70,50

Asimismo, se aplicó la interpolación mediante distancia inversa ponderada (IDW) para obtener los mapas de estados tróficos por cada parámetro utilizado en el IET y para cada campaña.

Respecto al parámetro de transparencia del agua, la laguna norte mostró un nivel eutrófico desde el punto de muestreo N-1 hasta N- 6, con excepción del punto N-3 que mostró un nivel mesotrófico, mientras que la laguna sur, en los puntos S-1 y S-5 se mostró en un nivel hipereutrófico y eutrófico en las estaciones S-2, S-3 y S-4 (Figura 14). Para el parámetro de clorofila a, la laguna norte mostró en su totalidad un nivel mesotrófico, y a la laguna sur, para la estación S-1 se encontró en un nivel mesotrófico, y para los puntos S-2, S-3 y S-4 se mostraron en un nivel eutrófico, y S-5 en mesotrófico (Figura 15). Y para el parámetro de fósforo total, ambas lagunas muestran en su totalidad un nivel mesotrófico (Figura 16).

Los resultados del parámetro transparencia del agua, muestran que la laguna norte se encuentra en un nivel eutrófico. Respecto a la laguna sur, las estaciones S-2, S-3, S-4 y S-5 se encuentran en un nivel eutrófico y la estación S-1 es hipereutrófico (Figura 17). Respecto a la clorofila a, la laguna norte en su totalidad muestra un nivel mesotrófico, asimismo, laguna sur se encuentra en un estado eutrófico, en su totalidad (Figura 18). Por último, para el parámetro de fósforo total, la laguna norte mostró un nivel eutrófico en las estaciones N-3, N-4, N-5 y N-6, y para la estación N-1 y N-2, un nivel mesotrófico, de igual manera, la laguna sur muestra un nivel mesotrófico (Figura 19).

Figura 14

Mapa de estados tróficos obtenidos a partir del parámetro transparencia del agua en la primera campaña

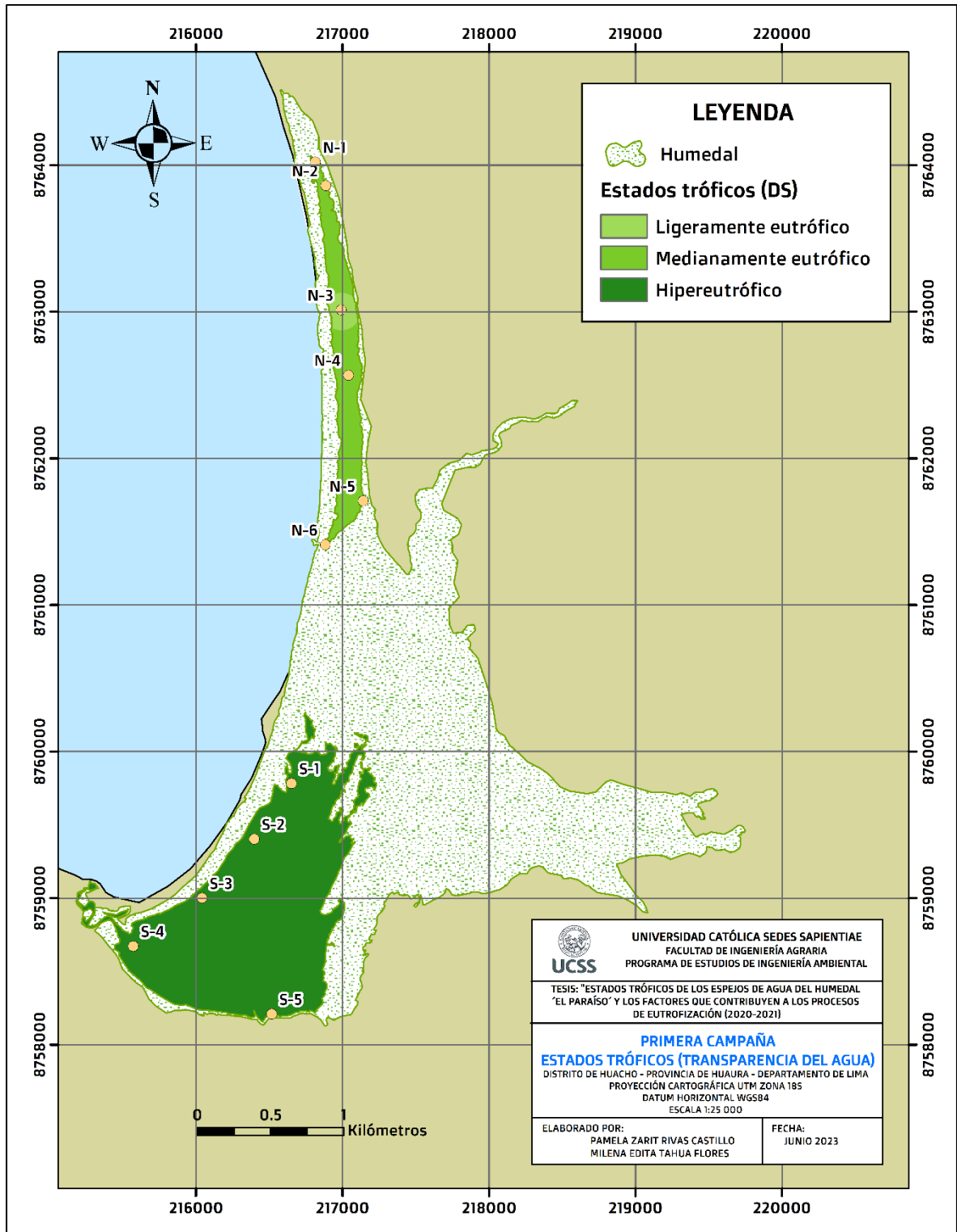


Figura 15

Mapa de estados tróficos obtenidos a partir del parámetro clorofila a en la primera campaña

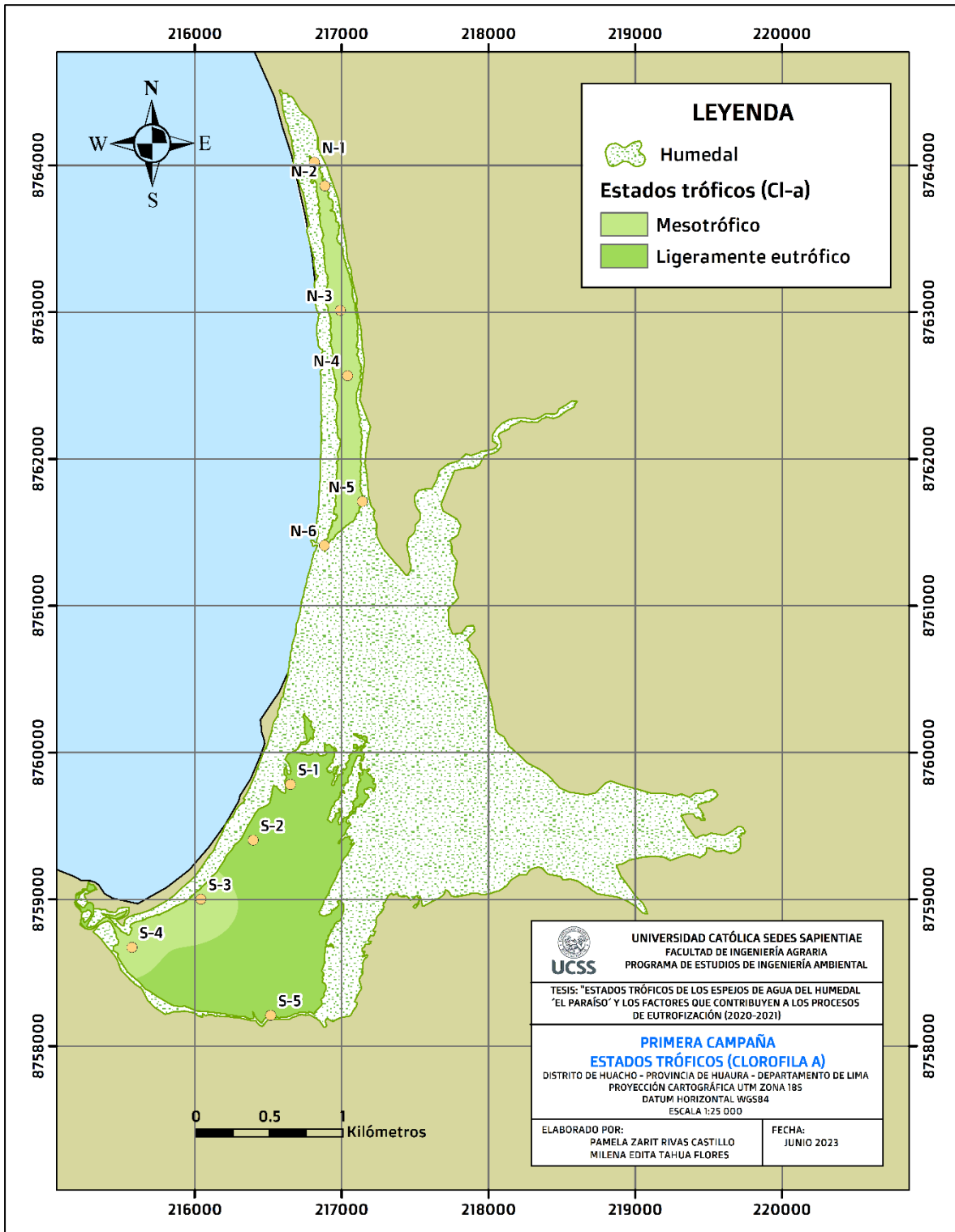


Figura 16

Mapa de estados tróficos obtenidos a partir del parámetro fósforo total en la primera campaña

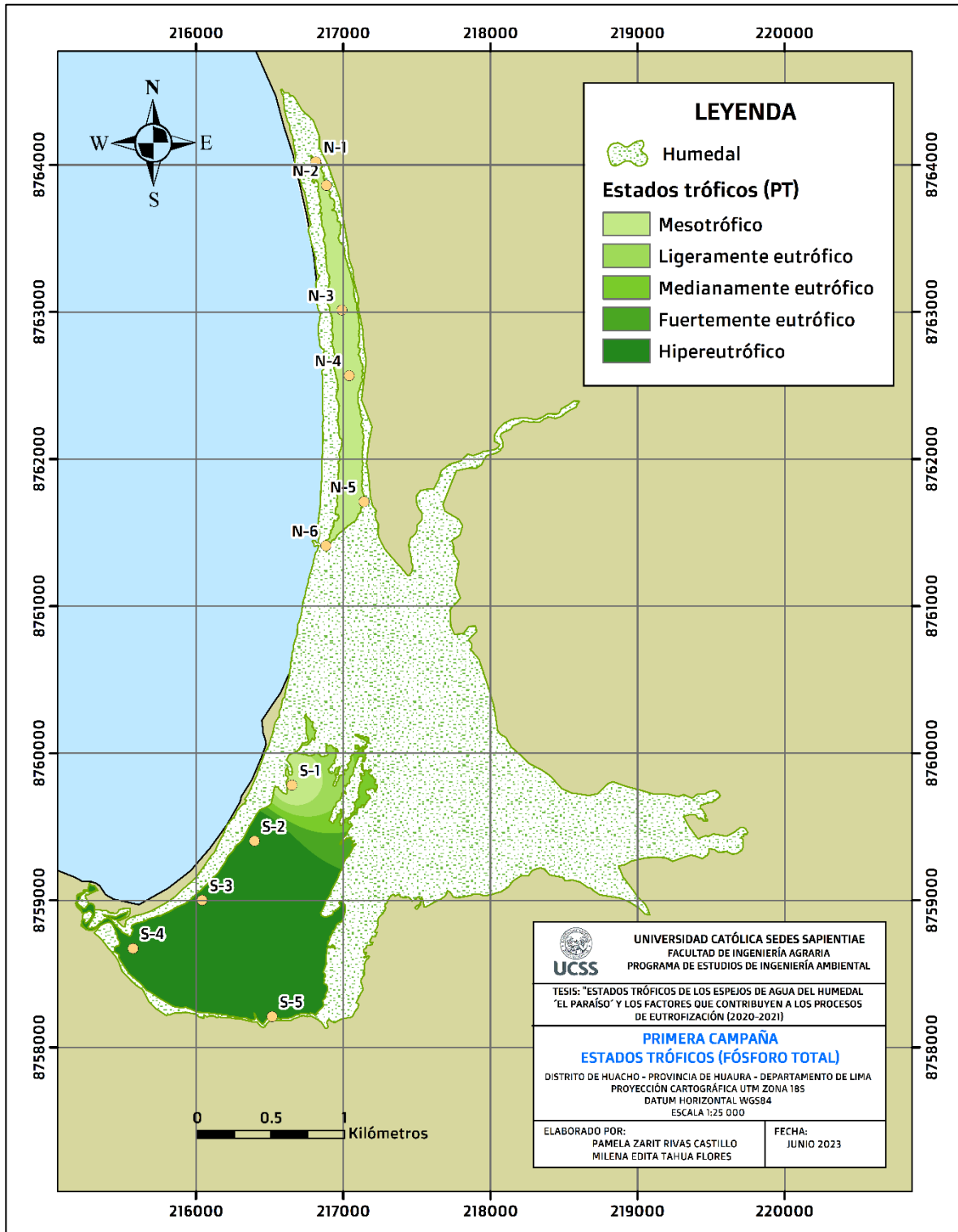


Figura 17

Mapa de estados tróficos obtenidos a partir del parámetro transparencia del agua en la segunda campaña

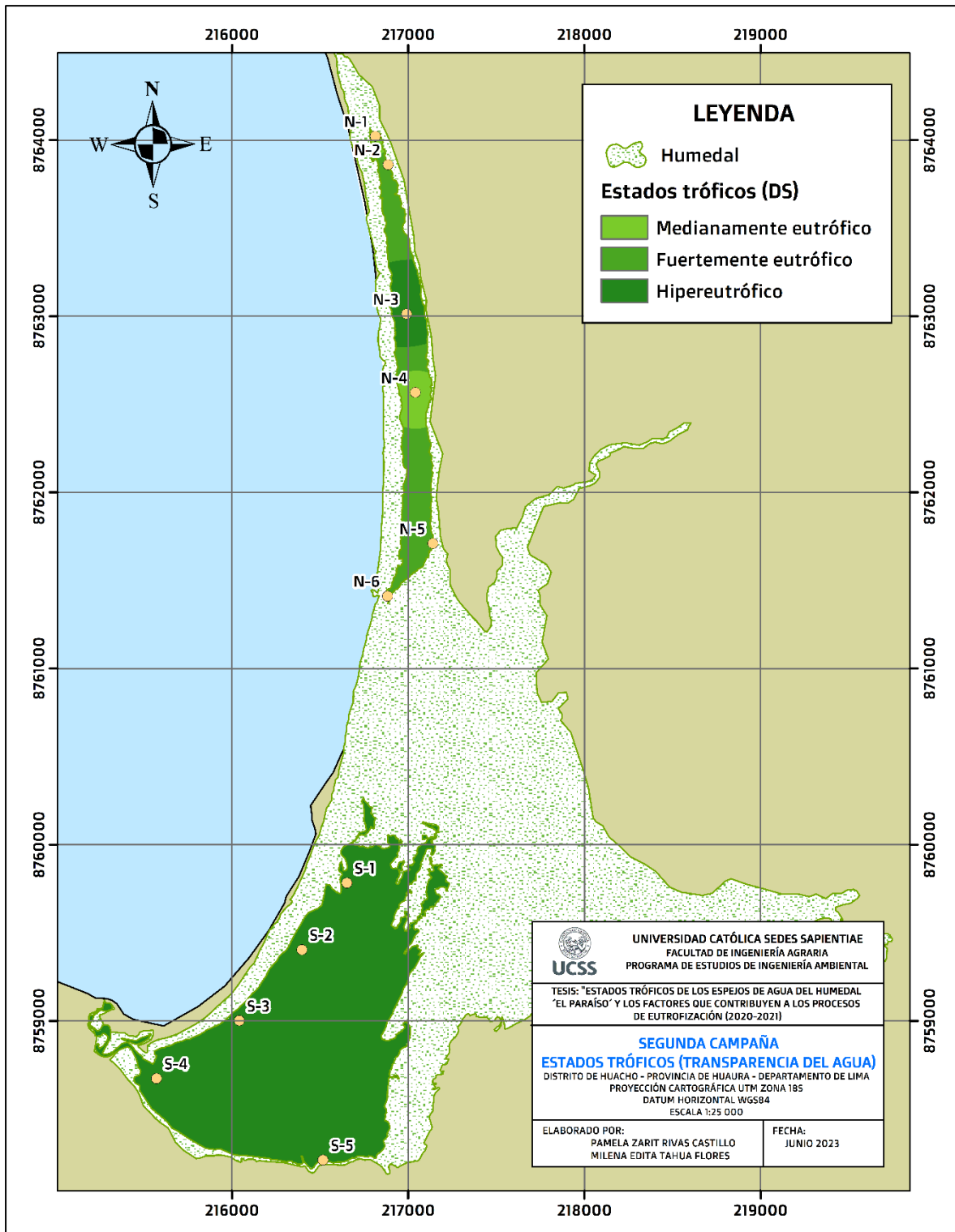


Figura 18

Mapa de estados tróficos obtenidos a partir del parámetro clorofila a en la segunda campaña

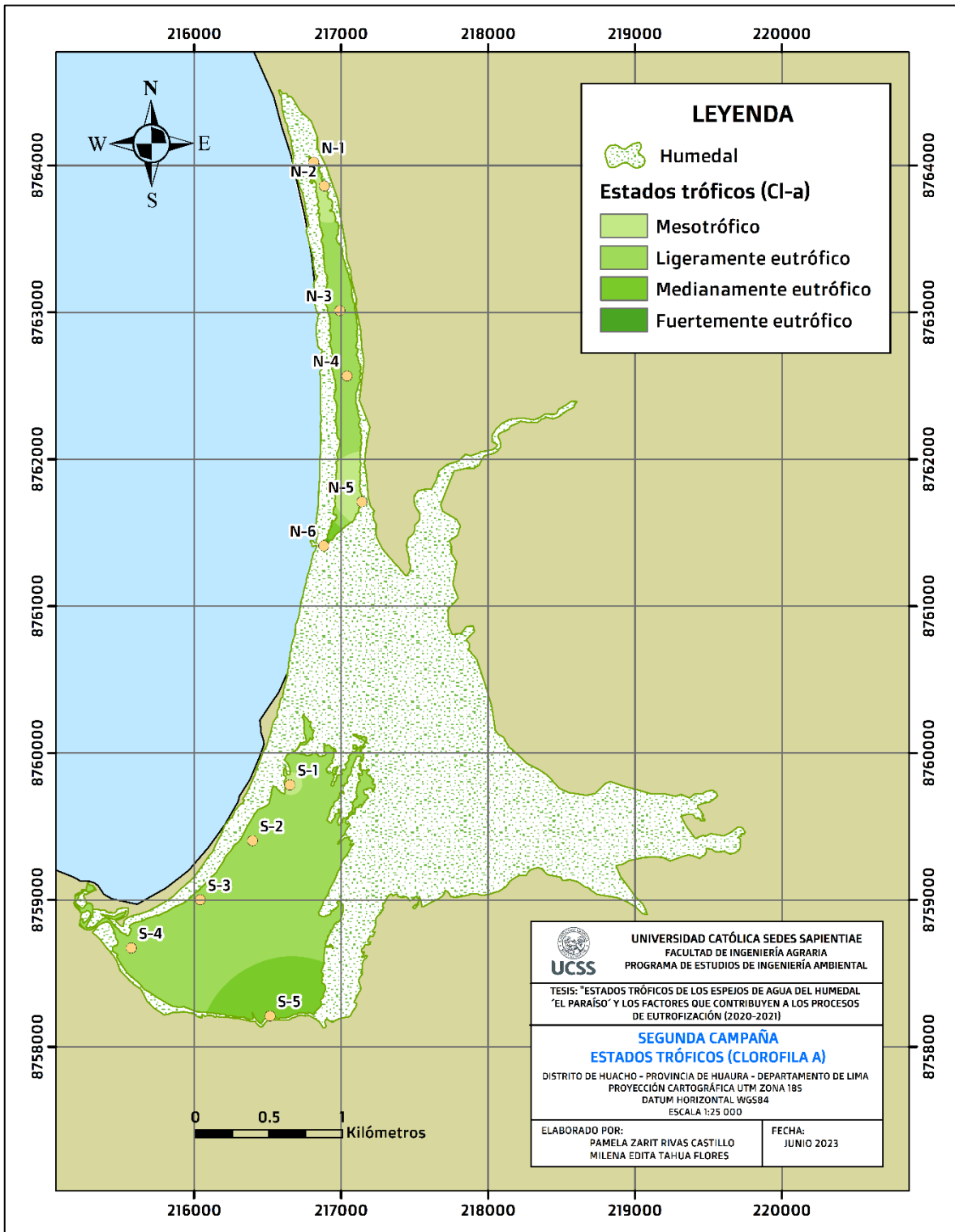
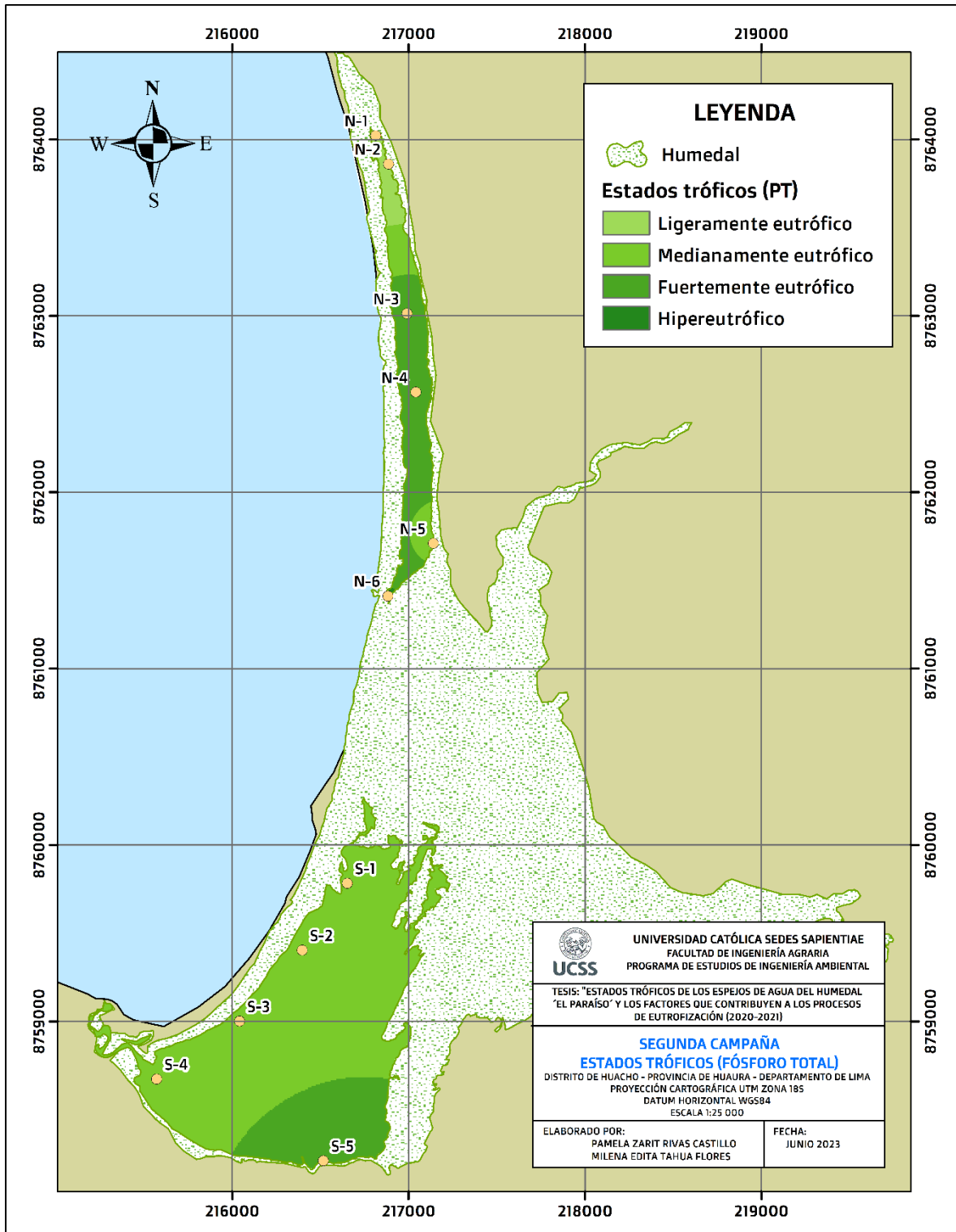


