



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental.

“Aplicación de la teledetección espectral usando Sentinel 2
para el monitoreo fisicoquímico del agua de la laguna de Conache
– 2025”

Tesis para optar al título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Autores:

Mostacero Yopez Noemi Mostacero

Mendez Torres Carlos Daniel

Asesor:

Mg. Elvar Renato Miñano

Código ORCID

0000-0002-4039-2825

Trujillo- Perú

2025

JURADO EVALUADOR

| | |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Jurado 1 Presidente(a) | IRMA GERALDA HORNA HERNANDEZ |
| | Nombre y Apellidos |

| | |
|----------|------------------------------------|
| Jurado 2 | HANIEL JOSUE TORRES JOAQUIN |
| | Nombre y Apellidos |

| | |
|----------|-----------------------------------|
| Jurado 3 | MAGDA ROSA VELASQUEZ MARIN |
| | Nombre y Apellidos |

INFORME DE SIMILITUD



Página 2 of 95 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3298042909




18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 9 palabras)

Fuentes principales

- 16%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 8%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
5 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Página 2 of 95 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3298042909

DEDICATORIA

Dedico esta tesis, fruto de esfuerzo, perseverancia y muchas horas de dedicación, a Dios, por ser mi guía constante y darme la fortaleza necesaria en los momentos más difíciles de este camino.

A nuestros padres, por ser el fundamento de mis sueños. Gracias por su amor incondicional, por su confianza en mí y por enseñarme con su ejemplo que todo se puede lograr con trabajo, paciencia y fe.

A mis docentes y, en especial, a mi asesor, por compartir su conocimiento, por su orientación y por motivarme a mirar más allá del aula, hacia los verdaderos retos que enfrenta nuestro planeta.

Y, finalmente, dedico este trabajo a todas aquellas personas que cuidan la Tierra, ese entorno natural que me inspira a seguir formándome como ingeniera ambiental, con la firme convicción de contribuir a su cuidado, protección y recuperación. Porque cada paso que damos con responsabilidad y conciencia puede marcar una diferencia real en nuestro mundo.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, le doy gracias a Dios por siempre estar conmigo y no abandonarme en mis peores momentos y por darme la fortaleza de culminar esta etapa de mi carrera. También agradezco a mis padres, a mi mamá Marithza y a mi papá Juan por ser el pilar de mi futuro y por acompañarme en este camino. De igual forma, agradezco a mis profesores y a mi asesor, por su guía constante y valioso apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

Carlos Daniel Méndez Torres

Agradezco en primer lugar a Dios, y con todo mi corazón a mis padres, a mi papá Humberto y a mi mamá Neida, por el amor y el apoyo incondicional que siempre me han brindado. Su constante aliento, su fe en mí y su presencia en cada paso han sido fundamentales en este camino. Gracias por creer en mis sueños y por estar siempre a mi lado.

Merly Noemi Mostacero Yopez

Tabla de contenidos

| | |
|--|----|
| JURADO EVALUADOR..... | 2 |
| INFORME DE SIMILITUD..... | 3 |
| DEDICATORIA | 4 |
| AGRADECIMIENTO | 5 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 7 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 8 |
| RESUMEN | 10 |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN..... | 11 |
| CAPÍTULO II: METODOLOGÍA | 30 |
| CAPÍTULO III: RESULTADOS..... | 42 |
| CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES..... | 64 |
| ANEXOS | 77 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-----------------|--|----|
| Tabla 1. | Comparación de la Longitud de onda de las Bandas de Landsat 8 y Sentinel 2 para nuestra investigación..... | 22 |
| Tabla 2. | Ubicación de los puntos de muestreo. | 33 |
| Tabla 3. | Equipos de muestreo y laboratorio. | 38 |
| Tabla 4. | Resultados de muestreo en campo de 5 puntos de monitoreo. | 43 |
| Tabla 5. | Matriz de correlación. | 45 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Ubicación de la Muestra. | 32 |
| Figura 2. Diagrama de flujo. | 37 |
| Figura 3. Primer Monitoreo Satelital de pH de la Laguna de Conache. | 46 |
| Figura 4. Segundo Monitoreo Satelital de pH de la Laguna de Conache | 47 |
| Figura 5. Primer Monitoreo Satelital de Solidos Totales de la Laguna de Conache .. | 48 |
| Figura 6. Segundo Monitoreo Satelital de Solidos Totales de la Laguna de Conache | 49 |
| Figura 7. Primer Monitoreo Satelital de Temperatura de la Laguna de Conache..... | 50 |
| Figura 8. Segundo Monitoreo Satelital de Temperatura de la Laguna de Conache.... | 51 |
| Figura 9. Primer Monitoreo Satelital de Turbidez de la Laguna de Conache..... | 52 |
| Figura 10. Segundo Monitoreo Satelital de Turbidez de la Laguna de Conache..... | 53 |
| Figura 11. Contraste del Primer Monitoreo de pH obtenido en campo Vs análisis multiespectral..... | 54 |
| Figura 12. Contrastación del Segundo Monitoreo de pH obtenido de campo Vs análisis multiespectral..... | 55 |
| Figura 13. Contraste del Primer Monitoreo de Solidos Totales obtenido de campo Vs análisis multiespectral..... | 56 |
| Figura 14. Contraste del Segundo Monitoreo de Solidos Totales obtenido de campo Vs análisis multiespectral..... | 57 |
| Figura 15. Contraste del Primer Monitoreo de Temperatura obtenido de campo Vs análisis multiespectral..... | 59 |
| Figura 16. Contraste del Segundo Monitoreo de Temperatura obtenido de campo Vs análisis multiespectral..... | 60 |
| Figura 17. Contraste del Primer Monitoreo de Turbidez obtenido de campo Vs análisis multiespectral..... | 61 |
| Figura 18. Contraste del Segundo Monitoreo de Turbidez obtenido de campo Vs análisis multiespectral..... | 62 |