Figura 19

Mapa de estados tróficos obtenidos a partir del parámetro fósforo total en la segunda campaña



3.3.Actividades antrópicas identificadas

3.3.1.Actividades antrópicas

Las actividades antrópicas identificadas en la población del centro poblado San José de Puñún, se describen a continuación.

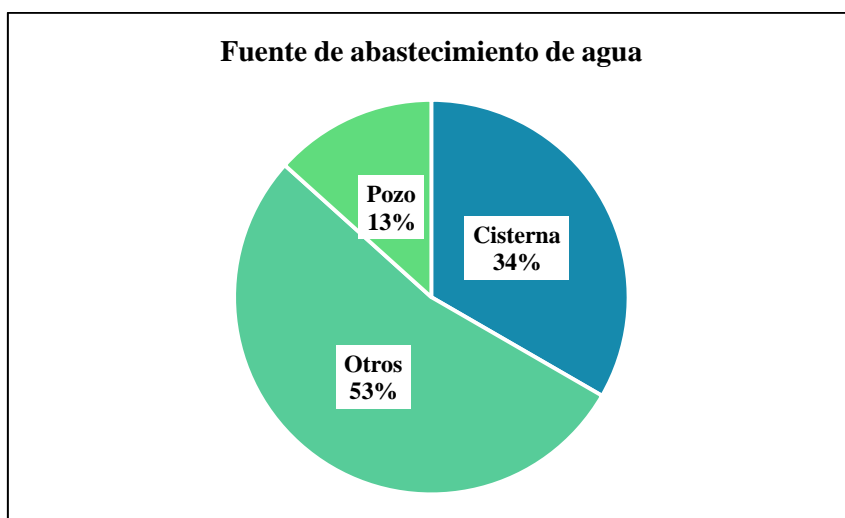
Actividades domésticas

- **Aguas residuales**

Respecto a la fuente de abastecimiento de agua para consumo, el 13 % de la población encuestada utiliza agua de pozo, el 34 % se abastece mediante cisterna y el 53 % mediante otras formas, específicamente se abastecen mediante un canal de agua cercano (Figura 20).

Figura 20

Fuente de abastecimiento de agua para la población encuestada



La población no cuenta con servicio de agua potable y desagüe, por lo que el 70 % destina el agua residual de sus actividades cotidianas al riego de plantas, el 20 % al riego del suelo y el 10 % lo utiliza en silos (Figura 21). Asimismo, el 73 % del total de viviendas encuestadas tiene silo, el 7% cuenta con silo con arrastre hidráulico, el 10% con pozo ciego y 3% con baño seco, mientras que el 7 % cuenta con otro tipo de baño o no cuenta con uno.

Figura 21

Destino final del agua residual

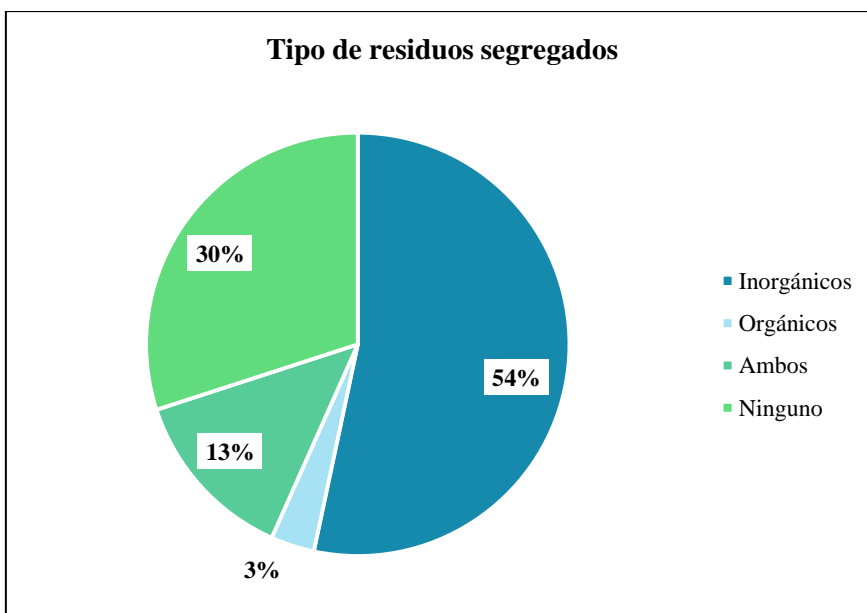


- **Residuos sólidos**

En cuanto al manejo de residuos sólidos, el 70 % de los encuestados practica la segregación en su hogar, donde el 54 % separa residuos inorgánicos, solo el 3 % separa residuos orgánicos y el 13 % separa ambos (Figura 22).

Figura 22

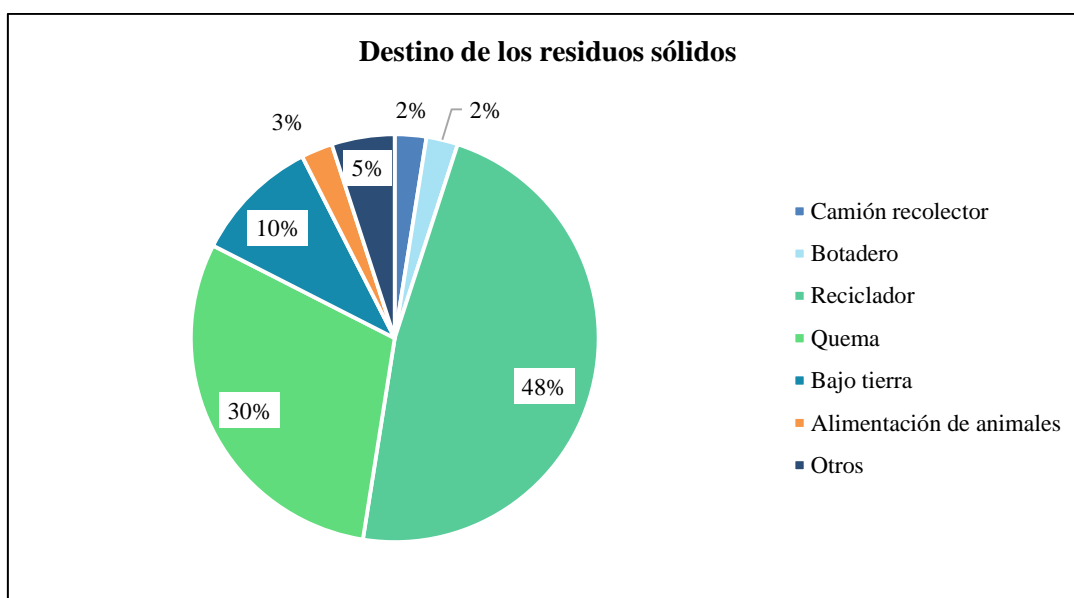
Tipo de residuos que segrega la población encuestada



En el centro poblado no se cuenta con un horario frecuente de recolección de residuos sólidos, por lo que los pobladores disponen sus residuos sólidos de la siguiente manera: el 2 % espera al camión recolector para entregar sus residuos, otro 2 % los lleva a un botadero, 48 % los entrega a recicladores, 3 % los quema, 10 % entierra sus residuos, 30 % utiliza sus residuos orgánicos como alimento para sus animales y el 5 % indicó otros (Figura 23).

Figura 23

Destino de los residuos sólidos generados por la población encuestada



Ganadería, agricultura y extracción de especies vegetativas

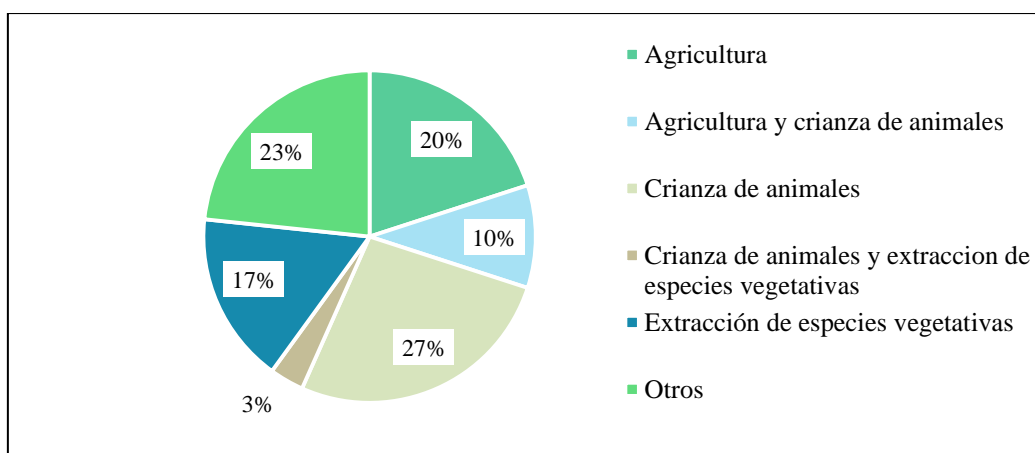
En cuanto a las actividades económicas que realizan, el 20 % se dedica solo a la agricultura, el 27 % se dedica solo a la crianza de animales, y el 17 % solo a la extracción de especies vegetativas, mientras que el 10 % se desempeña tanto en la agricultura como en la crianza de animales, el 3 % tanto a la crianza de animales como a la extracción de especies vegetativas y el 23 % se dedica a otras actividades económicas (Figura 24).

De aquellos que se dedican a la agricultura, solo el 22 % mencionó que los terrenos de cultivo se encuentran cerca del humedal, los cuales cuentan en promedio con 1,7 ha, donde se tiene diversas plantas como maíz, choclo, tomate, cebolla, vainita y ají, algarrobo, mora y maracuyá. Asimismo, indicaron que realizan el riego por goteo, surcos y gravedad, de manera diaria, interdiaria o una vez por semana. El 42 % indicó que emplean plaguicidas, y

todos mencionaron que utilizan estiércol para abonar los terrenos. En cuanto a quienes se dedican a la crianza de animales, poseen aves de corral, cuyes, cerdos y vacas, el 67 % en corrales y el 33 % son criados libres. El promedio de animales que crían por vivienda encuestada es de 11. El estiércol generado es recogido utilizado como abono, ya sea para uso propio o venta. Finalmente, aquellos que se dedican a la extracción, aprovechan el junco y la totora para producir esteras y artesanía, todos para venta.

Figura 24

Actividades económicas realizadas por la población encuestada



Pesca

Respecto a su conocimiento sobre la existencia de peces en el humedal, el 60 % respondió que no lo sabía y el 40 % mencionó que sí tenía conocimiento, y de este segundo grupo, el 83 % consume peces del humedal. Asimismo, los encuestados mencionaron que los peces presentes en las lagunas son: tilapia, lisa, monengue, mojarrilla, carpa, y también camarones. En cuanto a la pesca, en su mayoría refirieron el uso de mallas y que esta actividad se realiza ocasionalmente; además, ellos no alimentan a los peces del humedal.

3.3.2. Percepción de la población respecto al humedal

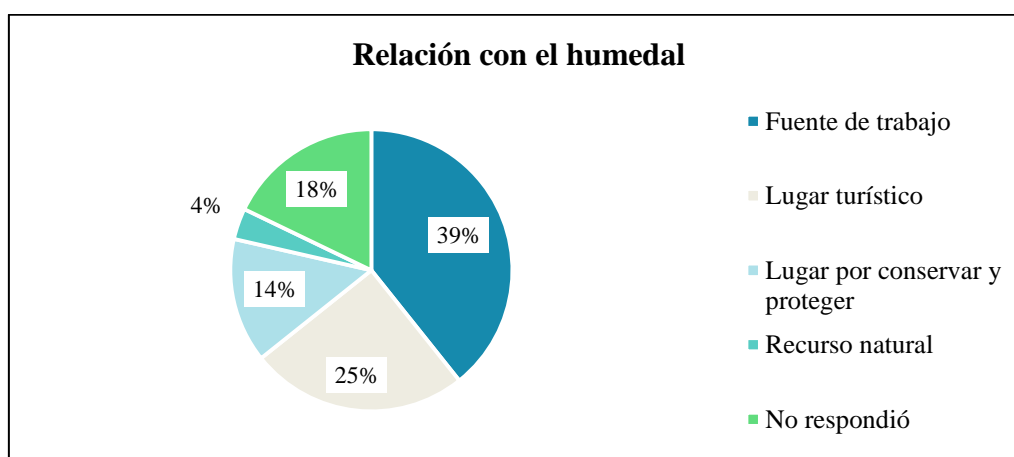
Los resultados mostraron que el total de encuestados del centro poblado “San José de Puñun” estuvo conformado por 19 mujeres y 11 varones, con una edad promedio de 40 años, en su mayoría con grado de instrucción de secundaria completa (36 %). Los hogares encuestados

estuvieron constituidos en promedio por 5 miembros, quienes residen en la zona por un tiempo promedio de 11 años.

En cuanto a la perspectiva que tiene la población respecto al humedal, el 39 % de la población considera al humedal como una fuente de trabajo, mientras que el 25 % lo ve como un lugar para hacer turismo. Asimismo, el 14 % considera que el humedal debe ser protegido y conservado por las autoridades competentes, el 4 % mencionó que es un recurso natural y el 18 % no respondió por desconocimiento del ecosistema (Figura 25).

Figura 25

Relación entre la población encuestada y el humedal



En cuanto la opinión de los vecinos, respecto al humedal, el 15 % de la población siempre visita el humedal, el 25 % lo visita frecuentemente, mientras que el porcentaje restante lo visita muy pocas veces. Por otro lado, el 58 % de la población ve al humedal como un lugar turístico, el 7 % mantiene su opinión neutral y el 35 % de la población, de menor porcentaje, no lo considera así.

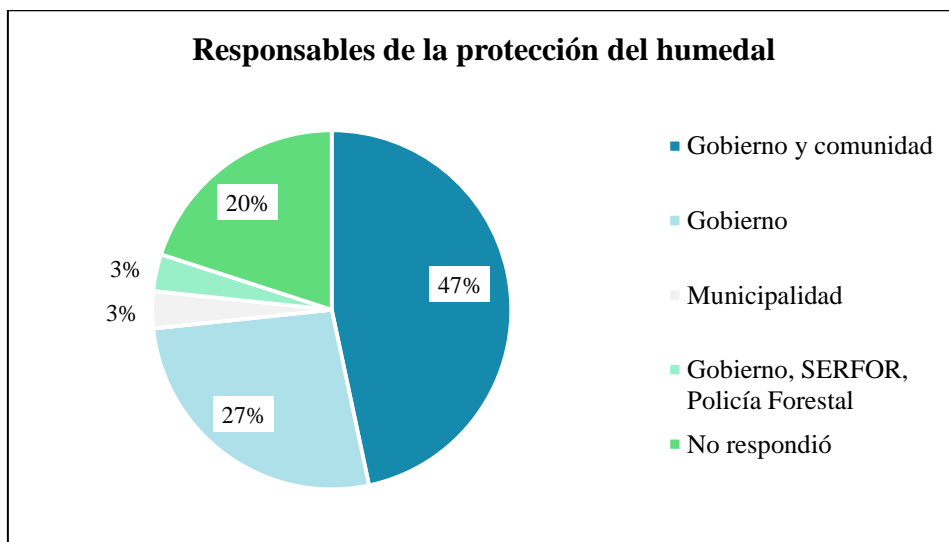
El 40 % de la población cree que las personas que visitan al humedal le causan daño, el 14 % mantiene una opinión neutral y el 46 % consideran que los visitantes no dañan al humedal. El 67 % de los pobladores considera beneficioso para su economía la visita de turistas nacionales y extranjeros al humedal y el 7 % mantiene una opinión neutral. Sin embargo, el 8 % considera que no afectaría en su economía la visita de los turistas al humedal.

El 18 % de los pobladores ha visto a personas extrañas contaminando el humedal, el 7 % han visto ocasionalmente este tipo de eventualidades, y el otro 7 % ha visto raramente este tipo de hecho. Sin embargo, el 47 % de los encuestados nunca vieron personas contaminando el humedal. El 15 % de la comunidad consideran que sus actividades cotidianas afectan el humedal, el 14 % mantiene una opinión neutral, el 50 % creen que sus actividades no afectan al humedal. El 73 % de la población considera que el humedal debe ser protegido por las autoridades competentes, el 3 % mantiene su opinión neutral, el 7 % considera que no debe ser protegido y, por último, el 17 % no opina sobre el tema.

En cuanto, a la protección de humedal, el 47 % de los encuestados considera que el gobierno en conjunto con la comunidad debe trabajar juntos para cuidar del humedal, mientras que el 27 % considera que solo el gobierno debe intervenir. Por otro lado, en un menor porcentaje, el 3 % considera que solo es competencia de la municipalidad distrital, y el otro 3 % considera que las autoridades ambientales como SERFOR y la Policía Forestal, son responsables del cuidado de este ambiente natural (Figura 26).

Figura 26

Responsables de la protección del humedal según la opinión de la población encuestada



3.4. Relación entre el crecimiento urbano del Pueblo Paraíso y la presencia de vegetación del humedal El Paraíso en las últimas dos décadas

3.4.1. Crecimiento urbano del Pueblo Paraíso en el período 2002-2020

En este punto, se realizó la digitalización del área ocupada por viviendas en el alrededor del humedal para el período 2002-2020. De esta manera, se logró conocer la variación de la superficie con asentamiento de viviendas, observando que hubo crecimiento hacia el humedal; es decir, que se aprecia mayor cantidad de viviendas cerca del humedal desde 2002 hasta 2020.

Tabla 23

Estimación del área ocupada por viviendas de acuerdo con su nivel de consolidación

Años	Área (ha)			Total
	Menor consolidación	Moderada consolidación	Mayor consolidación	
2002	4,93	33,59		38,52
2010	22,89	44,44		67,33
2015	108,21	44,37	33,49	186,07
2020	363,30	17,27	60,47	441,04

De acuerdo con la visualización y como se describe en la Tabla 23, en el año 2002 el área ocupada por viviendas era de aproximadamente 38,52 ha (Figura 27), en el 2010 fue de 67,33 (Figura 28), en el año 2015 se incrementó a 186,07 ha (Figura 29), y en el año 2020 el área corresponde a 441,04 ha (Figura 30). Además, se observó que las viviendas fueron adquiriendo mayor consolidación hacia los años 2015 y 2020.

Figura 27

Mapa del área ocupada por viviendas para el año 2002

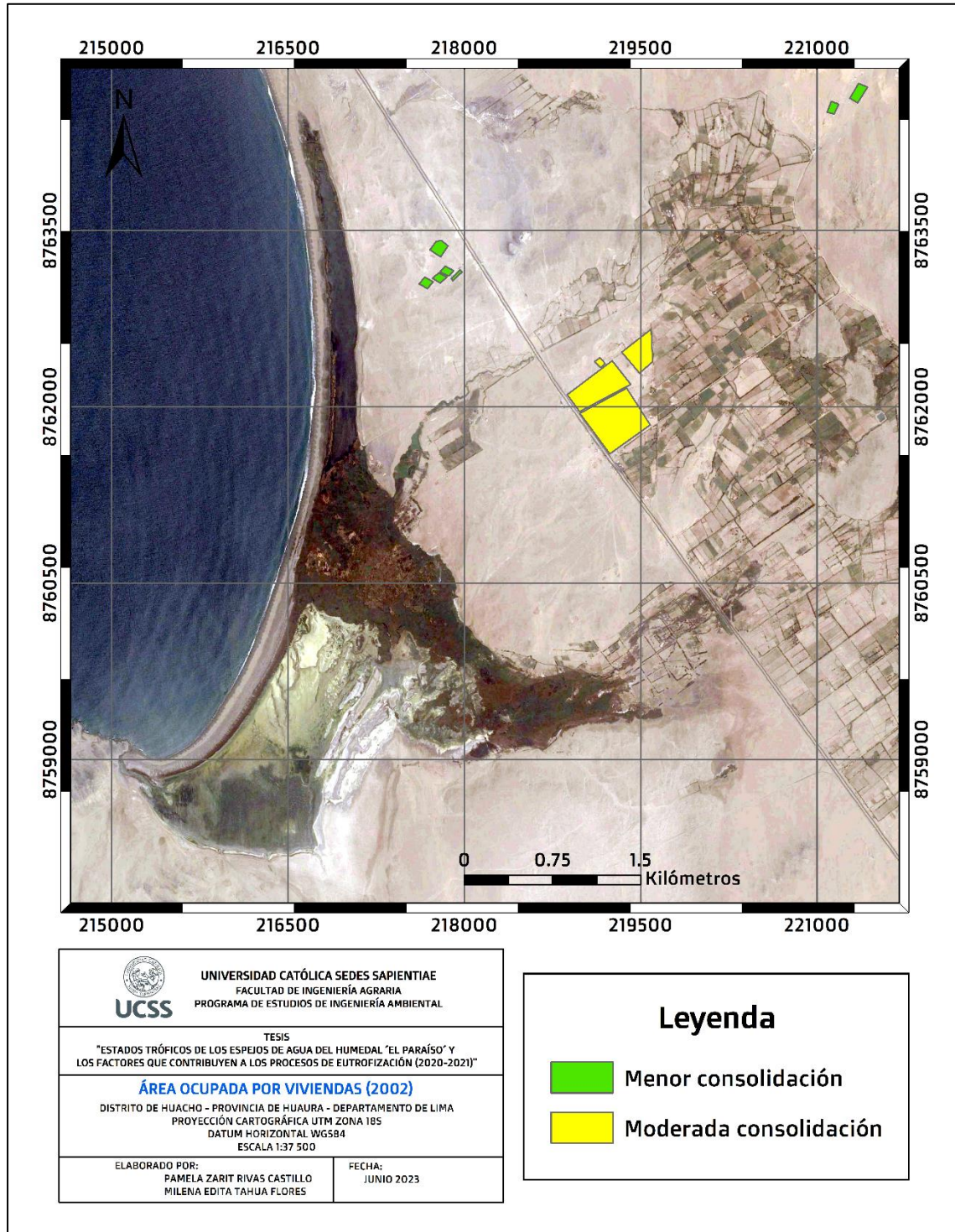


Figura 28

Mapa del área ocupada por viviendas para el año 2010

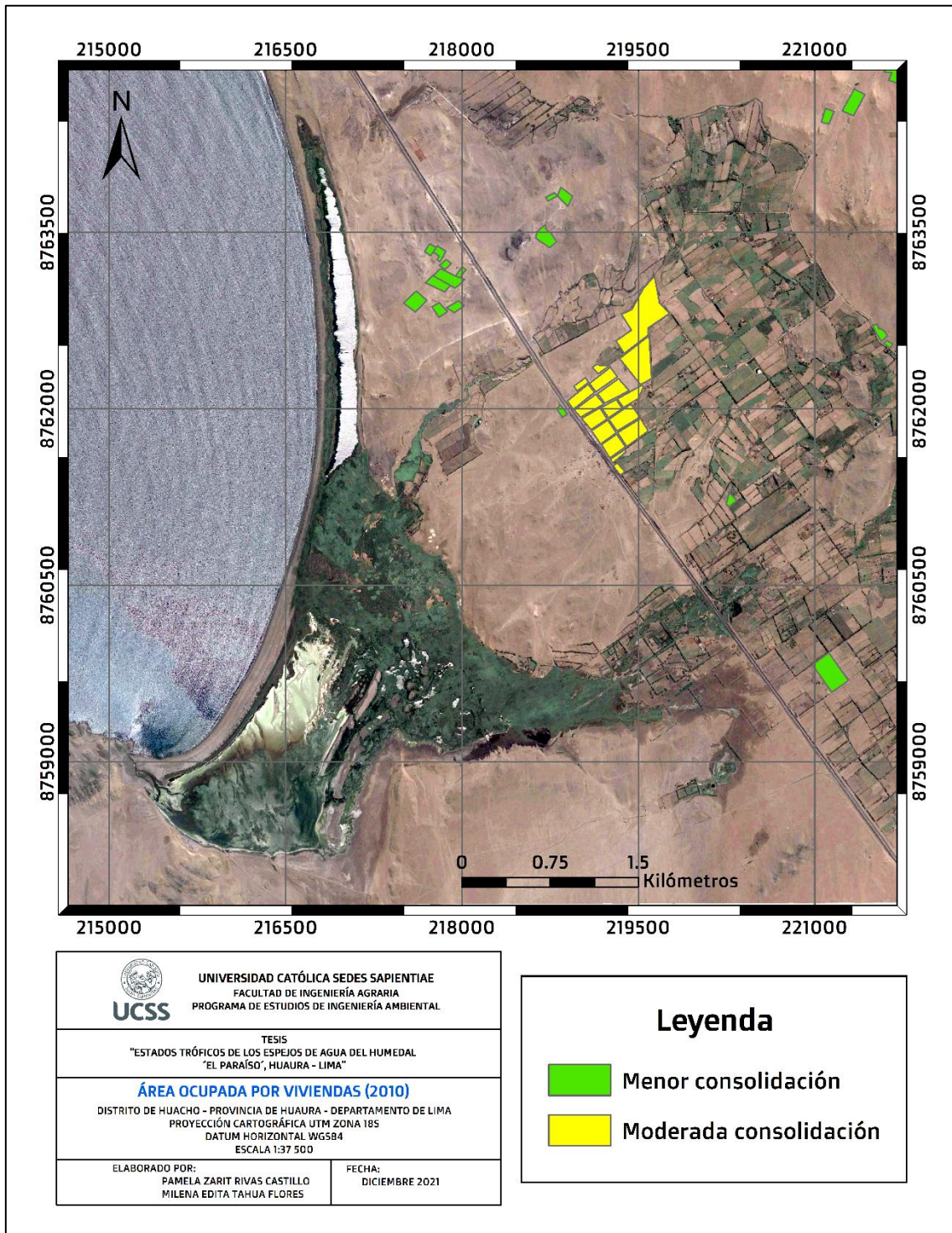


Figura 29

Mapa del área ocupada por viviendas para el año 2015

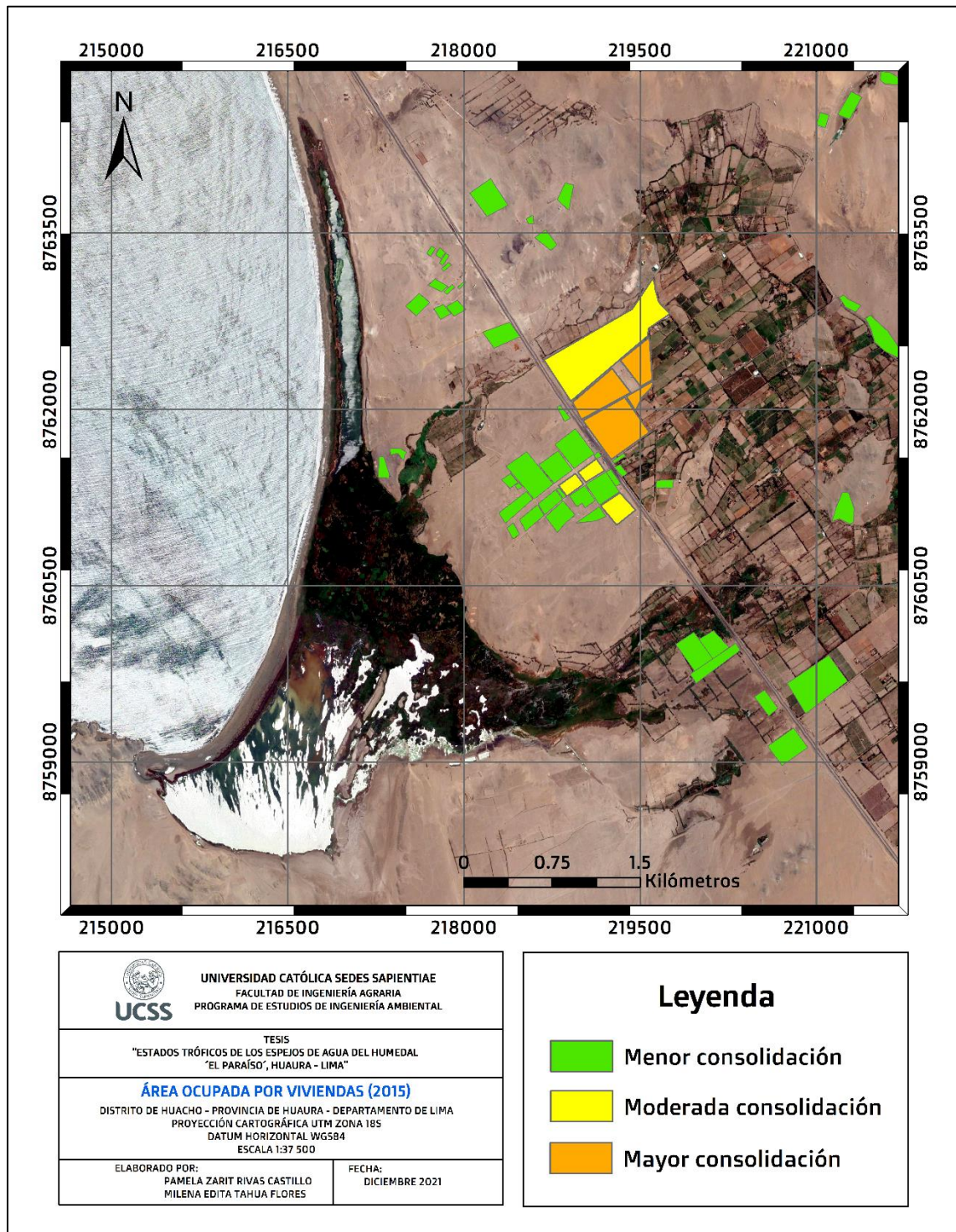
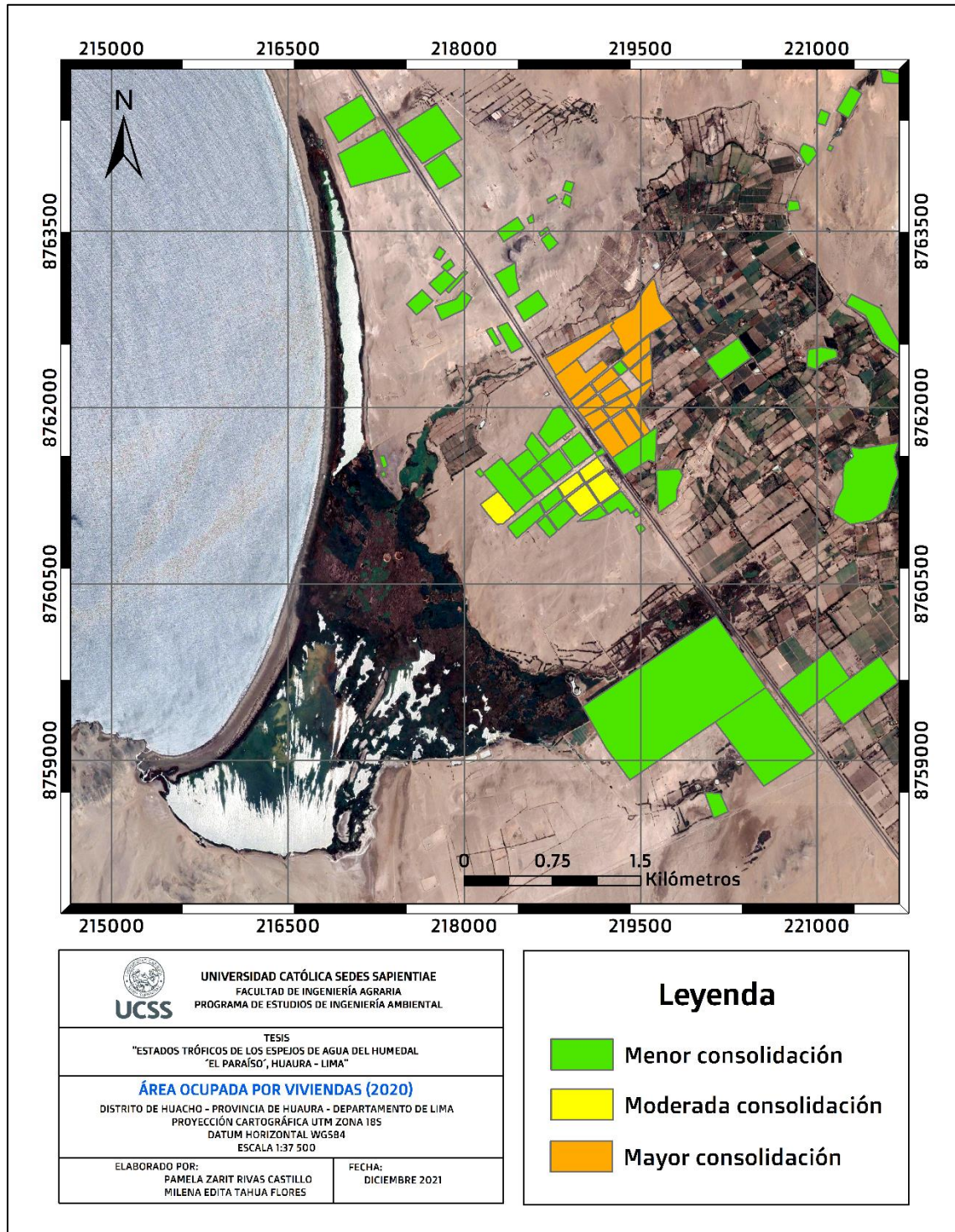


Figura 30

Mapa del área ocupada por viviendas para el año 2020



3.4.2. Presencia de vegetación en el humedal El Paraíso en las últimas dos décadas

El cálculo del Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) para las imágenes satelitales Landsat, permitió asignar seis clases en el área de estudio correspondientes a: agua (color azul), suelo desnudo o vegetación enferma (color anaranjado) y vegetación (color verde, en 4 diferentes tonalidades de acuerdo con la densidad y salud de la vegetación) según se muestra en la Tabla 24.

Tabla 24

Áreas por clases obtenidas del cálculo de NDVI

Años	Área (ha)					
	Agua	Suelo desnudo	Vegetación 1	Vegetación 2	Vegetación 3	Vegetación 4
1999	1726,08	8408,68	1096,38	588,50	321,64	204,74
2005	1653,72	8312,23	1030,12	682,22	422,81	244,99
2010	1704,93	8124,40	1047,00	709,44	506,16	254,26
2015	1736,90	7996,96	1051,00	747,24	517,98	296,11
2020	1689,94	7582,99	1367,03	792,83	625,91	287,50

En el año 1999, se aprecia vegetación dentro de la laguna sur, aunque en menor medida, y en ambas lagunas se observa suelo desnudo o vegetación en algunas partes (Figura 31). En la imagen correspondiente al año 2005, el suelo desnudo o vegetación ocupa menor superficie en la laguna sur y mayor superficie para la norte, cubriendo casi toda la laguna (Figura 32); y en el año 2010 se observa una situación similar (Figura 33). Para los años 2015 y 2020, la laguna norte muestra una reducción considerable de suelo o vegetación; sin embargo, en el espejo de agua sur se observa mayor carga de estos e incluso se aprecia vegetación más densa en gran parte de la laguna (Figura 34 y 35).

Figura 31

Mapa del Índice Normalizado de Vegetación (1999)

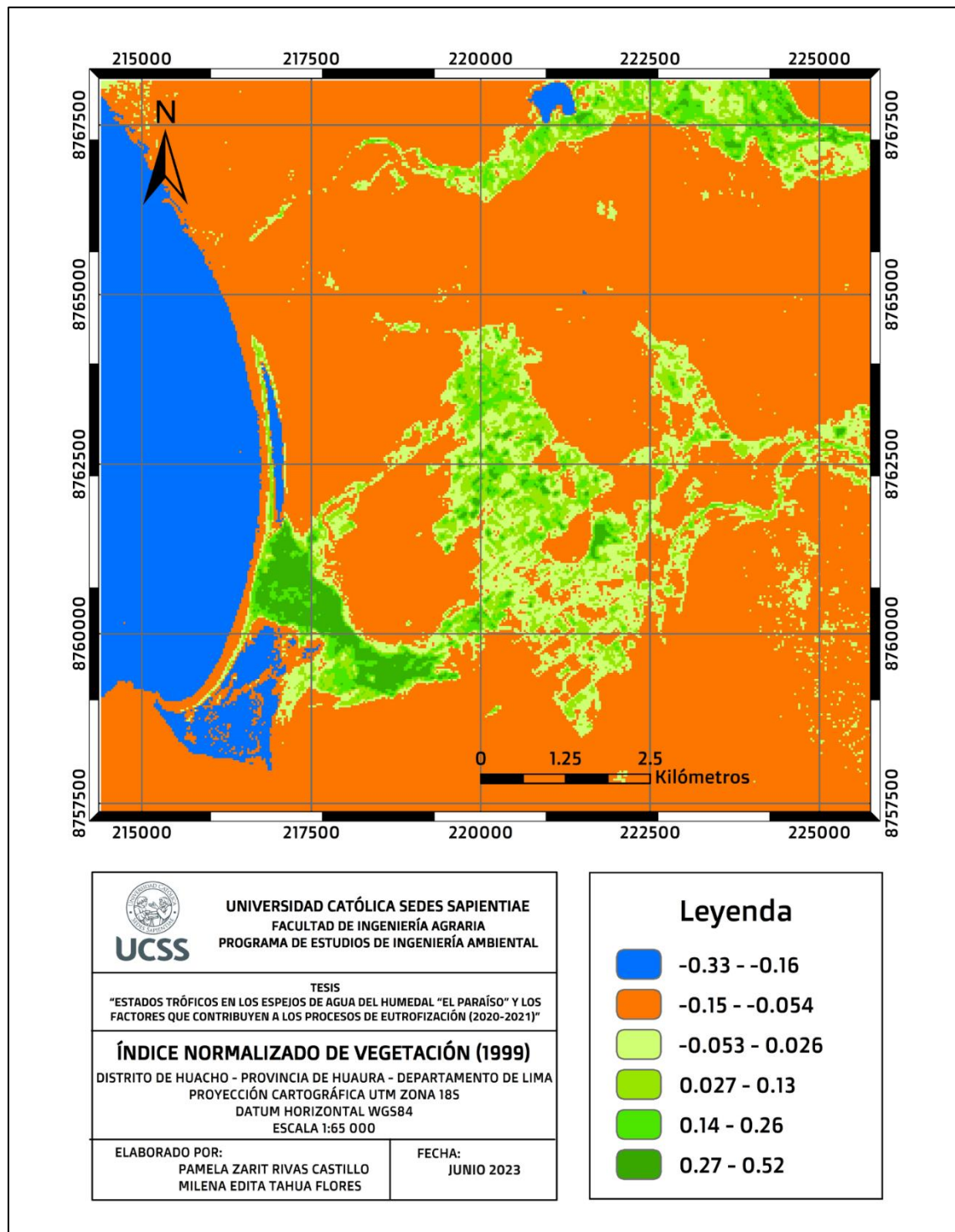


Figura 32

Mapa del índice normalizado de vegetación (2005)