INDICE DE ECUACIONES

| | |
|---|----|
| Ecuación 1. <i>Formula de pH</i> | 39 |
| Ecuación 2. <i>Formula de Temperatura</i> | 39 |
| Ecuación 3. <i>Formula de Turbidez (NTU)</i> | 39 |
| Ecuación 4. <i>Formula Solidos suspendidos Totales (SST)</i> | 39 |

RESUMEN

El agua es un elemento muy fundamental para la vida de las personas y su calidad es un indicador muy importante para la gestión ambiental. En los últimos años, el uso de imágenes satelitales ha demostrado ser una alternativa eficiente para complementar los métodos tradicionales de muestreo en campo. En por ello, que la presente investigación tuvo como objetivo general evaluar la precisión del monitoreo fisicoquímico del agua de la laguna de Conache mediante la aplicación de teledetección espectral usando Sentinel - 2. Para ello, se realizó un muestreo al azar en 5 puntos para monitorear en campo y un modelamiento matemático usando las bandas de Sentinel 2 (B1 ,B2, B3, B4, B5 y B12) para la predicción de los parámetros fisicoquímicos como el pH , Turbidez, Solidos Suspendidos Totales y Temperatura. Asimismo, se aplicó un análisis de correlación para identificar la relación entre las bandas espectrales y los parámetros medidos in situ. Los resultados mostraron altas correlaciones en el caso del pH con las bandas B2 (0.9343), B3 (0.8644) y B4 (0.8414), la Temperatura de manera moderada con la banda B12 (0.5320), la Turbidez con B1 (0.3113) y los Sólidos suspendidos totales (SST) se relacionan más débilmente con la banda B5 (0.1044) lo que explica su presencia en las ecuaciones. Las imágenes Sentinel-2 permiten estimar con buena precisión algunos parámetros fisicoquímicos del agua, especialmente aquellos que afectan directamente la reflectancia, lo cual posiciona a la teledetección como una herramienta útil, económica para el monitoreo ambiental de cuerpos acuáticos como la laguna de Conache.

PALABRAS CLAVES: Monitoreo del agua, Teledetección espectral, Sentinel-2, Cuerpos de agua, Parámetros fisicoquímicos.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento crucial para la supervivencia y progreso de las comunidades humanas, jugando un rol fundamental en la preservación de los ecosistemas, las operaciones de agricultura, industria y el bienestar de las personas. No obstante, los cuerpos hídricos a nivel mundial se encuentran con retos en aumento debido a la contaminación, la explotación excesiva y las consecuencias del cambio climático. Estos desafíos se manifiestan en la disminución de la biodiversidad, la modificación de los ciclos ecológicos, la reducción de la calidad y disponibilidad de agua para las generaciones actuales y futuras. Por lo cual, la teledetección espectral ha emergido como una herramienta fundamental para el monitoreo ambiental, permitiendo la obtención de datos precisos y en tiempo real de diversas variables que impactan los ecosistemas acuáticos particularmente en la gestión y conservación de cuerpos de agua esenciales para el bienestar humano y la biodiversidad, permitiendo evaluar el estado fisicoquímico de los recursos hídricos (Tesfaye, 2024)

A nivel global, los cuerpos de agua dulce enfrentan una creciente amenaza debido a la contaminación, el cambio climático, la sobreexplotación y la urbanización. Según las Naciones Unidas (2018), más del 80% de las aguas residuales a nivel mundial se vierten sin tratar en los cuerpos de agua, lo que genera serias consecuencias para la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos.