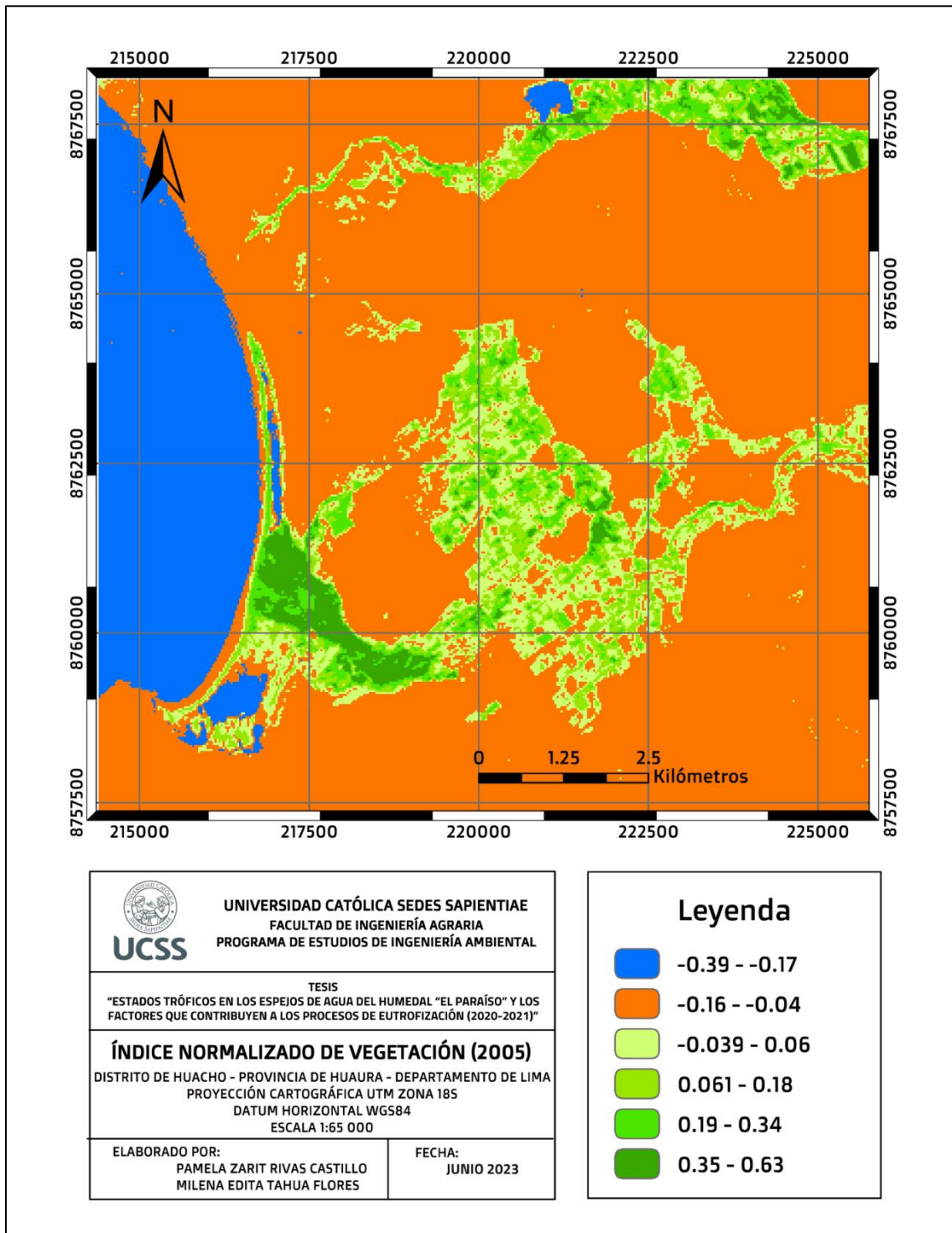


Figura 33

Mapa del índice normalizado de vegetación (2010)

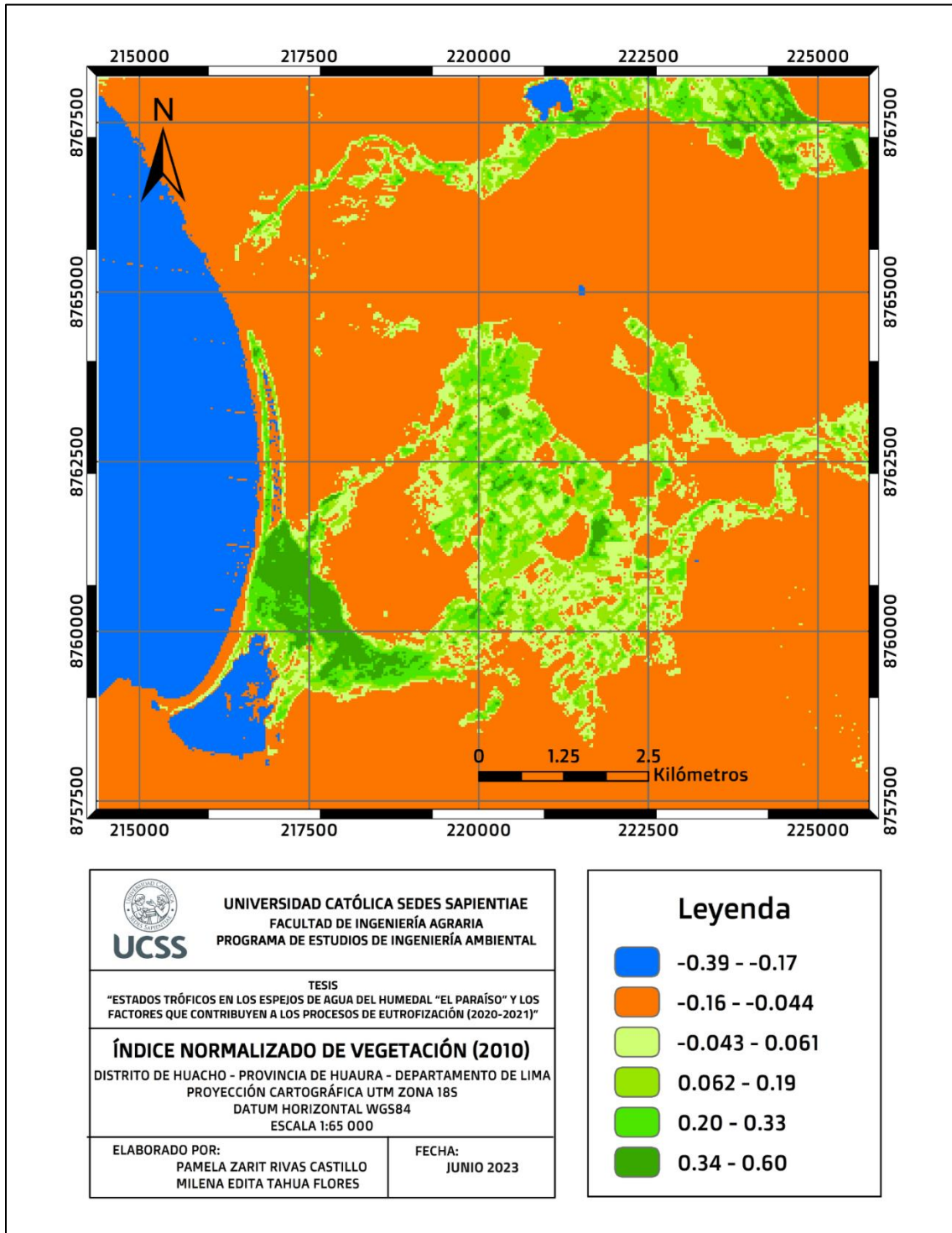


Figura 34

Mapa del índice normalizado de vegetación (2015)

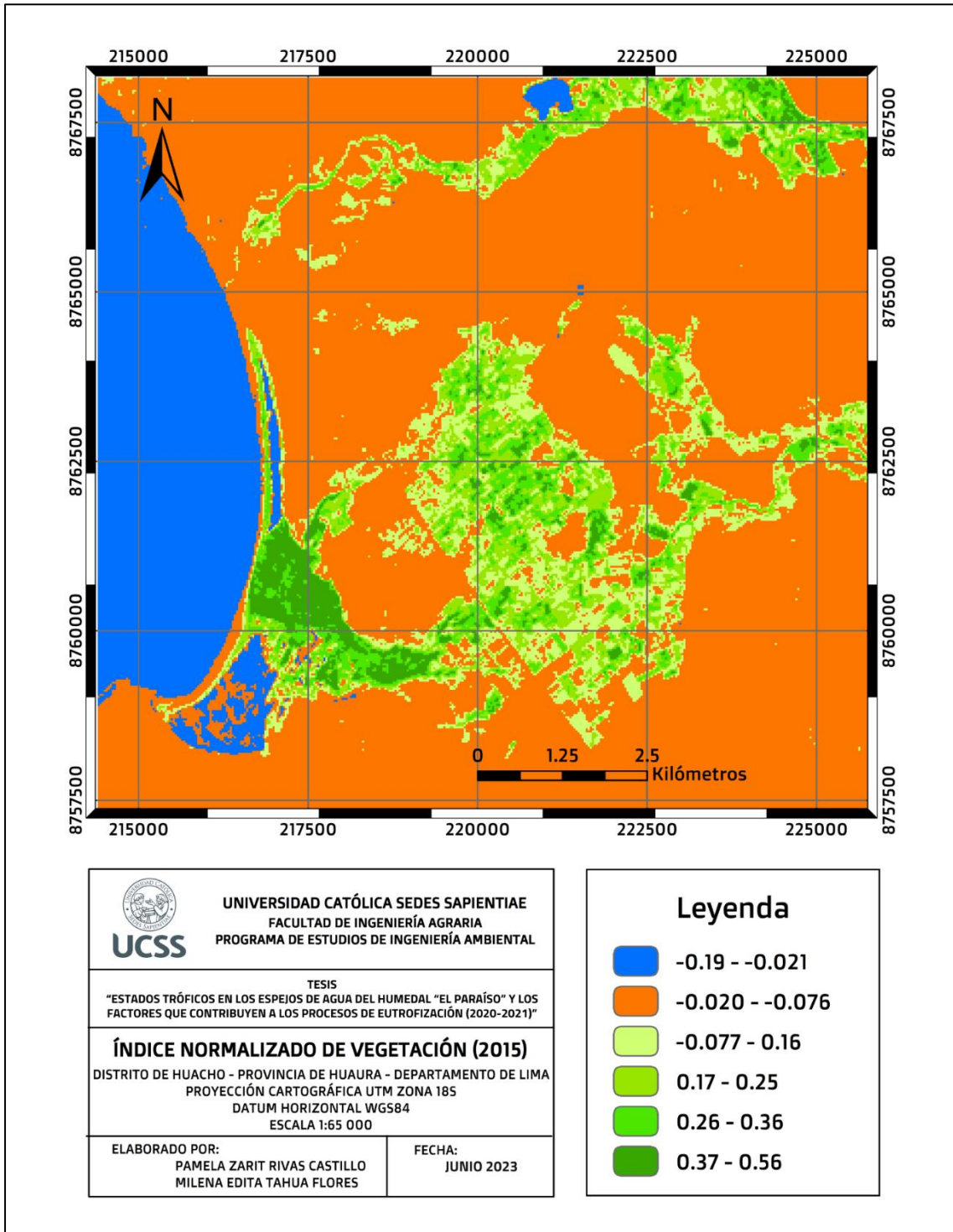
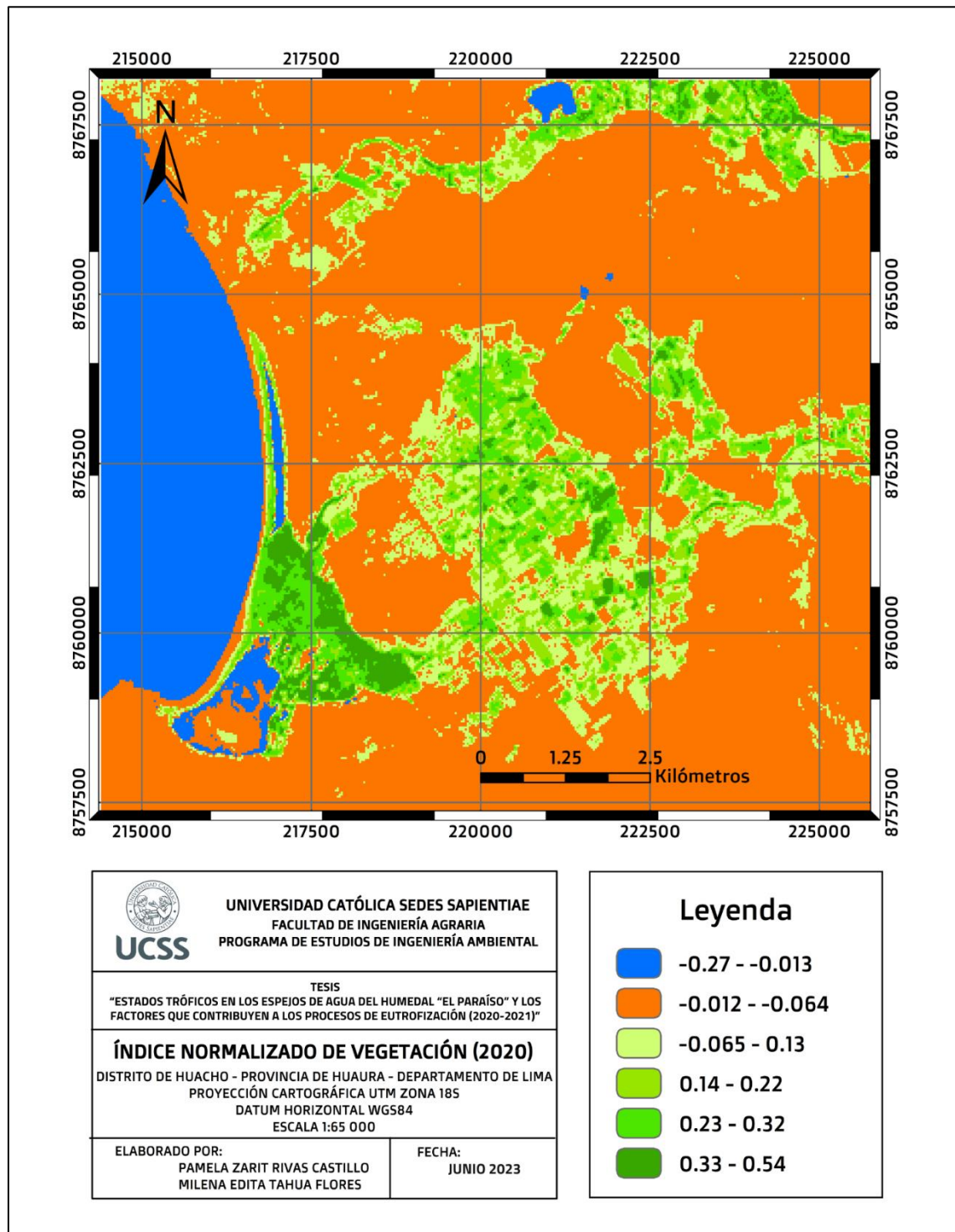


Figura 35

Mapa del índice normalizado de vegetación (2020)



3.4.3. Correlación de Pearson entre el crecimiento urbano y la vegetación del humedal El Paraíso en las últimas dos décadas

Mediante la prueba de correlación de Pearson se pudo determinar una relación fuertemente positiva entre el crecimiento urbano y la vegetación del humedal El Paraíso.

Tabla 25

Correlación entre el crecimiento urbano y la variación de la superficie vegetal

		Área urbana	Vegetación
Área urbana	Correlación de Pearson	1	0,976*
	Sig.		0,024
	N	4	4
Vegetación	Correlación de Pearson	0,976*	1
	Sig.	0,024	
	N	4	4

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

4.1. Parámetros fisicoquímicos de los espejos de agua

Los niveles altos de CE, los cuales superaron los ECA en todos los puntos de muestreo durante ambas campañas (Tablas 9, 10, 11 y 12), podrían explicarse por la cercanía del humedal con el mar y el contenido de sales que poseen estas aguas. Esto concuerda con el estudio de Paredes (2020), donde la marisma evaluada obtuvo mayores valores de CE ($4330 \pm 5737 \mu\text{S/cm}$) en comparación a los arroyos ($1191 \pm 766 \mu\text{S/cm}$). Por otro lado, los valores obtenidos para NTK y PT (Tablas 9, 10, 11 y 12) podrían ser causados por el aporte de aguas residuales que se filtran en el suelo desde las viviendas cercanas y áreas agrícolas, ya que fueron elevados en el periodo en estudio, a excepción de las concentraciones obtenidas para la laguna norte en la primera campaña donde se tuvieron valores por debajo del rango detectable.

Si bien el presente estudio no abarcó promedios mensuales de temperatura, comparando las medias entre la primera campaña (primavera) y la segunda (verano): para la laguna norte, la variación supera lo establecido por los ECA, con $6.8 \text{ }^\circ\text{C}$ (de $22,1$ a $28,9 \text{ }^\circ\text{C}$) de diferencia en los promedios de las 6 estaciones de muestreo y, de igual modo, para laguna sur, la variación excede los ECA con $7.5 \text{ }^\circ\text{C}$ (de $23,9$ a $31,4 \text{ }^\circ\text{C}$) de diferencia en los promedios de las 5 estaciones de muestreo. En el estudio realizado por Torres y Cruces (2022) en los humedales de Hualpén, Chile, los autores encontraron una situación similar donde las temperaturas variaron de acuerdo con la estacionalidad, de $21,8 \text{ }^\circ\text{C}$ en primavera a $26,7 \text{ }^\circ\text{C}$ en verano.

En la segunda campaña, los valores elevados de DBO_5 en todos los puntos a excepción de N-1 y S-1 (Tablas 11 y 12) se explicarían también por el aporte de aguas residuales y materia orgánica, al igual que el elevado contenido de PT, proveniente principalmente de aguas residuales ya que es muy probable que las aguas residuales domésticas del centro poblado

cercano se estén infiltrando y llegando hacia las lagunas, de acuerdo con la información levantada de las encuestas. Los resultados para las concentraciones de PT en la laguna sur concuerdan con los obtenidos por Beltrán y Rangel (2013) para el humedal de Jaboque, puesto que también se estimaron en su modelamiento mayores valores para la época de menor nivel de agua (de 0,41 a 1,8 mg/m³); asimismo, coinciden para la laguna norte, dado que en el segundo muestreo (marzo) las concentraciones de PT (Tabla 11) fueron ligeramente menores en comparación a octubre, identificada como la época de menor nivel de agua debido a la ausencia de lluvias.

Por otro lado, aun cuando las concentraciones del PT superaron los estándares de calidad de agua tanto en la laguna sur para el primer muestreo (Tabla 10) y en ambas lagunas de acuerdo con el segundo muestreo (Tablas 11 y 12), los resultados son menores en comparación a los valores obtenidos por González y Matamoros (2017) en el humedal Gualí-Tres Esquinas, que fueron entre 2,40 y 3,01 mg/L donde identificaron descargas directas de aguas residuales.

Alvarez *et al.* (2012) mencionaron que existen diversos estudios donde se ha encontrado que la estacionalidad influye en la productividad primaria de los cuerpos de agua, siendo que la mayor incidencia de luz solar en primavera y verano influye en la presencia de mayores concentraciones de fitoplancton, aunque en algunos casos no existe una clara tendencia, dado que diferentes factores influyen en su variabilidad, como el aporte de nutrientes por descargas fluviales o fenómenos naturales como el afloramiento. En el presente estudio, de acuerdo con los resultados de la correlación de Pearson entre Cl-a y nutrientes para el periodo en estudio, se ha podido encontrar relación significativa entre las concentraciones de Cl-a y PT en el espejo de agua sur, donde se muestra una relación negativa ($r = -0.903$; $p = 0.036$) para la primera campaña de muestreo y una relación positiva ($r = 0.944$; $p = 0.016$) para la segunda campaña de muestreo. Sin embargo, no se ha podido establecer una relación clara entre la concentración de clorofila-a y la cantidad de nutrientes en el agua del humedal El Paraíso.

4.2.Estados tróficos

Según el parámetro de transparencia del agua, la laguna norte se encontró en un nivel medianamente eutrófico (TSI = 63,02), mientras que, en la segunda campaña, presentó en su totalidad valores que la identifican en estado fuertemente eutrófico (TSI = 74,22), mostrando una ligera variación en los valores de TSI que indicaría una posible proliferación de algas (Iqbal *et al.*, 2022). Esto coincide con los resultados obtenidos en el estudio de Díaz *et al.* (2018), donde hallaron que la laguna Paraíso se encontraba en estado eutrófico característico de un ecosistema euprodutivo. Además, es similar a la situación encontrada en Albuferas de Medio Mundo por Chiclla (2022) que determinó el estado eutrófico en las aguas y su relación positiva con las floraciones algales.

En cuanto a la laguna sur, esta se encontró en estado hipereutrófico (TSI = 89,93) en la primera campaña, y en la segunda campaña presentó el mismo estado hipereutrófico (TSI = 88,06), condición que se caracteriza por la presencia de algas donde gran parte de los organismos acuáticos no pueden sobrevivir (Iqbal *et al.*, 2022). De esta manera, se pudo observar en ambas campañas, que la laguna norte tuvo menor grado de eutrofización que la laguna sur, que se confirmó durante la ejecución de los muestreos donde se pudo observar presencia de vida acuática en el espejo de agua norte a diferencia del espejo de agua sur donde inclusive el agua presentaba mayor turbidez. Asimismo, las condiciones en el espejo de agua de sur del humedal El Paraíso son similares en la laguna de Medio Mundo, que se encontró en un estado hipereutrófico según resultados de los parámetros de transparencia de agua y clorofila a, causado por el aporte de efluentes industriales y de la agricultura, el desarrollo del pastoreo, infraestructura turística, entre otros (Quiroz, 2019).

En cuanto al parámetro de clorofila a, la laguna norte presentó estado mesotrófico para la primera campaña (TSI = 41,38), y en la segunda campaña, presentó nivel ligeramente eutrófico (TSI = 55,90) que, de acuerdo con lo que menciona Iqbal *et al.* (2022), indicaría el aumento de nutrientes y la disminución de la pureza del agua. La laguna sur mostró nivel ligeramente eutrófico (TSI = 52,45) en la primera campaña de muestreo, y en la segunda campaña, la laguna sur mantuvo estado ligeramente eutrófico (TSI = 56,18) que indicarían la disminución de la pureza del agua.

La laguna norte presentó un nivel mesotrófico dado por el parámetro de fósforo total en la primera campaña de muestreo (TSI = 41,14), mientras que, en la segunda campaña, la laguna mostró estado moderadamente eutrófico (TSI = 66,49). Por otro lado, la laguna sur presentó un nivel hipereutrófico (TSI = 85,80) en la primera campaña, y en la segunda campaña presentó un nivel moderadamente eutrófico (TSI = 67,25), donde ambos estados se caracterizan por una concentración alta de contaminantes (Iqbal *et al.*, 2022). Similar situación encontraron Gonzales y Matamorros (2018) en el Humedal Gualí – Tres Esquinas, el cual presentó estados mesotrófico y eutrófico dado por los parámetros clorofila a y fósforo total, causados por la disposición inadecuada de residuos sólidos y las descargas de efluentes de aguas residuales y de lluvias; lo mismo que podría estar sucediendo en El Paraíso puesto que tanto en anteriores estudios como en la presente investigación se ha reportado el manejo inadecuado de residuos sólidos por parte de la población aledaña y el aporte de aguas residuales por infiltración.

4.3. Actividades antrópicas identificadas en el centro poblado “San José de Puñun”

4.3.1. Actividades antrópicas

Actividades domésticas

- **Aguas residuales**

Una de las principales problemáticas del centro poblado es la falta de agua potable y desagüe, ya que, las aguas residuales de sus actividades cotidianas son usadas en un 70 % para el riego de plantas y un 10 % son vertidas en un silo (Figura 22), lo mismo que las aguas negras de los servicios higiénicos; en consecuencia, estas aguas residuales llegan al subsuelo y viajan a través de la napa freática hasta el humedal. Similar situación ocurre en el lago Yahuarcocha de acuerdo con el estudio de Moreta (2008), que es uno de los lugares turísticos más importantes de Ecuador y viene siendo afectado por las infiltraciones de aguas residuales que provienen de las comunidades aledañas, así como por efluentes que aportan nutrientes nitrogenados y fosfatados que proviene de las actividades agrícolas que se ubican alrededor del cuerpo de agua; por ello se puede deducir que la contaminación por agua servidas estaría incrementando la concentración de nutrientes en el agua, afectando en el estado de las lagunas y su posible eutrofización.

- **Residuos sólidos**

Los resultados de la encuesta aplicada mostraron que solo el 48 % de la población segrega sus residuos aprovechables; mientras que, el 10 % entierra los residuos no aprovechables, el 3 % los quema y el 2 % los lleva a botaderos (Figura 24). Sin embargo, según la visita de campo se pudo observar puntos de acumulación de residuos sólidos y restos de cenizas lo que indicarían que las verdaderas cifras difieren de las respuestas en la encuesta. De acuerdo con lo que menciona Moreta (2008), los principales factores que causan la eutrofización son los residuos sólidos y los efluentes provenientes de las actividades poblacionales aledañas al humedal. En este sentido, Cruz (2002) mencionó que las principales amenazas que enfrenta el humedal El Paraíso son el crecimiento acelerado de la población, el uso inadecuado de técnicas agropecuarias y la inadecuada eliminación de residuos sólidos, las mismas que se observaron en las distintas visitas de campo de la presente investigación. Los botaderos o puntos críticos de residuos sólidos se ubican alrededor del humedal y llegan a las lagunas a través del viento; además, se sabe que la descomposición de los residuos orgánicos produce lixiviados que, por medio de infiltración, llegarían al humedal. Dado esto, es posible que en el humedal El Paraíso la contaminación por residuos sólidos, de manera directa e indirecta (por lixiviados), influya en el incremento de la carga de nutriente del agua, provocando la eutrofización de estos cuerpos de agua.

Ganadería, agricultura y extracción de especies vegetativas

Las principales actividades económicas de la población son la crianza de animales y la agricultura. En la actividad de crianza de animales, a la cual se dedica el 27 % de la población encuestada (Figura 25), se generan como residuos las excretas y agua residual del lavado de los corrales. En cuanto a las excretas, estas son usadas como abono, pero el agua residual muchas veces es vertida en los silos. Además, muchos de sus animales son llevados al humedal para pastear, llegando a afectar la parte vegetativa del humedal y dejando sus excretas por el lugar. Asimismo, se sabe que los ganaderos de otros lugares que suelen llevar sus animales a pastear a los ecosistemas de lomas, como una alternativa, los llevan a los humedales en los meses de época seca (verano); lo cual coincide con la investigación de Quiñonez y Hernández (2017) en el humedal, que durante el estudio, observaron actividades de caza deportiva, quema de residuos, presencia de animales de granja, introducción de animales exóticas, crecimiento poblacional, presencia de residuos sólidos, entre otros. De

manera similar, Cruz (2002) en su investigación nos menciona que el pastoreo de animales, la crianza de cerdos en la zona pantanosa y las excretas de los animales en el agua son algo que se viene realizando y afectando desde muchos años atrás al humedal El Paraíso. Después de todo lo mencionado, se puede decir que el mal manejo de los residuos (excretas) y efluentes provenientes de los corrales de granja, estaría afectando de manera negativa a las lagunas del humedal; y si esto continua, estarían provocando su eutrofización.

Respecto a la agricultura, la cual desarrolla el 23 % de la población encuestada (Figura 25), si bien son pocos los terrenos de cultivo que están cerca del humedal, pero muchos de estos usan plaguicidas y otros agroquímicos. Estos químicos son muy tóxicos para el suelo, el agua, aire y para la población aledaña. Asimismo, el estudio de RAPAL Uruguay (2010) menciona que los fertilizantes y plaguicidas tienen un gran papel en la agricultura moderna, sobre todo en la agricultura a gran escala, debido a que aportan una elevada carga de nutrientes para los cultivos; sin embargo, en el caso de los plaguicidas, solo el 1 % afecta a la plaga u organismo blanco, el 25 % se queda en el follaje, el 30 % se queda en el suelo, y el 44 % va a la atmósfera y a los cuerpos de agua por medio de la escorrentía y lixiviados. Con base en lo anterior, se puede deducir que los agroquímicos que se aplican a los campos de cultivos llegan al humedal por medio del canal de irrigación Santa Rosa (el cual tiene contacto directo con ambas lagunas) y/o mediante la napa freática (infiltración). En consecuencia, estos agroquímicos estarían causando el incremento de la carga de nitratos y fosfatos en el agua.

Por consiguiente, se puede decir que las actividades de ganadería y agricultura generan impactos negativos en los ecosistemas frágiles como es el caso del humedal El Paraíso. Castro (2020) nos menciona en su investigación que las principales actividades antrópicas que afectan al humedal El Paraíso fueron: la agricultura, ganadería y la urbanización; donde los impactos más resaltantes fueron: la contaminación microbiológica del recurso hídrico, la afectación de la conservación del ecosistema y la contaminación ambiental. Asimismo, Quirós *et al.*, (2006) mencionan sobre el caso del humedal Pampeano, donde las actividades agropecuarias han ocasionado el cambio de uso de suelo del humedal a tierra agrícola, y sus lagunas se han ido eutrofizando por el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas agrícolas, así como por el manejo inadecuado de las excretas de los animales de granja.

Por otro lado, la población también se dedica en un 17 % a la extracción de especies vegetativas para la elaboración de artesanías (Figura 25). Las especies más usadas son el junco y la totora. Esto concuerda con la investigación de Nuñez (2020), quien menciona que el humedal Paraíso es considerado como uno de los humedales con mayor extracción de junco y totora, las cuales son usadas para la fabricación de esteras, colchones y artesanías. Pero a su vez, la extracción inadecuada y excesiva, puede generar un crecimiento diferente entre las especies vegetativas, generando una alteración en la presencia y dominancia de ciertas especies. Asimismo, la quema de estos recursos puede generar infertilidad en el suelo. Todas estas malas prácticas estarían influyendo negativamente en el ecosistema del humedal.

Pesca

El 40 % de los pobladores que viven cerca al humedal realizan la actividad de la pesca artesanal en las lagunas (Figura 25), con el fin de obtener un recurso para su alimentación o para generar ingresos económicos. Sin embargo, la ausencia de supervisión y control de esta actividad puede ocasionar riesgos para la salud humana y del ecosistema. Aunque muchos peces presenten un aspecto saludable a simple vista, algunos pueden hospedar parásitos causantes de enfermedades en quienes los consumen. En 2020, Airahuacho *et al.* reportaron la presencia de *Anisakis spp* (parásito que produce trastornos gastrointestinales) en *D. Latifrons* y *M. cephalus*, peces de consumo frecuente del humedal El Paraíso. Además, Molina (2021) menciona que el desarrollo de esta actividad sin supervisión y/o control de un ente u organización puede llegar a afectar negativamente a este ecosistema; por ejemplo, podría ocasionar la sobreexplotación de los recursos pesqueros y naturales, contaminación del agua, entre otros.

4.3.2. Percepción de la población respecto al humedal

El 39 % de la población percibe al humedal como un medio de trabajo para generar ingresos económicos, más no como un lugar para conservar. En el informe técnico realizado por el Instituto Geofísico del Perú (2021) en su estudio sobre la percepción de la población sobre las actividades económicas que se desarrollan en el humedal El Paraíso; el 45,7 % ven al humedal como una zona para turismo, el 32,9 % como artesanía, el 18,6 % como zona agrícola, el 8,6 % como lugar para pescar, el 7,1 % como zona ganadera, el 2,9 % como zona de caza y el 4,2 % como zona de recreación. Por otro lado, el 14 % considera que el gobierno

regional y otras autoridades competentes deben tomar las medidas necesarias para proteger el humedal (Figura 26).

El Ministerio de Cultura (2021) en su página oficial reconoce que la Asociación Pro Defensa Bandurria –Paraíso viene cuidando y defendiendo el Complejo Arqueológico Bandurria y el humedal El Paraíso desde el 2016, mediante el turismo sostenible y la educación ambiental; asimismo, trabajan con las asociaciones de artesanos de junco, capacitándolos y sensibilizando en temas ambientales, como; el cuidado del humedal, protección de la flora y fauna de la zona, creando grupos de vigilancia para el complejo y el humedal, levantamiento de cercas, creando senderos, entre otras cosas. Por medio de estas acciones busca que la población empiece a tomar conciencia sobre el adecuado cuidado que se debe de tener con este ecosistema frágil, y a darle la importancia correspondiente. Estas buenas prácticas generan un impacto positivo, pero una gran desventaja para esta asociación es el gran tamaño de humedal por lo que solo este apoyo está enfocado en la laguna norte. Por ende, se podría decir que la laguna norte es la menos afectada por el impacto antrópico de los visitantes a diferencia de la laguna sur. Esta última laguna, por estar cerca a la playa el paraíso recibe visitas casi a diario sobre todo en verano y es usada por los bañistas; por ello, se puede deducir que es la laguna con mayor impacto antrópico.

4.4.Relación entre crecimiento urbano y la presencia de vegetación el humedal El Paraíso en las últimas dos décadas

Generalmente, los procesos de urbanización generan la reducción de los espacios naturales; sin embargo, de acuerdo con la visualización de las imágenes satelitales en estudio, si bien el terreno ocupado por viviendas se ha incrementado hacia el área del humedal, la cobertura vegetal del humedal se ha incrementado en las últimas dos décadas, como se verifica a través de los resultados de la correlación de Pearson que muestran una fuerte relación positiva entre ambas variables, esto se debería a las diferentes condiciones de cada entorno. En el humedal El Paraíso se ha identificado el aporte de aguas residuales por infiltración puesto que la población no cuenta con el servicio de desagüe, por lo que vierten sus aguas residuales directamente al suelo: además, recibe filtraciones agrícolas del canal de irrigación Santa Rosa, a las cuales se debería el incremento de la superficie del humedal de acuerdo con el Instituto Geofísico del Perú (2021). Por otro lado, se conoce que la Asociación Pro Defensa

Bandurria – Paraíso realiza acciones para la protección del humedal, especialmente en el espejo de agua norte. En concordancia, Moschella (2012) determinó que el proceso de urbanización en el humedal de Puerto Viejo trajo como consecuencia la reducción del área y calidad del ecosistema, mientras que generó de manera indirecta el aumento de la superficie del humedal de Ventanilla y de sus servicios ecosistémicos, explicados por las infiltraciones de aguas residuales como principal el aporte hídrico del ecosistema y también debido a que los instrumentos de gestión en el humedal de Ventanilla evidenciaron estrategias para el uso sostenible de este ecosistema.

Por otro lado, se ha podido observar mayor presencia de organismos fitoplanctónicos en el agua a través del índice NDVI, principalmente en la laguna sur. Esto concuerda con los resultados de Díaz *et al.* (2018) en la laguna Paraíso, puesto que mencionaron que el cuerpo de agua se encontraba en condición de aguas turbias debido al desarrollo fitoplanctónico, incluso a pesar del limitado ingreso de luz solar, ya que el factor principal de este desarrollo sería el aporte de las sustancias orgánicas en descomposición.

Al contrario, en la laguna norte se pudo apreciar la disminución de la presencia de organismos fitoplanctónicos hacia los años 2015 (Figura 15) y 2020 (Figura 16); esto puede deberse a que, a pesar de las posibles fuentes de contaminación existentes, se mantendría su capacidad de depuración ya que es la laguna que recibe menor impacto antrópico directo. Similar situación encontró Pérez (2011) en su estudio sobre humedales de la Mancha Húmeda encontró cinco lagunas con presencia de eutrofización y dos lagunas no contaminadas pese a identificar aportes de aguas residuales para los siete cuerpos de agua.

Cabe mencionar también que las imágenes Google Earth permitieron observar coloración verde, que indicaría la presencia de organismos fitoplanctónicos, en el extremo norte del espejo de agua sur en los años 2002 (Figura 17) y 2010 (Figura 18), a diferencia de lo que se pudo visualizar con el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado; esto puede ser debido a la diferencia de tiempos y fuentes a los que corresponden las imágenes.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

- En cálculo del NDVI mostró que hubo crecimiento en la superficie ocupada por vegetación en el periodo 1990-2020, puesto que de un área aproximada total de 1846,34 ha pasó a ocupar 3073,27 ha. Según la digitalización del área ocupada por las viviendas en el periodo 2002-2020, se pudo determinar que la zona ha ido adquiriendo mayor consolidación en las viviendas, y en total se estimó que el área ocupada por viviendas se incrementó de 38,52 a 441,04 ha. Asimismo, la prueba de Pearson permitió determinar una relación fuertemente positiva ($r = 0,976$; $p = 0,024$) entre el crecimiento urbano y el incremento de la vegetación para el periodo estudiado.
- Las actividades antrópicas que influyen en la eutrofización de las lagunas del humedal el Paraíso son actividades domésticas, ganadería y agricultura. En cuanto a las actividades domésticas, los contaminantes identificados fueron las aguas servidas y los residuos sólidos. Esto se debe a que el centro poblado no cuenta con agua potable y alcantarillado, por lo que estos efluentes estarían causando el aporte de nutrientes en los cuerpos de agua del humedal; así como la inadecuada disposición de residuos sólidos, a través de los lixiviados. En cuanto a la extracción de especies vegetativas y la pesca, no se identificó su influencia en la eutrofización de las lagunas. La encuesta permitió conocer que la población considera al humedal como una fuente de recursos para generar trabajo, pero no mostró interés en la protección y conservación del ecosistema. Sin embargo, la Asociación Pro Defensa Bandurria- Paraíso, viene trabajando durante muchos años con la población y fomentando su participación en la protección de este medio. En esa misma línea, se pudo observar que la laguna sur recibe mayor impacto antrópico debido a que, a diferencia de la laguna norte, la primera no cuenta con protección de la comunidad y de otros actores como la Asociación Pro-Defensa Bandurria Paraíso.

- Los valores obtenidos para los parámetros fisicoquímicos evaluados, mostraron que la clorofila a, el fósforo total y el nitrógeno total fueron aquellos más críticos, los cuales están directamente asociados a la eutrofización, puesto que superaron los ECA en la primera campaña para el espejo de agua sur con un promedio de 0,01; 0,57 y 1,97 mg/L respectivamente, y en la segunda campaña en ambos espejos de agua con promedios de 0,025; 0,094 y 2,64 mg/L en la laguna norte y de 0,016; 0,087 y 2,50 mg/L en la laguna sur. Asimismo, las diferencias entre valores obtenidos para las lagunas indicaron mejores condiciones de calidad de agua en el espejo de agua norte tomando en cuenta los parámetros transparencia del agua, oxígeno disuelto, clorofila a, fósforo total y nitrógeno total, con concentraciones promedio de 0,83 y 0,14 m para DS; 8,62 y 9,22 mg/L para OD; 0,003 mg/L y 0,01 para Cl-a; 0,013 y 0,57 mg/L para PT; 1,00 y 1,97 mg/L para NT en las lagunas norte y sur respectivamente, durante la primera campaña; y con valores promedio de 0,41 y 0,15 m para DS; 10,41 y 8,68 mg/L para OD; 0,025 y 0,016 mg/L para Cl-a; 0,094 y 0,087 mg/L para PT; 2,64 y 2,50 mg/L para NT en las lagunas norte y sur respectivamente, durante la segunda campaña. Además, no se pudo establecer una relación clara entre las concentraciones de clorofila-a y de nutrientes en el agua.
- Finalmente, según el parámetro transparencia del agua, la laguna norte mantuvo el estado eutrófico en ambas campañas de muestreo, y la laguna sur presentó estado hipereutrófico en el periodo en estudio. Por otro lado, según el parámetro clorofila a, el espejo de agua norte pasó de estado mesotrófico a ligeramente eutrófico en el periodo de evaluación; mientras que el espejo de agua sur se mantuvo en estado ligeramente eutrófico. Además, según el parámetro fósforo total, la laguna norte cambió de estado mesotrófico a moderadamente eutrófico; mientras que la laguna sur pasó de estado hipereutrófico a moderadamente eutrófico.
- De acuerdo con el Índice de Estado Trófico de Carlson (CTSI), la laguna norte presentó estado mesotrófico ($CTSI_N = 48,12$) y la laguna sur presentó estado fuertemente eutrófico ($CTSI_S = 76,06$) en la primera campaña, mientras que el espejo de agua norte mostró estado medianamente eutrófico ($CTSI_N = 65,54$) y el espejo de agua sur mostró estado fuertemente eutrófico ($CTSI_S = 70,50$) en la segunda campaña.

- De manera general, se puede decir que los estados tróficos obtenidos indicaron la presencia de contaminantes y proliferación de algas en ambas lagunas, siendo la laguna sur la que presentó condiciones más críticas debido al estado hipereutrófico, determinado por los parámetros clorofila-a y fósforo total, que indica ausencia de vida acuática.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

- Se debe evitar e impedir el aporte de aguas residuales y de residuos sólidos al humedal, ya sea directamente o por filtraciones desde sitios aledaños. Es decir, se debe evitar el riego con aguas contaminadas y el arrastre de agua producido por el riego de cultivos donde se utilice agroquímicos.
- Es indispensable fomentar la creación de un sistema ecológico frente a la necesidad de una red de desagüe debido a que, en este tipo de ecosistema, aguas contaminadas en contacto con el suelo se infiltran en los canales subterráneos naturales y llegan a las lagunas incrementando la recepción de nutrientes.
- Se recomienda también realizar un reconocimiento total del humedal en campo, con el propósito de identificar fuentes puntuales de contaminación, el mismo que no se pudo realizar en la presente investigación debido a las restricciones sanitarias por el estado de emergencia.
- Se recomienda realizar estudios multitemporales más especializados para identificar los cambios en el estado de eutrofización del humedal y el crecimiento urbano; y así poder determinar con mayor exactitud si el crecimiento urbano afecta de manera positiva o negativa en los cambios de estado del humedal. Esta información es muy relevante para las autoridades, ya que con eso podrán tomar las medidas necesarias para la conservación del humedal y sus lagunas, y en un futuro no muy lejano categorizarla como un Área de Conservación Regional (ACR).

- Asimismo, es importante realizar análisis microbiológicos en los espejos de agua debido a que la población hace uso de los recursos del humedal tales como el agua, peces y especies vegetativas. La población, muchas veces por desconocimiento, consumen y/o comercializan los peces de la laguna norte y hacen uso del agua para lavar y/o consumir; provocando en un futuro no muy lejano problemas a su salud. Por ello, se recomienda realizar estos análisis de manera que las entidades competentes cuenten con información para una adecuada gestión en temas de salud pública.