En Europa, el uso de la teledetección ha sido ampliamente adoptado como una herramienta clave para la gestión de los recursos hídricos. Los satélites Sentinel son capaces de medir la calidad del agua en cuerpos de agua como lagos, ríos y costas,

evaluando parámetros fisicoquímicos como la concentración de clorofila, turbidez, temperatura y nutrientes. En países como Francia, Alemania y los Países Bajos, la teledetección ha demostrado ser una herramienta eficaz para el monitoreo de la calidad del agua, apoyando la toma de decisiones en tiempo real para prevenir la contaminación y gestionar los recursos hídricos de manera más eficiente. (Kościuk k. & Firek , 2024)

En Asia, países como China y la India enfrentan una grave crisis relacionada con la calidad del agua. En China, se estima que el 70% de los recursos hídricos superficiales están contaminados, y la contaminación del agua se ha convertido en un tema de salud pública. India también enfrenta desafíos similares, con el 70% de sus fuentes de agua contaminadas, según el informe de la Fundación del Agua de India. En ambos países, el uso de la teledetección se está implementando en diversas áreas, desde la identificación de fuentes de contaminación hasta la evaluación del impacto de actividades agrícolas sobre la calidad del agua. (WORLD ECONOMIC FORUM, 2019).

En América del Norte, Estados Unidos y Canadá también han implementado tecnologías avanzadas de monitoreo, utilizando satélites para estudiar cuerpos de agua tanto en áreas urbanas como rurales. Según el informe de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), más de 40% de los ríos y lagos del país presentan niveles de contaminación que superan los límites establecidos para diversos parámetros fisicoquímicos. La teledetección ha permitido a las autoridades estadounidenses identificar áreas críticas de contaminación y planificar intervenciones para restaurar la salud de estos ecosistemas.

En América Latina, países como Brasil y México han comenzado a utilizar la teledetección espectral para abordar problemas relacionados con la calidad del agua, aunque el uso de estas tecnologías aún está en sus etapas iniciales. En Brasil, el monitoreo de la calidad del agua en la Amazonía ha sido de particular interés debido a la importancia ecológica de la región. En México, la Comisión Nacional del Agua ha implementado el uso de satélites para controlar la calidad del agua en cuencas de gran relevancia, como el Valle de México, donde la presión sobre los recursos hídricos es alta debido a la densidad poblacional y la actividad industrial. (Environmental Protection Agency [EPA] , 2018).

El Perú, enfrenta una realidad problemática en la gestión de sus recursos hídricos. A pesar de ser uno de los países con mayor riqueza hídrica en América del Sur, enfrenta desafíos significativos, como la contaminación por actividades industriales, agrícolas y domésticas, el crecimiento desordenado de zonas urbanas y la falta de sistemas robustos de monitoreo y control. La laguna de Conache, ubicada en el departamento de La Libertad, ilustra estas problemáticas. Este cuerpo de agua no solo posee un valor ecológico, sino también económico y recreativo, siendo un importante atractivo turístico en la región. Sin embargo, en los últimos años, ha evidenciado problemas como la acumulación de residuos, el cambio en sus propiedades fisicoquímicas y la presión ejercida por actividades humanas no reguladas (Guzman, 2016).

En respuesta a la problemática de la contaminación y el deterioro de los recursos hídricos en la Laguna de Conache, este proyecto propone la aplicación de la teledetección espectral mediante el uso de satélites Sentinel para monitorear sus parámetros

fisicoquímicos. Este enfoque permitirá obtener información precisa y en tiempo real sobre variables críticas como el pH, oxígeno disuelto, turbidez, y concentraciones de nutrientes, las cuales son fundamentales para evaluar la calidad del agua.