REFERENCIAS

- Acción contra el Hambre. (s. f.). *Aguas negras: ¿qué son y cómo pueden tratarse?* <https://www.accioncontraelhambre.org/es/aguas-negras-que-son>
- Airahuacho, F. E., Cuellar, J. C., Romero, J. L., y Encarnación, N. F. (2020). Primer reporte de Anisakis spp. en peces de agua dulce en Huacho, Perú. *Revista de investigaciones veterinarias del Perú*, 30(4), 1662-1669. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i4.17151>
- Alagón, J. (2013). El significado de las diferencias significativas en estudios de mercado. *AMAI*, 35. <https://www.amai.org/revistaAMAI/35-2013/6.pdf>
- Alvarez, I., Lorenzo, M. N., y De Castro, M. (2012). Analysis of chlorophyll a concentration along the Galician coast: Seasonal variability and trends [Análisis de la concentración de clorofila a en la costa gallega: Variabilidad estacional y tendencias]. *ICES Journal of Marine Science*, 69(5), 728-738. <https://doi.org/10.1093/ICESJMS/FSS045>
- Alvarez, C. C. (2016). Determinación analítica de detergentes en las aguas de los Pantanos de Villa. [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Digital de Tesis y Trabajos de Investigación PUCP. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7570>
- Aguas negras: ¿qué son y cómo pueden tratarse? (s. f.). Acción contra el Hambre. <https://www.accioncontraelhambre.org/es/aguas-negras-que-son>
- Beltrán, J. E., y Rangel, J. O. (2013). Modelación del estado trófico del humedal de Jaboque, Bogotá D.C., Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 18(1), 149-164. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/34785>
- Berdugo, A., y Reales, G. (2016). *Análisis multiespectral de imágenes satelitales para evaluar variaciones espacio- temporales en la calidad del agua del embalse El Guájaro, Atlántico* [Tesis de Grado, Corporación Universidad de la Costa]. REDICUC - Repositorio CUC. <http://hdl.handle.net/11323/325>
- Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., y Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4). <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>

- Carlson, R., y Simpson, J. (1996). *A coordinator's guide to volunteer lake monitoring methods [Guía del coordinador para los métodos de monitoreo voluntario de lagos]*. NALMS. <https://www.nalms.org/product/a-coordinators-guide-to-volunteer-monitoring/>
- Castro, X. (2020). *Diagnóstico de las actividades antrópicas en humedales de la costa central del Perú*. [Trabajo de grado, Universidad Científica del Sur]. Repositorio Institucional – UCS. <https://doi.org/10.21142/tb.2020.1432>
- Cruz, Z. A. (2002). *Estado del estado de conservación de las Lagunas "El Paraíso", Provincia de Huaura, departamento de Lima, Perú* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional - UNALM <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1660>
- Cruz, Z., Angulo, F., Burger, H., y Borgesa, R. (2017). Evaluación de aves en la laguna El Paraíso, Lima, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 14(1), 139 - 144. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332007000200024&lng=es&nrm=iso
- D. S. N° 034-2004-AG. *Aprueban categorización de especies amenazadas de fauna silvestre y prohíben su caza, captura, tenencia, transporte o exportación con fines comerciales*. (22 de septiembre de 2004). <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-categorizacion-especies-amenazadas-fauna-silvestre-prohiben-caza>
- D. S. N° 004-2015-MINAM. *Aprueban la Estrategia Nacional de Humedales* (24 de enero de 2015). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/01/Anexo-Decreto-Supremo-N%C2%B0-004-2015-MINAM2.pdf>
- D. S. 019-2009-MINAM. *Aprueban el Reglamento de la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental* (25 de septiembre de 2009). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds-019-2009-minam-a.pdf>
- Díaz, A. C. y Sotomayor, L. F. (2013). *Evaluación de la eutrofización de la Laguna Conococha-Áncash a agosto de 2012* [Tesis de grado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. BIOREM https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/publications/Theses/Tesis_Diaz_y_Sotomayor_2013.pdf
- Díaz, J. J., García, M., y Gutierrez, J. (2015). *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura*

de precisión. [Tesis de maestría, Universidad Complutense de Madrid]. Repositorio Institucional de la UCM <https://eprints.ucm.es/id/eprint/31423/>

Díaz, H. B., Castillo, F. C., Honorio, Z. F., y Durand, M. A. (2018). Estimación de producción primaria, biomasa y productividad fitoplanctónica y su relación con algunas condiciones ambientales en la laguna “Paraíso”, Huacho - 2016. *Infinitum...*, 9(2). <https://doi.org/10.51431/infinitum.v8i1.464>

Diodato, S., Comoglio, L., Moretto, A., y Marcovecchio, J. (2018). Dinámica e impacto de la eutrofización por aportes urbanos en las cuencas hídricas y zona costera de la ciudad de Ushuaia, Tierra de Fuego. *Repositorio Institucional de la UNSAM*. <https://ri.unsam.edu.ar/handle/123456789/935>

Echeverría, F., Aguirre, N., Castaño, J. G., Valderrama, A. C., Peña, J. D., y Giudicec, C. (2007). Caracterización fisicoquímica y biológica de la bahía de Cartagena en la zona de Mamonal para la evaluación de pinturas antiincrustantes en condiciones estáticas. *Revista de la Facultad de Ingeniería*. <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/4183>

Escobedo, D. C. (2010). *Diagnóstico y descripción del proceso de eutrofización en las lagunas costeras del norte de Sinaloa*. [Tesis de doctorado, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas]. Repositorio Digital IPN. <http://repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/13506>

Flores, N. E. (2019). *Evaluación de las unidades de vegetación mediante sistemas de información geográfica y teledetección en Pantanos de Villa, Chorrillos - Lima* [Tesis de grado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio Institucional Digital UCSS. <https://hdl.handle.net/20.500.14095/706>

Fontúrbel, F. (2005). Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del Lago Titikaka (Bolivia). *Ecología Aplicada*, 4(1,2). <https://doi.org/10.21704/rea.v4i1-2.308>

Jiménez, A. (2000). Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. *Revista interdisciplinaria de gestión ambiental*, 2(23), 12 - 19. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2926089>

Gobierno Regional de Lima. (2017). *Boletín de Humedales Costeros de la Región Lima* [Boletín]. <http://siar.regionlima.gob.pe/documentos/boletin-humedales-costeros-region-lima>

- González, M. A., y Matamoros, H. (2018). Estudio de la calidad trófica del humedal Gualí-Tres Esquinas. *Revista de Escuela Colombiana de Ingeniería*. (110), 47-56. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/592>
- Guzmán, M. D. et al. (2021). *Los cambios en la expansión urbana y su relación con el estado trófico de Laguna Grande y Laguna Chica de San Pedro de la Paz en los últimos 30 años*. [Tesis de Grado, Universidad de Concepción]. Repositorio Bibliotecas UdeC. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/9241>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a ed.). McGRAW-HILL.
- Ita, D. C. (2017). *Capacidad de absorción de fosfato del Jacinto de agua Eichornia crassipes para la mejora de la calidad de las aguas de los Pantanos de Villa, Chorrillos, 2017*. [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional Digital UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/10352>
- Loayza, K., Castillejo, K., Mestas, R., y Quiliche, J. (2017). Estudio de la teledetección y caracterización fisicoquímica del humedal “El Cascajo”, Santa Rosa, Chancay-Lima, Perú. *INFINITUM*, 7(1), 52-58. <http://revistas.unjfsc.edu.pe/index.php/INFINITUM/article/view/61>
- López, M. L., y Madroñero, S. M. (2015). Estado Trófico de un lago tropical de alta montaña: caso laguna de La Cocha. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 21-42. <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1430>
- Manrique, E. (1999). Índice de vegetación. Aplicación del NDVI. (S. Castaño, y A. Quintanilla, Edits.) *VIII Congreso Nacional de Teledetección*. 217-219. <http://dns2.aet.org.es/congresos/viii/alb52.pdf>
- Mendoza España, M., Martinez, J., Moreira - Turcq, P., Bonnet, M., Espinoza Villar, R., Villagra de Gamundi, A. y Seyler, P. (2011). Monitoreo espacial y temporal del estado trófico de los lagos de planicies de inundación en la Amazonía central mediante sensores remotos. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, 5324- 5331.
- Minaya, R. (2016). *Parámetros físicos, químicos, microbiológicos, para determinar la calidad del agua en la Laguna Morococha, época de transición creciente- vaciante. Iquitos. Perú. 2016* [Tesis de grado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana] Repositorio UNAP. <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/UNAP/4690>

- Ministerio de Cultura. (s. f.). *Asociación Pro-Defensa Bandurria—Paraíso*. Congreso Nacional de Arqueología. <https://congresoarqueologia.cultura.gob.pe/vii/iniciativas/asociacion-pro-defensa-bandurria-paraiso>
- Molina Escamilla, E. (2021). Análisis de la configuración del sistema socio-ecológico de una comunidad de pescadores artesanales en la ciénaga de Malambo, Vereda Caimital Malambo-Atlántico. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/8376>
- Montoya, J. y Aguirre, N. (2010). Dinámica de la producción primaria fitoplanctónica en un lago tropical (ciénaga Escobillitas) a lo largo del pulso de inundación. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, 55, 76-89. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/14716/12867>
- Moreno, D. P., Quintero, J., y López, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería*. 3(78), 25-33. <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 Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/720>
- Moschella, P. (2012). *Variación y protección de Humedales Costeros frente a procesos de urbanización: Casos Ventanilla y Puerto Viejo*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Digital de Tesis y Trabajos de Investigación PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/4527>
- Muñoz, D., Rodríguez, M., y Romero, M. (2009). Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo y coberturas, en la microcuenca las minas, corregimiento de La Laguna, municipio de Pasto, departamento de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 26(01), 11-24. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/54>
- Muñoz, P. (2013). Apuntes de teledetección: Índices de vegetación. *CIREN*. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/26389>
- Obregón, N., y Arredondo, H. A. (2005). *Manual para el manejo y procesamiento de imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto MODIS de la NASA, aplicado en estudios de ingeniería civil* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10554/7050>
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. <https://volaya.github.io/libro-sig/>

- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Paredes, I. (2020). *Presiones antrópicas y eutrofización en la marisma de Doñana y sus cuencas vertientes* [Tesis de doctorado, Universidad de Sevilla]. <http://hdl.handle.net/10261/210576>
- Pérez, D. (2013). El Abanico del Pastaza en un vistazo: datos y cifras. *World Wildlife Fund [WWF]*. https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/pastaza_factsheet1.pdf
- Pérez, M. (2011). *Aplicaciones de la teledetección y SIG en la caracterización de humedales en la reserva de la biosfera de La Mancha húmeda* [Tesis de maestría, Universidad Complutense de Madrid]. <http://biblioteca.cehum.org/handle/123456789/213>
- Pérez, J., y Gardey, A. (2014). *Definición de índice*. <https://definicion.de/indice/>
- Pulido, V. (2010). Humedales de la Costa Peruana. ProNaturaleza. http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/humedales_de_la_costa_peruan_avf.pdf
- Pütz, P. (2008). Analítica de laboratorio y sistema de control de proceso de nutrientes fosfato. *Laboratorio Hach Lange*. https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/87050/fosfatos.pdf
- Quiñonez, A., y Hernandez, F. (2017). Uso de hábitat y estado de conservación de las aves en el Humedal El Paraíso, Lima, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 24(2), 175-186. <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v24i2.13494>
- Quirós, R., Boveri, M., Petracchi, C., Rennella, M., Rosso, J., Sosnovsky, A., y Von Bernard, H. (2006). Los efectos de la Agriculturización del Humedal Pampeano sobre la Eutrofización de las lagunas. Rocha, O., Tavares, K.S., Branco, M.C., Pamplin, P.A., Espíndola, E.L., Marchese, M.R., Tundisi, J.G., Matsumura-Tundisi, T., Galli, C., Rde, O.R., Castelo-Branco, M.D., Tundisi, T.M., y Galli, C. *Eutrofização na América do Sul: causas, conseqüências e tecnologias para gerenciamento e controle [Eutrofización en América del Sur: causas, consecuencias y tecnologías para la administración y control]*. 1-16. International Institute of Ecology. <https://www.agro.uba.ar/users/quiros/Eutrofizacion/Quirosetal2006EUTROSUL.pdf>

- Quiroz, R. L. (2019). *Evaluación de los estados tróficos de la laguna principal del Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo, Huaura – Lima* [Tesis de grado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio Institucional Digital UCSS. <http://repositorio.ucss.edu.pe/handle/UCSS/649>
- Ráez, E. (2019). La Amazonía peruana y el cambio climático. *MIOCICC*.
- RAPAL Uruguay. (2010). Contaminación y eutrofización. Impactos del modelo de agricultura industrial. *RAPAL Uruguay*. <https://www.virtualpro.co/biblioteca/contaminacion-y-eutrofizacion-del-agua-impactos-del-modelo-de-agricultura-industrial>
- Real Academia Española. (2021). Afloramiento. En *Diccionario de la lengua española* (23a ed.) [versión 23.5 en línea]. <https://dle.rae.es/afloramiento>
- Real Academia Española. (2021). Afluente. En *Diccionario de la lengua española* (23a ed.) [versión 23.5 en línea]. <https://dle.rae.es/afluente>
- Real Academia Española. (2021). Consolidar. En *Diccionario de la lengua española* (23a ed.) [versión 23.5 en línea]. <https://dle.rae.es/consolidar>
- Real Academia Española. (2021). Hipoxia. En *Diccionario de la lengua española* (23a ed.) [versión 23.5 en línea]. <https://dle.rae.es/hipoxia>
- Real Academia Española. (2021). Interpolar. En *Diccionario de la lengua española* (23a ed.) [versión 23.5 en línea]. <https://dle.rae.es/interpolar>
- Real Academia Española. (2021). Muestreo. En *Diccionario de la lengua española* (23a ed.) [versión 23.5 en línea]. <https://dle.rae.es/muestreo>
- Reddy, R. y DeLaune R. (2008). *Biogeochemistry of Wetlands. Science and Applications* [Bioquímica de los humedales. Ciencia y Aplicaciones]. CRC Press.
- R. J. N°010-2016-ANA. *Aprueban el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos Superficiales* (13 de enero de 2016). <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-protocolo-nacional-monitoreo-calidad-recursos-hidricos>

- Ruíz, B. B. (2008). *Impacto antrópico sobre los humedales El Paraíso, Medio Mundo y La Encantada, Huaura, Lima – Perú, 2007 – 2008* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Trujillo. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/5399>
- Saenz, N. (1992). Los sistemas de información geográfica (SIG) una herramienta poderosa para la toma de decisiones. *Ingeniería e investigación*, 31. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingevinv/article/view/20790>
- Salvador, F., y Cano, A. (2002). Lagunas y oconales: los humedales del trópico andino. *Cuadernos de biodiversidad*, (11), 4-9. <https://doi.org/10.14198/cdbio.2002.11.01>
- Sánchez, A. G., y Arguijo, S. (2018). Análisis de imágenes multiespectrales para la detección de cultivos y detección de plagas y enfermedades en la producción de café. *Research in Computing Science*, 147(7), 309-317. https://www.cicling.org/micai/res-local/2018_147_7/
- Sarría, F. A. (2006). SIG y Teledetección en la Universidad de Murcia. <https://www.um.es/geograf/sigmur/>
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (1971). *Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas*. https://ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current_convention_s.pdf
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2007). *Documento informativo de Ramsar no. 1: ¿Qué son los humedales?* <https://ramsar.org/sites/default/files/documents/library/info2007sp-01.pdf>
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2010). *El cuidado de los humedales*. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/wwd/10/wwd2010_aa_lea_flet_s.pdf
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2011). *Reposición de Aguas Subterráneas*. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/services_02_s.pdf
- Tello, E. F., Sifuentes, P. A., Resurrección, J. Z., Cabell, J. J., Sifuentes, A. P., Fabián, J., y Bustamante, Á. (2014). Caracterización de sedimentos de la laguna el paraíso, Huacho, región Lima. *INFINITUM*. <https://revistas.unjfsc.edu.pe/index.php/INFINITUM/article/view/408>

- Tito, Z. (2019). *Estimación del nivel de eutrofización mediante el índice de estado trófico y su impacto ambiental en aguas del Área Natural Protegida Pantanos de Villa – Chorrillos 2019* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/66666>
- Torres Espinoza, A. A., y Cruces López, F. C. (2022). *Variaciones estacionales de comunidades diatomológicas en humedales de Hualpén*. [Tesis de grado, Universidad de Concepción]. Repositorio Bibliotecas UdeC. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/9860>
- Úbeda, J. S., y Delgado, Y. (2018). La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales y materia orgánica que se utilizan en ellos para la agricultura. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 4(7), 889–896. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v4i7.6299>
- Vasquez, R. P. (2019). Nuevas amenazas sobre el humedal más grande y complejo del Perú, el Abanico del Pastaza. *Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (DAR)*. https://dar.org.pe/archivos/publicacion/articulo_amenazas_pastaza.pdf
- White, J. y Reddy, R. (2009). Biogeochemical Dynamics I: Nitrogen Cycling in Wetlands [Dinámicas biogeoquímicas I: Ciclo del Nitrógeno en Humedales]. Maltby, E. y Barker, T. (Eds.). *The Wetlands Handbook*. pp. 213-225. <https://doi.org/10.1002/9781444315813.ch9>

TERMINOLOGÍA

Afloramiento. Es el ascenso de un cuerpo hacia la superficie (Real Academia Española, 2021, definición 3).

Afluente. Es un arroyo o río secundario que desemboca en otro cuerpo de agua principal (Real Academia Española, 2021, definición 3).

Aguas negras. Son aguas cuya composición natural ha sido alterada por desechos de composición orgánica y química. También son conocidas como aguas residuales, aguas servidas o aguas cloacales (Acción contra el Hambre, s. f.).

Aguas residuales. Son aguas las cuales sus características han sido modificadas por las actividades humanas, convirtiéndolo en no aptas para el consumo humano (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2014).

Bandas espectrales. Son regiones del espectro electromagnético (Sarría, 2006).

Consolidación. Es el proceso por el cual un cuerpo adquiere mayor firmeza (Real Academia Española, 2021, definición 1).

Diferencia significativa. Estadísticamente, es cuando la diferencia de las estimaciones es mayor al rango esperado (Alagón, 2013).

Firma espectral. Gráfico que muestra la reflectividad de un cuerpo en tanto por ciento para cada longitud de onda (Sarría, 2006).

Hipoxia. Déficit de oxígeno en un organismo (Real Academia Española, 2021, definición 1).

Imágenes satelitales. Es la información obtenida en forma de píxeles mediante un sensor remoto (Obregón y Arredondo, 2005).

Índice. Es una expresión numérica de la relación entre dos cantidades o diferentes tipos de indicadores (Pérez y Gardey, 2014).

Infiltración. Es el proceso en el cual el agua circula a través del perfil del suelo de forma descendente, de la superficie hacia el interior del suelo (Úbeda y Delgado, 2018).

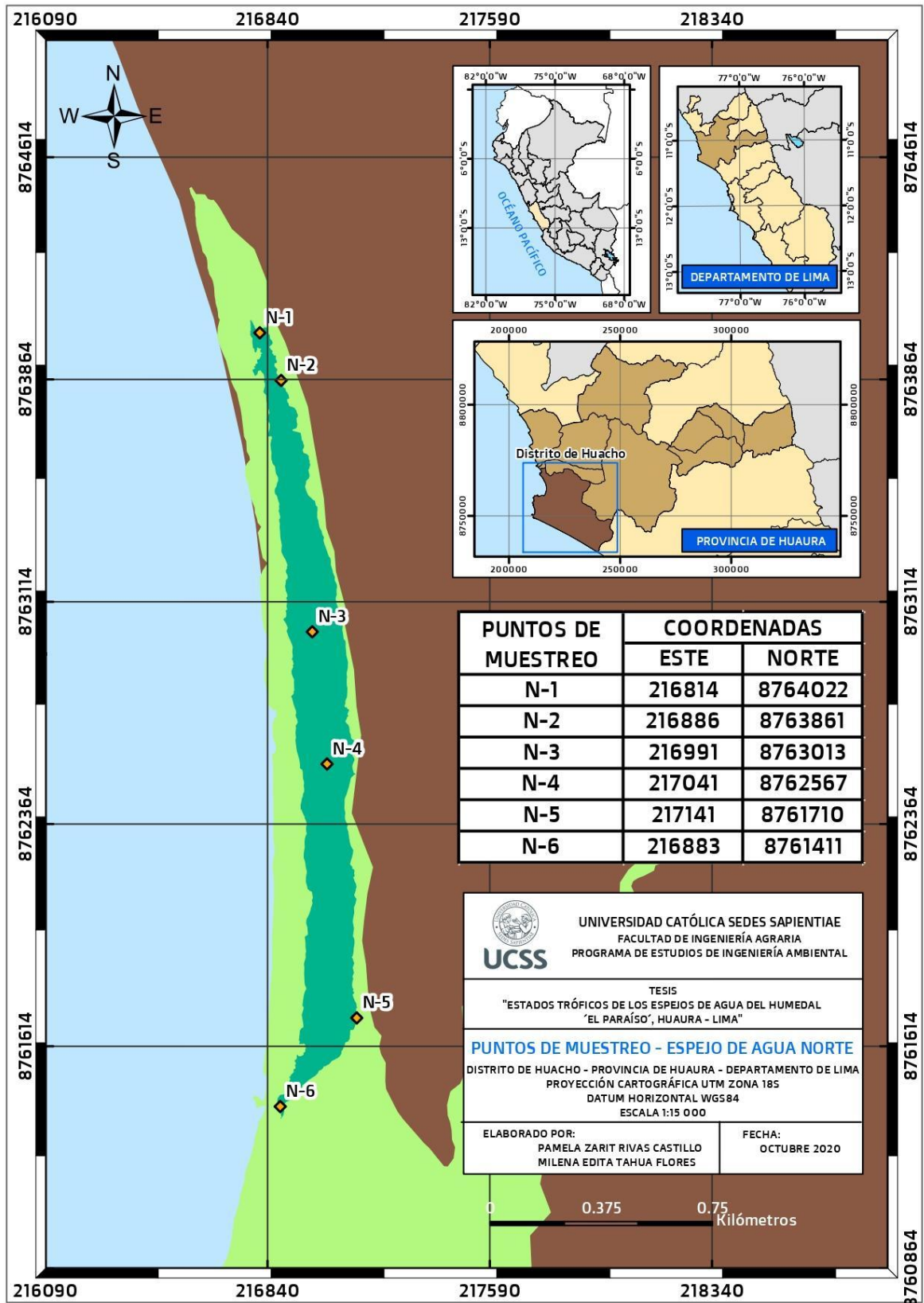
Interpolar. Consiste en el cálculo del valor de una magnitud a partir de otros valores conocidos y que son extremos a la magnitud (Real Academia Española, 2021, definición 4).

Muestreo. Es una técnica que consiste en recoger muestras representativas de calidad o condiciones de una población o conjunto de individuos (Real Academia Española, 2021, definición 1).

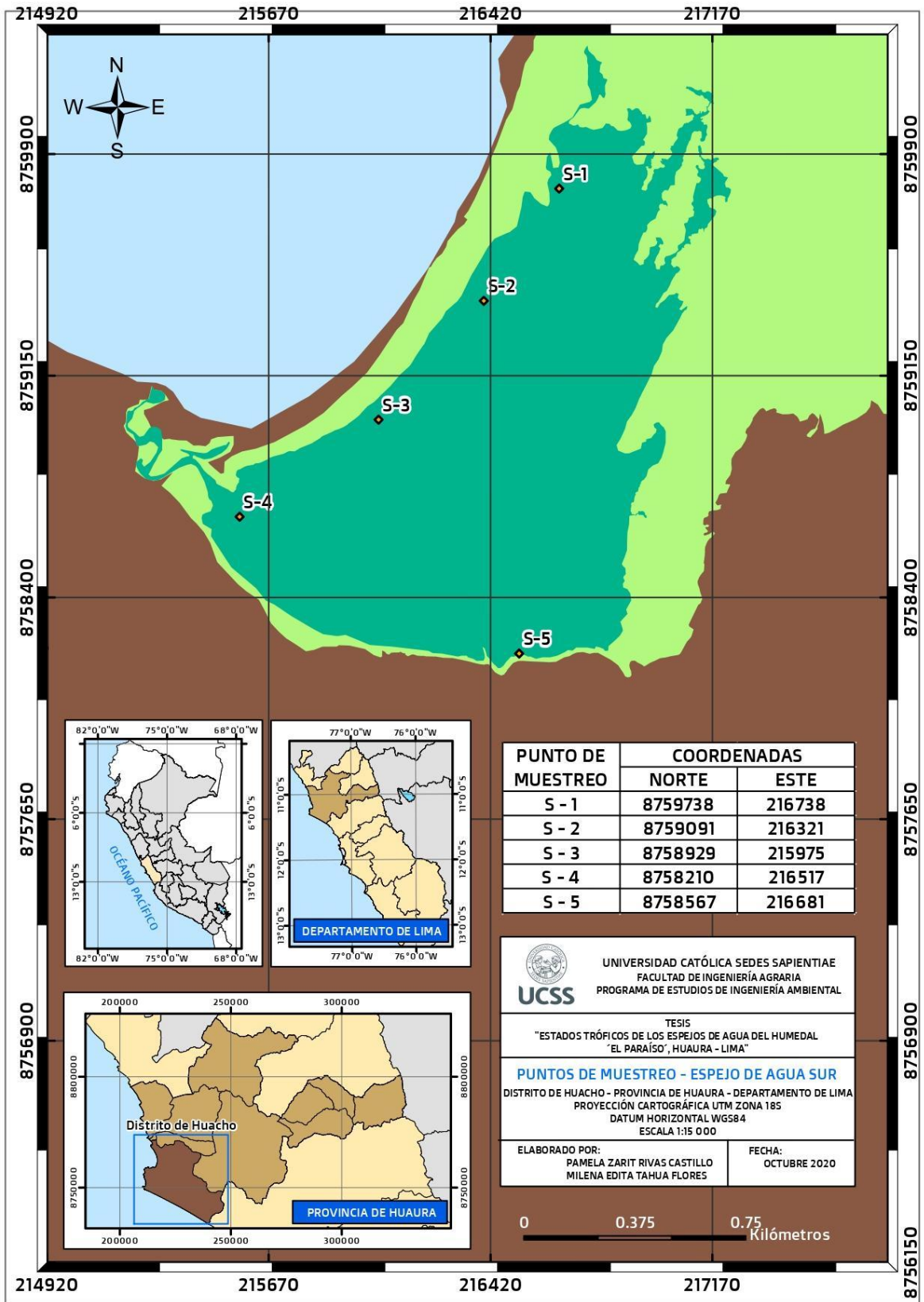
Nivel freático. Límite por debajo del cual el suelo y las rocas se encuentran completamente saturados por el agua (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2011).

APÉNDICES

Apéndice 1. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo en el espejo de agua norte



Apéndice 2. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo en el espejo de agua sur



Apéndice 3. Validación de la encuesta del primer experto



Facultad de Ingeniería Agraria
Programa de Estudios de Ingeniería Ambiental

FICHA DE OPINIÓN DE EXPERTO

I.- DATOS GENERALES DEL INSTRUMENTO

- 1.1. Título de la investigación: "Estados tróficos en los espejos de agua del Humedal El Paraíso, Huaura - Lima"
- 1.2. Nombre del instrumento de investigación: Encuesta de identificación de actividades antrópicas
- 1.3. Responsables de la investigación: Rivas Castillo, Pamela Zarit
Tahua Flores, Milena Edita

II.- DATOS DEL EXPERTO

- 2.1. Nombre y apellidos: Victoria Larco Aguilar
- 2.2. Título profesional: Ing. Agrónoma
- 2.3. Cargo en la institución donde labora: Directora de la filial Huaura: Huacho y Végueta
- 2.3. Grado académico: Mg. Sc.
- 2.4. Dirección: Huacho
Email: alarco@ucss.edu.pe
Teléfono móvil: 980462234

III.- ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Dimensión	Indicadores	% 0-20 Deficiente	% 21 - 40 Regular	% 41 - 60 Bueno	% 61 - 80 Muy bueno	% 81 - 100 Excelente
1. CLARIDAD	Formulado con lenguaje apropiado.				X	
2. OBJETIVIDAD	Expresado en conductas observables				X	
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia que dirige.					X
4. ORGANIZACIÓN	Tiene organización lógica					X
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad.				X	
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para el recojo de datos del estudio.					X
7. CONSISTENCIA	Basado en aspectos teóricos científicos.				X	
8. COHERENCIA	Presenta coherencia entre las dimensiones, indicadores y preguntas.				X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde a lo que se desea estudiar.					X
10. PERTINENCIA	Adecuado para el estudio.					X

PROMEDIO DE VALORIZACIÓN: MUY BUENO

OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno
----------	------	---------	-------	-----------

OBSERVACIONES:

.....

FIRMA

DNI N° 40438250

Lugar y fecha: Huacho, 02 de setiembre 2020

Apéndice 4. Validación de la encuesta del segundo experto



Facultad de Ingeniería Agraria
Programa de Estudios de Ingeniería Ambiental

FICHA DE OPINIÓN DE EXPERTO

I.- DATOS GENERALES DEL INSTRUMENTO

- 1.1. Título de la investigación: "Estados tróficos en los espejos de agua del Humedal El Paraíso. Huaura - Lima"
- 1.2. Nombre del instrumento de investigación: Encuesta de identificación de actividades antrópicas
- 1.3. Responsables de la investigación: Rivas Castillo, Pamela Zarit
Tahua Flores, Milena Edita

II.- DATOS DEL EXPERTO

- 2.1. Nombre y apellidos: JOSE VICTOR PUZ CANACE
- 2.2. Título profesional: ING. ZOOTECNISTA
- 2.3. Cargo en la institución donde labora: DOCENTE
- 2.3. Grado académico: M.G. Sc. NUTRICION ANIMAL
- 2.4. Dirección: LOS MORALES 389C. HUANAYO Email: jpuzc@ucss.edu.pe
Teléfono móvil: 951060111

III.- ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Dimensión	Indicadores	%				
		0-20 Deficiente	21-40 Regular	41-60 Bueno	61-80 Muy bueno	81-100 Excelente
1. CLARIDAD	Formulado con lenguaje apropiado.					95
2. OBJETIVIDAD	Expresado en conductas observables.					95
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia que dirige.					98
4. ORGANIZACIÓN	Tiene organización lógica.					90
5. SUFICIENCIA	Cumple los aspectos en cantidad y calidad.					95
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para el recojo de datos del estudio.					98
7. CONSISTENCIA	Basado en aspectos teóricos científicos.					95
8. COHERENCIA	Presenta coherencia entre las dimensiones, indicadores y preguntas.					95
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde a lo que se desea estudiar.					95
10. PERTINENCIA	Adecuado para el estudio.					95

PROMEDIO DE VALORIZACIÓN: 95

OPINIÓN DE APLICABILIDAD: Muy malo Malo Regular Bueno Muy bueno

OBSERVACIONES:

FIRMA

DNI N° 10.15.00.44

Lugar y fecha: Lima 11 de Setiembre del 2020

ENCUESTA DE OPINIÓN

CUESTIONARIO CONFIDENCIAL SOBRE HUMEDALES

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

1. DEPARTAMENTO	Lima
2. PROVINCIA	Huaura
3. DISTRITO	Huacho
4. CENTRO POBLADO	El Paraíso

Sexo: F ___ M ___ Edad: _____ Fecha: DD/MM/2021

Grado de Instrucción: _____

Título: **ESTADOS TRÓFICOS EN LOS ESPEJOS DE AGUA DEL HUMEDAL EL Paraíso, HUAURA – LIMA**

Responda o marque con una X la respuesta con la que se identifique, según corresponda.

1. ¿Desde qué año vive en el centro poblado “Paraíso”?

2. ¿A qué se dedica?

Agricultura

Extracción de especies vegetativas

Otros

Ganadería Extracción y/o crianza de peces u
otras especies Especifique: _____

a) Si trabaja en la **agricultura**, ¿cómo realiza el control de plagas?

b) Si trabaja en la **ganadería**, responda las siguientes preguntas:

• ¿Qué tipo de ganado cría?

Vacas Ovejas Cerdos Otros
Especifique: _____

• ¿Los lleva al humedal?

Sí No

• ¿Qué hace con las excretas de sus animales?

c) Si realiza la **extracción de las especies vegetativas**, responda las siguientes preguntas.

• ¿Qué tipo de especies vegetativas?

Totora Junco Carrizo Otros
Especifique: _____

• ¿Qué hace con estas especies?

Artesanía Esteras Otros
Especifique: _____

• ¿Para qué las extrae?

Uso propio Venta

d) Si realiza la **extracción y/o crianza de peces u otras especies**, responda las siguientes preguntas:

• ¿De qué laguna los extrae o en cuál cría los peces?

Norte

Sur

Otros

• ¿Qué tipo de peces extrae o cría?

Tilapia

Mojarrilla

Monengue

Otros

Lisa

Especifique: _____

• ¿Para qué los extrae?

Consumo

Venta

3. ¿Cuenta con el servicio de agua y desagüe?

Sí

No

Si su respuesta es no, ¿qué hace con el agua de sus actividades diarias como el lavado de ropa y/o alimentos, aseo personal?

4. ¿Qué tipo de baño tiene en su hogar?

Silo

Pozo ciego

Baño seco

Otros

Silo con arrastre hidráulico Especifique: _____

5. ¿Qué hace con los residuos sólidos (basura) generados en su hogar?

Camión recolector

Reciclador (Chatarrero)

Botaderos

Otros:

Especifique: _____

6. ¿Ha visitado el humedal con fines recreativos (nadar, pasear, etc.)?

Sí

No

7. ¿Qué actividades considera que se pueden realizar en el lugar (Ejemplos: turismo, extracción de junco, ¿etc.)?

8. ¿Sabe o ha visto a alguna persona o empresa contaminando el humedal?

Arrojando
residuos

Bañándose
en una
laguna

Lavando
ropa

Otros

Descargando aguas industriales
u otros

Especifique:

9. ¿Considera que el humedal debe ser protegido por el Gobierno Regional o por el Estado?
¿Por qué?

Apéndice 6. Certificado de calibración del multiparámetro



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO
POR EL ORGANISMO A2LA CON CERTIFICADO #6032.01
SEGÚN NTP-ISO/IEC 17025:2017



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFQA-0020-2021

Expediente : 00077

Página 1 de 2

Fecha de emisión : 2021-02-27

1 **Solicitante** : INSTITUTO CIENTÍFICO
SOSTENIBLE MINERO S.A.C.
Dirección : Z. I. Asoc. Parque Industrial El Asesor
Mza. J-Lt. 6 - Ate - Lima - Lima

2 **Instrumento calibrado** : **MULTIPARÁMETRO**

• **Marca** : HACH
• **Modelo** : HQ40d
• **Número de serie** : 150400018463
• **Serie del electrodo** : 131682561018
• **Identificación** : NO INDICA
• **Procedencia** : U.S.A.
• **Intervalo de medida** : 0,00 pH a 14,00 pH
• **Resolución** : 0,01 pH

3 **Lugar de calibración** : Laboratorio de Físicoquímica de ALAB

4 **Fecha de calibración** : 2021-02-17

5 **Método de calibración** :
La calibración se realizó por comparación con material de referencia certificado según el procedimiento PC-020 "Procedimiento para la calibración de medidores de pH". Segunda Edición. 2017. INACAL.

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

ALAB EIRL no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.

7. Trazabilidad

Se utilizó las soluciones tampones patrones de pH:

pH	N° Lote	Certificado de Análisis	Incertidumbres (pH)
4,008	CC655433	4280-10976852	0,011
6,994	CC631810	4281-10578064	0,011
10,013	CC632041	4282-10582508	0,011

y un termómetro patrón de código PTT-002, con Certificado de Calibración N° LT-091-2020

Oscar F. Vivanco Valerio
Jefe de Laboratorio de Metrología

Av. Guardia Chalaca N° 1877 Bellavista - Callao
Telf. 01-717 5802 / 01-7175803 / Cel. 961768828
www.alab.com.pe

Certificado de Calibración N° LFQA-0020-2021

Página 2 de 2

8. Condiciones de calibración

	Inicial	Final
Temperatura Ambiental	24,5 °C	25 °C
Humedad Relativa	59,0 %H.R.	62,0 %H.R.

9. Resultados

INDICACIÓN DEL PHMETRO (pH)	SOLUCIÓN TAMPÓN (BUFFER) PATRÓN (pH)	ERROR (pH)	INCERTIDUMBRE (pH)
4,46	4,008	0,452	0,014
7,59	6,994	0,596	0,014
10,67	10,013	0,657	0,014

- Valor de la solución tampón patrón = Indicación del pHmetro - Error
- Los resultados son emitidos para la temperatura de referencia de 25 °C
- La incertidumbre de la medición se da con un nivel de confianza aproximado del 95 % con un factor de cobertura $k = 2$.

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva en el instrumento con la indicación "CALIBRADO".
- El equipo no admitió ajuste antes de la calibración.

(FIN DEL DOCUMENTO)

Apéndice 7. Certificado de calibración conductímetro



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO
POR EL ORGANISMO A2LA CON CERTIFICADO #6032.01
SEGÚN NTP-ISO/IEC 17025:2017



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFQA - 0017 - 2021

Expediente : 00077
Fecha de emisión : 2021-02-27

Página 1 de 2

1. **Solicitante** : INSTITUTO CIENTÍFICO SOSTENIBLE MINERO S.A.C.
2. **Dirección** : Z.I. ASOC. PARQUE INDUSTRIAL EL ASESOR MZA.
J - LT. 6 - ATE - LIMA - LIMA
3. **Instrumento** : CONDUCTÍMETRO
 - Marca** : HACH
 - Modelo** : HQ40d
 - Serie** : 150400018463
 - Serie del electrodo** : 112642583015
 - Procedencia** : U.S.A.
 - Código de identificación** : NO INDICA
 - Intervalo de Indicación** : 10 µS/cm a 200 mS/cm
 - Resolución** : 0,1 µS/cm; 1 µS/cm; 0,01 mS/cm
4. **Lugar de calibración** : Laboratorio de Físico Química de ALAB E.I.R.L.
5. **Fecha de calibración** : 2021-02-17
6. **Método de calibración**
La calibración se realizó por comparación con material de referencia certificado según el procedimiento PC-022 "Procedimiento para la calibración de Conductímetros" Primera Edición. 2014. INDECOPI.
7. **Trazabilidad**

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

ALAB EIRL no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ALAB EIRL.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB EIRL.

Valor Certificado a 25 °C	N° de lote	Certificado de Análisis	Incertidumbre (k=2)
99,70 µS/cm	CC20442	4066-11681671	2,1 µS/cm
1412 µS/cm	CC20203	4173-11497708	4,6 µS/cm
9988,00 µS/cm	CC20400	4068-11639556	40 µS/cm

Código	Instrumento Patrón	Certificado de calibración
PTT-002	Termómetro digital de incertidumbre 0,022 °C a 0,034 °C	LT-091-2020

8. Condiciones de calibración

	Inicial	Final
Temperatura ambiental :	24,5 °C	25,0 °C
Humedad relativa :	59 % H.R.	62 % H.R.

Oscar F. Vivanco Valerio
Jefe de Laboratorio de Metrología

9. Resultados

Valor del Certificado	Lectura promedio del conductímetro	Error	Incertidumbre
99,70 $\mu\text{S/cm}$	98,1 $\mu\text{S/cm}$	-1,60 $\mu\text{S/cm}$	3,2 $\mu\text{S/cm}$
1412 $\mu\text{S/cm}$	1409 $\mu\text{S/cm}$	-3 $\mu\text{S/cm}$	5,6 $\mu\text{S/cm}$
9,988 mS/cm	10,41 mS/cm	0,422 mS/cm	40 $\mu\text{S/cm}$

Valor Certificado = Lectura del Conductímetro - Error

- Se colocó en el instrumento una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".
- Los resultados son emitidos para la temperatura de referencia de 25 °C .
- Las incertidumbres de medición expandidas reportadas son las incertidumbres de medición estándares multiplicadas por el factor de cobertura k=2 de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.

(FIN DEL DOCUMENTO)

Apéndice 8. Certificado de calibración de la sonda LDO



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFQ-0005-2021

Expediente : 00077

Fecha de emisión : 2021-02-27

Página 1 de 2

1. **Solicitante** : INSTITUTO CIENTÍFICO SOSTENIBLE MINERO S.A.C.
2. **Dirección** : Z.I. Asoc. Parque Industrial El Asesor Mza. J - Lt.6 - Ate - Lima - Lima
3. **Instrumento** : **SONDA LDO**
Marca / Fabricante : HACH
Modelo : HQ40d
Serie : 150400018463
Serie del electrodo : 132662597001
Procedencia : U.S.A
Código de identificación : NO INDICA
Intervalo de Indicación : 0 mg/L a 20 mg/L
Resolución : 0,01 mg/L
4. **Lugar de calibración** : Laboratorio de Físicoquímica de ALAB
5. **Fecha de calibración** : 2021-02-17
6. **Método de calibración**
Medición con solución oxígeno disuelto, basados SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210, 23rd. Ed. 2017
7. **Trazabilidad**
Solución de cero oxígeno

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

ALAB EIRL. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ALAB EIRL.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB EIRL.

Producto	Marca	N° Lote	Expiración
HI7040-1	Hanna Instruments	3163	2023-07
HI7040-2	Hanna Instruments	3222	2023-07

Código	Instrumento Patrón	Certificado de calibración
B-50-3	Bureta, marca WITEG	MV-1248-2019
EM-001	Balanza electrónica, marca Mettler Toledo	BD20-C-0610

8. **Condiciones de calibración**

	Inicial	Final
Temperatura ambiental	: 24,7 °C	24,3 °C
Humedad relativa	: 67 % H.R.	71,0 % H.R.

Oscar Félix Vivanco Valerio
Jefe de Laboratorio de Metrología

9. Resultados

Valor referencia (mg/L)	Lectura promedio del instrumento (mg/L)	Error promedio encontrado (mg/L)	Incertidumbre (mg/L)
0,000	0,05	0,05	0,12
7,820	7,74	-0,08	0,12

Valor de referencia = Lectura del Instrumento - Error

- Se colocó en el instrumento una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".
- La incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura $k=2$ de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.

(FIN DEL DOCUMENTO)

Apéndice 9. Resultados del análisis fisicoquímico del primer muestreo



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 144486 - 2020 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : FAJARDO VIDAL NARDA
DOMICILIO LEGAL : MZA. H LOTE 23 A.V. ROSARIO DEL NORTE- SAN MARTÍN DE PORRES - LIMA - LIMA
SOLICITADO POR : FAJARDO VIDAL NARDA
REFERENCIA : TESIS PREGRADO UCSS/ ESTADO TRÓFICO DEL HUMEDAL EL PARAÍSO/ PROGRAMA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL DE SAG
PROCEDENCIA : HUMEDAL EL PARAÍSO - HUÁCHO
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA : 2020-10-26/ 2020-11-02
FECHA(S) DE ANÁLISIS : 2020-10-26 AL 2020-11-07
FECHA(S) DE MUESTREO : 2020-10-25 Y 2020-11-01
MUESTREO POR : EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C	Unidades
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD)- 5-Day BOD Test.	2.00 ^(a)	mg/L
Clorofila A	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10200 H, 23rd Ed. 2017. Plankton. Chlorophyll.	3 / 0.003	mg/m ³ / mg/L
Fósforo Total (P)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P E, 23rd Ed. 2017. Phosphorus. Ascorbic Acid Method.	0.013	P mg/L
Nitrógeno total (NTK)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N _{org} -B, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Organic). Macro-Kjeldahl Method.	1.00	NH ₃ ⁺ -N mg/L

L.C.: límite de cuantificación.

(a) Expresado como límite de detección del método.

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
 Director Técnico
 C.Q.P. N° 648
 Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod. FI 002 / Versión 09 / EE.: 09/2020

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
 • Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 1 de 3



INFORME DE ENSAYO N° 144486 - 2020 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural
Fecha de muestreo	2020-10-25	2020-10-25	2020-10-25	2020-10-25
Hora de inicio de muestreo (h)	09:32	10:10	11:20	12:00
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada
Código del Cliente	N-1	N-2	N-3	N-4
Código del Laboratorio	20102998	20102999	20103000	20103001
Ensayo	Unidad	Resultados		
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	<2.00	<2.00	<2.00
Clorofila A	mg/m ³	<3	<3	<3
Clorofila A	mg/L	<0.003	<0.003	<0.003
Fósforo Total (P)	P mg/L	<0.013	<0.013	<0.013
Nitrógeno total (NTK)	NH ₃ ⁺ -N mg/L	1.29	1.22	<1.00

Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural
Fecha de muestreo	2020-10-25	2020-10-25	2020-10-25
Hora de inicio de muestreo (h)	13:30	13:10	14:25
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada
Código del Cliente	N-5	N-6	P-1
Código del Laboratorio	20103002	20103003	20103004
Ensayo	Unidad	Resultados	
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	<2.00	<2.00
Clorofila A	mg/m ³	<3	<3
Clorofila A	mg/L	<0.003	<0.003
Fósforo Total (P)	P mg/L	<0.013	<0.013
Nitrógeno total (NTK)	NH ₃ ⁺ -N mg/L	<1.00	<1.00

**Resultados de campo proporcionados por el cliente				
Parámetro	Unidades	N-1	N-2	N-3
		20102998	20102999	20103000
**Temperatura	unid. pH	20.8	20.9	21.5
**pH	unid. pH	7.80	7.77	8.60
**Oxígeno Disuelto	mg/L	6.37	7.19	10.29
**Conductividad	mS/cm	7.47	7.39	7.79
		20103002	20103003	20103004
**Temperatura	unid. pH	23.5	23.3	23.5
**pH	unid. pH	6.97	7.48	7.29
**Oxígeno Disuelto	mg/L	9.90	8.18	2.27
**Conductividad	mS/cm	6.97	6.62	5.23

**Resultados proporcionados por el cliente, no forman parte del alcance de la acreditación INACAL-DA

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
 Director Técnico
 C.O.P. N° 648

EXPERTS
 WORKING
 FOR YOU

Cod. FI 002 / Versión 09/FE.: 09/2020

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea autorizado por Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de preservación del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
 • Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 2 de 3



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE - 047



Registro N° LE - 047

INFORME DE ENSAYO N° 144486 - 2020 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural
Fecha de muestreo	2020-11-01	2020-11-01	2020-11-01	2020-11-01
Hora de inicio de muestreo (h)	11:43	13:15	14:46	15:40
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada
Código del Cliente	S-1	S-2	S-3	S-4
Código del Laboratorio	20110088	20110089	20110090	20110091
Ensayo	Unidad	Resultados		
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	<2.00	<2.00	<2.00
Clorofila A	mg/m ³	13	9	6
Clorofila A	mg/L	0.013	0.009	0.006
Fósforo Total (P)	P mg/L	<0.013	0.694	1.2
Nitrógeno total (NTK)	NH ₃ ⁺ -N mg/L	1.22	1.87	1.85

Producto declarado	Agua Superficial	
Matriz analizada	Agua Natural	
Fecha de muestreo	2020-11-01	
Hora de inicio de muestreo (h)	16:15	
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	
Código del Cliente	S-5	
Código del Laboratorio	20110092	
Ensayo	Unidad	Resultados
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	<2.00
Clorofila A	mg/m ³	14
Clorofila A	mg/L	0.014
Fósforo Total (P)	P mg/L	0.266
Nitrógeno total (NTK)	NH ₃ ⁺ -N mg/L	2.51

**Resultados de campo proporcionados por el cliente					
Parámetro	Unidades	S-1	S-2	S-3	S-4
		20110088	20110089	20110090	20110091
**Temperatura	unid. pH	23.0	23.2	25.2	24.1
**pH	unid. pH	8.54	8.44	8.46	8.28
**Oxígeno Disuelto	mg/L	9.64	9.13	10.09	8.66
**Conductividad	mS/cm	8.06	10.76	10.62	12.30
Parámetro	Unidades	S-5			
		20110092			
**Temperatura	unid. pH	23.8			
**pH	unid. pH	8.43			
**Oxígeno Disuelto	mg/L	8.59			
**Conductividad	mS/cm	10.96			

**Resultados proporcionados por el cliente, no forman parte del alcance de la acreditación INACAL-DA

Lima, 18 de Noviembre del 2020.

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
Director Técnico

O.Q.P. N° 648

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod. FI 002 / Versión 09 / F.E.: 09/2020

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea por escrito de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al protocolo de preservación del organismo acreditado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

Página 3 de 3

Apéndice 10. Resultados del análisis fisicoquímico del segundo muestreo



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 150892- 2021 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : BLGA. NARDA FAJARDO VIDAL
DOMICILIO LEGAL : MZA. H LOTE 23 A.V. ROSARIO DEL NORTE- SAN MARTÍN DE PORRES- LIMA- LIMA
SOLICITADO POR : BLGA. NARDA FAJARDO VIDAL
REFERENCIA : TESIS DE PREGRADO UCSS/ESTADOS TRÓFICOS HUMEDAL EL PARAÍSO
PROCEDENCIA : HUMEDAL "EL PARAÍSO" - HUACHO
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2021-03-07
FECHA(S) DE ANÁLISIS : 2021-03-07 AL 2021-03-19
FECHA(S) DE MUESTREO : 2021-03-05/ 06
MUESTREADO POR : EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Clorofila A	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10200 H, 23rd Ed. 2017. Plankton. Chlorophyll.	3 / 0.003	mg/m ³ / mg/L
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.	2.00 ^(a)	mg/L
Fósforo Total o fósforo (P)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part:4500-P E, 23rd Ed. 2017. Phosphorus. Ascorbic Acid Method.	0.013	P mg/L
Nitrógeno total (NTK)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N _{org} -B, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Organic). Macro-Kjeldahl Method.	1.00	NH ₃ ⁺ -N mg/L

L.C.: Límite de cuantificación.

(a) Expresado como límite de detección del método.

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	
Fecha de muestreo	2021-03-05	2021-03-05	2021-03-05	2021-03-05	
Hora de inicio de muestreo (h)	10:21	11:50	13:05	14:19	
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	
Código del Cliente	S-1	S-2	S-3	S-4	
Código del Laboratorio	21030513	21030514	21030515	21030516	
Ensayos	Unidades	Resultados			
Clorofila A	mg/m ³	7	18	8	13
Clorofila A	mg/L	0.007	0.018	0.008	0.013
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	8.30	5.95	8.10	11.90
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	0.068	0.070	0.052	0.077
Nitrógeno total (NTK)	NH ₃ ⁺ -N mg/L	<1.00	2.31	2.24	3.24

**Resultados de campo proporcionados por el cliente					
Parámetro	Unidades	S-1 21030513	S-2 21030514	S-3 21030515	S-4 21030516
**pH	unid. pH	8.79	8.58	8.74	8.61
**Temperatura	°C	31.0	30.4	32.3	32.1
**Conductividad	dS/cm	7	25	15	15
**Conductividad	mS/cm	9.86	12.41	12.17	14.20
**Oxígeno Disuelto	mg/L	9.65	8.61	7.96	8.40

**Resultados proporcionados por el cliente, no forman parte del alcance de la acreditación INACAL-DA.

Ing. Mahiu Tello Paucar
 Director Técnico
 C.I.F. N° 219624

EXPERTS WORKING FOR YOU

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
 • Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 1 de 2



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 150892- 2021 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural
Fecha de muestreo	2021-03-05	2021-03-06	2021-03-06	2021-03-06
Hora de inicio de muestreo (h)	15:12	09:48	10:25	11:36
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada
Código del Cliente	S-5	N-1	N-2	N-3
Código del Laboratorio	21030517	21030518	21030519	21030520
Ensayos	Unidades	Resultados		
Clorofila A	mg/m ³	35	54	<3
Clorofila A	mg/L	0.035	0.054	<0.003
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	14.20	36.90	8.85
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	0.167	0.025	0.036
Nitrógeno total (NTK)	NH ₃ -N mg/L	3.71	1.23	1.41
Nitrógeno total (NTK)	NH ₃ -N mg/L	3.71	1.23	1.41

Producto declarado	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural
Fecha de muestreo	2021-03-06	2021-03-06	2021-03-06	2021-03-06
Hora de inicio de muestreo (h)	12:20	13:55	13:27	14:28
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada
Código del Cliente	N-4	N-5	N-6	P-1
Código del Laboratorio	21030521	21030522	21030523	21030524
Ensayos	Unidades	Resultados		
Clorofila A	mg/m ³	12	<3	60
Clorofila A	mg/L	0.012	<0.003	0.060
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	36.03	29.85	71.10
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	0.101	0.087	0.197
Nitrógeno total (NTK)	NH ₃ -N mg/L	2.09	6.10	3.07

****Resultados de campo proporcionados por el cliente**

Parámetro	Unidades	S-5	N-1	N-2	N-3
**pH	unid. pH	7.86	8.47	8.91	9.58
**Temperatura	°C	31.2	26.6	26.8	26.5
**Conductividad	dS/cm	15	60	46	53
**Conductividad	mS/cm	12.98	10.04	9.74	9.66
**Oxígeno Disuelto	mg/L	8.79	5.53	6.37	9.30

Parámetro	Unidades	N-4	N-5	N-6	P-1
**pH	unid. pH	9.54	8.89	8.25	7.61
**Temperatura	°C	32.8	29.8	29.3	25.3
**Conductividad	dS/cm	60	30	36	36
**Conductividad	mS/cm	8.95	8.04	7.72	9.64
**Oxígeno Disuelto	mg/L	10.93	10.88	11.56	10.25

**Resultados proporcionados por el cliente, no forman parte del alcance de la acreditación INACAL-DA.

Lima, 22 de Marzo del 2021.

Cod. FI 002 / Versión 09/ F.E.: 09/2020

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de percepción del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima • Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

EXPERTS WORKING FOR YOU

Apéndice 11. Cadena de custodia del primer muestreo

SAG S.A.C.
CADENA DE CUSTODIA DE MONITOREO - DE AGUAS Y SUELOS
 FR - 005
 Versión: 06
 F.E: 12/2019

Cliente: Bлга Nando Fajardo Vidal
 Lugar: Humedal "El Paraiso"
 Carta/Cotización: _____
 Contacto: 989677385
 Empresa: "Tejas de Preguato"
 Planta: _____
 E-mail: stallo-fs@tejas.com
 Telef.(s): 989677385
 Proyecto: Estado Inicial del Humedal "El Paraiso"

PUNTO DE MUESTREO o CÓDIGO DEL CLIENTE	MUESTREO		TIPO DE MATRIZ	PARAMETROS IN SITU			ANÁLISIS DE LABORATORIO				N° Informe	CÓDIGO DE LABORATORIO	DATOS ADICIONALES
	FECHA	HORA		T (°C)	pH	OD (mg/L)	COND (m x mg)	DBO5	Clorofila a	Clorofila b			
N-1	25/10/20	9:32	A Superficial	20.8	7.8	6.31	7.27	✓	✓	✓	✓		
N-2	25/10/20	10:10	A Superficial	20.9	7.77	7.17	7.37	✓	✓	✓	✓		
N-3	25/10/20	11:20	A Superficial	21.5	8.6	10.27	7.77	✓	✓	✓	✓		
N-4	25/10/20	12:00	A Superficial	22.6	8.59	9.76	7.12	✓	✓	✓	✓		
N-5	25/10/20	13:30	A Superficial	23.5	6.97	7.90	6.77	✓	✓	✓	✓		
N-6	25/10/20	13:10	A Superficial	23.37	4.8	6.8	6.42	✓	✓	✓	✓		
P-1	25/10/20	14:25	A Superficial	23.57	2.92	7.2	5.23	✓	✓	✓	✓		

Observaciones de Muestreo: _____

Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable del muestreo: Bлга Nando Fajardo Vidal y Tejas Firma(s): [Firma] Recibido en laboratorio: CA
 Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable o Supervisor en campo: _____ Firma(s): _____ Día/Hora: 17:00

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES
RECIBIDO
 26 OCT 2020
 RECEPCIÓN DE MUESTRAS
 SAG

SAG S.A.C.
CADENA DE CUSTODIA DE MONITOREO - DE AGUAS Y SUELOS
 FR - 005
 Versión: 06
 F.E: 12/2019

Cliente: Bлга Nando Fajardo Vidal
 Lugar: Humedal "El Paraiso"
 Carta/Cotización: _____
 Contacto: 989677385
 Empresa: Responsabilidad Social de SAG
 Planta: _____
 E-mail: stallo-fs@tejas.com
 Telef.(s): 989677385
 Proyecto: Estado Inicial del Humedal "El Paraiso"

PUNTO DE MUESTREO o CÓDIGO DEL CLIENTE	MUESTREO		TIPO DE MATRIZ	PARAMETROS IN SITU			ANÁLISIS DE LABORATORIO				N° Informe	CÓDIGO DE LABORATORIO	DATOS ADICIONALES
	FECHA	HORA		T (°C)	pH	OD (mg/L)	COND (m x mg)	DBO5	Clorofila a	Clorofila b			
S-1	01/11/2020	11:43	Agua superficial	8.54	23.09	10.8	8.24	✓	✓	✓	✓		
S-2	01/11/2020	13:15	Agua superficial	8.44	23.29	13.10	10.76	✓	✓	✓	✓		
S-3	01/11/2020	14:46	Agua superficial	8.46	23.20	09.10	10.40	✓	✓	✓	✓		
S-4	01/11/2020	15:40	Agua superficial	8.20	24.18	11.0	10.20	✓	✓	✓	✓		
S-5	01/11/2020	16:15	Agua superficial	8.43	23.83	10.76		✓	✓	✓	✓		

Observaciones de Muestreo: _____

Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable del muestreo: Bлга Nando Fajardo Vidal y Tejas Firma(s): [Firma] Recibido en laboratorio: CA
 Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable o Supervisor en campo: _____ Firma(s): _____ Día/Hora: 17:15

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES
RECIBIDO
 02 NOV 2020
 RECEPCIÓN DE MUESTRAS
 SAG

Apéndice 12. Cadena de custodia del segundo muestreo

101 - 001
 Versión: 08
 F.E. 11/2019
 Página: 01

CADENA DE CUSTODIA DE MONITOREO - DE AGUAS Y SUELOS

Cliente: Blga. Narda Fajardo Vidal Contacto: 984 677 385 E-mail: stella.fajardo@eltelef.com Telef: 984 677 385
 Lugar: Humedal "El Paraíso" - Huancayo Empresa: Responsabilidad Social de SAG Planta: Proyecto: Tesis doctoral UNMSM/Remoción de plomo/Proy. de Responsabilidad Social SAG

Carta/Cotización: MUESTREADO POR SAG MUESTREADO POR CLIENTE

PUNTO DE MUESTREO O CÓDIGO DEL CLIENTE	MUESTREO			PARAMETROS IN SITU			ANÁLISIS DE LABORATORIO			N° Informe
	FECHA	HORA	TIPO DE MATRIZ	PH	Temperatura (°C)	Metals Hogares por ICP-MS/AA				
S-1	05/03/2021	10:21	Agua superficial	8.79	31.0	✓				
S-2	05/03/2021	11:50	Agua superficial	8.58	30.4	✓				
S-3	05/03/2021	13:05	Agua superficial	8.74	32.3	✓				
S-4	05/03/2021	14:19	Agua superficial	8.81	32.1	✓				
S-5	05/03/2021	15:12	Agua superficial	7.86	31.2	✓				
N-1	06/03/2021	09:40	Agua superficial	8.47	28.6	✓				
N-2	06/03/2021	10:25	Agua superficial	8.41	26.8	✓				
N-3	06/03/2021	11:36	Agua superficial	9.58	26.5	✓				
N-4	06/03/2021	12:20	Agua superficial	9.54	32.8	✓				
N-5	06/03/2021	13:55	Agua superficial	8.89	29.5	✓				
N-6	06/03/2021	13:27	Agua superficial	8.24	24.3	✓				
P-1	06/03/2021	14:28	Agua superficial	7.67	25.3	✓				

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES
RECIBIDO
 07 MAR 2021
 RECEPCIÓN DE MUESTRAS
 SAG

Observaciones de Muestreo: _____

Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable del muestreo: Blga. Narda Fajardo Vidal Firma(s): [Firma] Recibido en laboratorio: MM
 Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable o Supervisor en campo: _____ Firma(s): _____ Día/hora: 07.02

Apéndice 13. Oficio de permiso de investigación del Gobierno Regional de Lima



GOBIERNO REGIONAL DE LIMA

Doc.: 2369074
Exp.: 1542222

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades Para Mujeres y Hombres"
"Año de la Universalización de la Salud"

Huacho, 09 de julio de 2020

OFICIO N° 234-2020-GRL-GRRNGMA

Señora:

MONICA BEAUMONT VALDEZ

COORDINADORA GENERAL DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE

Presente. -

ASUNTO: SOBRE PERMISO PARA REALIZAR EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EN EL HUMEDAL EL PARAISO, HUAURA – LIMA

REF.: OFICIO N° 144-2020-UCSS/FIA-DI (doc. 2363817; exp. 1542222)

De mi especial consideración:

Tengo el agrado de dirigirme a ustedes para saludarlas cordialmente a nombre del Gobierno Regional de Lima a través de la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente y, a la vez manifestarle que se ha tomado conocimiento del desarrollo del proyecto de investigación "Estados tróficos en los espejos de agua del humedal El Paraiso, Huaura - Lima".

En ese sentido, indicar que dicha actividad no contraviene las disposiciones emitidas mediante Ordenanza Regional N° 006-2005-CR-RL y Ordenanza Regional N° 005-2010-CR-GRL; además se espera tengan a bien remitir una copia de los resultados de su investigación a efectos de difundirlo en la plataforma Sistema de Información Ambiental Regional de Lima <http://siar.regionlima.gob.pe/>

Por ello, se recomienda tramitar el otorgamiento de autorizaciones, permisos y otros, que por la normatividad vigente son de competencia de la autoridad nacional o sectorial como la Autoridad Nacional del Agua o el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre.

Sin otro particular, reciban las muestras de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,


GOBIERNO REGIONAL DE LIMA
Blga. KARINA PATRICIA TAKAHASHI SANTOS
GERENTE REGIONAL DE RECURSOS NATURALES
Y GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

KTPS/ekcm

www.regionlima.gob.pe

Teléfono: 414-5538 / Correo: tramitegrmgma@regionlima.gob.pe
Dirección: Av. Circunvalación S/N - Agua Dulce/ Huacho

Apéndice 14. Cartas de presentación para salidas de campo



Facultad de Ingeniería Agraria

Lima, 12 de febrero de 2021

CARTA DE PRESENTACIÓN A QUIEN CORRESPONDA

Es grato dirigimos a usted para manifestarle que, como parte del desarrollo de la tesis de grado, para obtener el título de Ingeniero Ambiental, es necesario realizar trabajo de campo durante el mes de marzo de 2021. Con tal fin se requiere la movilización desde Lima hasta Huacho, a fin de acceder al área de estudio que es el Humedal de Paraíso. En ese sentido, me permito presentarles a los siguientes investigadores quienes están conformados por la asesora, los tesisistas y el conductor oficial:

ASESORA DE TESIS

Nombres y apellidos : Narda Stella Fajardo Vidal
DNI : 40013789
Especialidad : Magister en Biología

TESISTAS

Nombres y apellidos : Milena Edita Tahua Flores
DNI : 76724930
Especialidad : Ingeniería Ambiental

Nombres y apellidos : Pamela Zarit Rivas Castillo
DNI : 74974268
Especialidad : Ingeniería Ambiental

Nombres y apellidos : Yancarlos Jhoel Llanos Santos
DNI : 63390583
Especialidad : Ingeniería Ambiental

CONDUCTOR

Nombres y apellidos : Jerry Arana
DNI : 42541058

Con el fin de que les brinden las facilidades para movilizarse en el tiempo mencionado.

Agradecemos la atención que nos brinde a la presente, todo el equipo cumplirá estrictamente los protocolos de seguridad COVID, para realizar el trabajo de campo.

Atentamente,

Wilfredo Mendoza Caballero
Jefe
Departamento de Investigación de la Facultad de
Ingeniería Agraria de la Universidad Católica Sedes
Sapientiae

Lima, 23 de octubre de 2020

CARTA DE PRESENTACIÓN A QUIEN CORRESPONDA

Es grato dirigirnos a usted para manifestarle que, como parte del desarrollo de la tesis de grado, para obtener el título de Ingeniero Ambiental, es necesaria realizar dos salidas de campo, la primera salida será el 24, 25 y la segunda salida el 31 de octubre y 01 de noviembre del 2020. Con tal fin se requiere la movilización desde Lima hasta Huacho, a fin de acceder al área de estudio que es el Humedal de Paraiso. En ese sentido, me permito presentarle a los siguientes investigadores quienes está conformado por la asesora, los tesisistas y el conductor oficial:

ASESORA DE TESIS

Nombres y apellidos : Narda Stella Fajardo Vidal
DNI : 40013789
Especialidad : Magister en Ciencias Ambientales con Mención en Gestión y Control de la Contaminación

TESISTAS

Nombres y apellidos : Milena Edita Tahua Flores
DNI : 76724930
Especialidad : Ingeniería Ambiental
Nombres y apellidos : Pamela Zarit Rivas Castillo
DNI : 74974268
Especialidad : Ingeniería Ambiental
Nombres y apellidos : Yancarlos Jhoel Llanos Santos
DNI : 63390583
Especialidad : Ingeniería Ambiental

CONDUCTOR

Nombres y apellidos : Jerry Omar Arana Maestre
DNI : 42541058

Con el fin de que les brinden las facilidades para movilizarse en los días mencionados.

Agradecemos la atención que nos brinde a la presente, todo el equipo cumplirá estrictamente los protocolos de seguridad COVID, para realizar el trabajo de campo.

Atentamente,



Wilfredo Mendoza Caballero
Jefe
Departamento de Investigación de la Facultad
de Ingeniería Agraria de la Universidad
Católica Sedes Sapientiae
www.ucss.edu.pe

Apéndice 15. Midiendo la transparencia del agua con la ayuda del disco de Secchi en la laguna norte



Apéndice 16. Usando el multiparámetro para la medición de parámetros *in situ*



Apéndice 17. Recogiendo muestras de agua con la ayuda del brazo muestreador



Apéndice 18. Coloración verde en laguna sur



Apéndice 19. Recogiendo muestras de agua en la laguna sur



Apéndice 20. Vista panorámica de la laguna sur