En este estudio, se ha identificado como variable independiente las imágenes y datos espectrales capturados por Sentinel, que ofrecen un panorama detallado y continuo de las condiciones ambientales de la laguna. Por otro lado, la variable dependiente corresponde a los parámetros fisicoquímicos del agua, que reflejan la calidad y el estado del ecosistema. La relación entre estas variables se basa en cómo los datos espectrales obtenidos de los satélites pueden ser interpretados y transformados en indicadores clave que ayuden a identificar cambios en la calidad del agua, ya sea por procesos naturales o por la influencia de actividades humanas.

En este contexto, la variable dependiente (calidad fisicoquímica del agua) es el elemento que buscamos comprender y mejorar, mientras que la variable independiente (teledetección espectral) actúa como la herramienta que utilizamos para capturar y analizar dicha información. Este enfoque tiene el potencial de optimizar los procesos de monitoreo, reduciendo costos y permitiendo intervenciones oportunas para la conservación de este importante recurso hídrico.

La presente investigación se enmarca en la línea de investigación de Tecnologías Emergentes, así mismo en la sublínea Ciencias y Tecnologías Ambientales. Este estudio se sumerge en el estudio de la aplicación de la teledetección espectral usando Sentinel 2 para el monitoreo fisicoquímico del agua de la laguna de Conache – 2025 donde examina en detalle la viabilidad y los resultados de la aplicación de la teledetección como

estrategia de monitoreo. Con la problemática expuesta se formula la siguiente pregunta
¿Cómo puede la aplicación de la teledetección espectral mediante satélites Sentinel
optimizar el monitoreo y la gestión de la calidad fisicoquímica del agua en la Laguna de
Conache?

Ramírez, et al, (2021) en su estudio de la concentración de clorofila-a en la
superficie de la bahía de Sechura usando datos imágenes de Landsat 8, se realizó la
implementación de los algoritmos OC2 y OC3 para estimar la Concentración de
Clorofila-a (CCA) superficial a partir de datos imágenes del sensor OLI a bordo del
satélite Landsat 8. Se aplicó la metodología de corrección atmosférica LaSRC (Landsat 8
Surface Reflectance Code) con mediciones in situ de la reflectancia de la superficie del
agua registrada con un espectro radiómetro en la superficie del área del cultivo de concha
de abanico de la bahía de Sechura. Finalmente se obtuvieron resultados que el coeficiente
de correlación lineal de $R = 95.1\%$ y un error cuadrático medio $RMSE = 0.0095$. También
se hizo un contraste de histogramas de la distribución espacial de la CCA estimadas de
los algoritmos OC2 y OC3 sobre una región del área de estudio.

Laceiras, et al, (2021) en su estudio tuvo como objetivo encontrar los estudios
adecuados para realizar una RSL cuantitativa, sobre Detección de calidad de agua
mediante imágenes obtenidas a través de teledetección satelital. Finalmente dando como
resultado un conocimiento de la terminología básica utilizada, y los aspectos relevantes
sobre la calidad del agua y su relación con algas tóxicas, micro plásticos y sólidos en
suspensión.

Xu, et al, (2021) En su estudio tuvo como objetivo validar los Datos satelitales de la concentración de clorofila-a, temperatura superficial y coeficiente de atenuación difusa en el lago Titicaca. A partir de datos recolectados en treinta estaciones limnológicas del Lago Titicaca entre los días 19 y 23 de julio 2016, se validó los parámetros satelitales de la Clorofila-a (Chl-a), su Temperatura Superficial del Lago (TSL) y Coeficiente de Atenuación Difusa (Kd490) de los sensores MODIS-Aqua (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) y VIIRS-NPP (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite). Dando como resultado que la zona eufótica en el lago mayor de acuerdo con imágenes de coeficiente de atenuación difusa se localizó a profundidad media de 19,109 m en

comparación a la registrada in situ de 20,071 m con el C-OPS (Compact-Optical Profiling System), con lo cual también se valida la información proporcionada por el sensor MODIS-Aqua.

De igual manera, está el estudio de Delegido et al, (2014) que tuvo como objetivo la Validación con imágenes HICO, donde la concentración de clorofila-a es uno de los principales indicadores de la calidad de las aguas continentales. Se trabajó a partir de imágenes del sensor CHRIS/PROBA y de datos obtenidos en campañas de medida en lagos en Colombia y España. En resultados se dio a conocer los modelos basados en índices de bandas espectrales, se han validado con datos del sensor hiperespectral HICO, a bordo de la Estación Espacial Internacional.

Seguidamente tenemos el estudio de Martínez (2017) en su artículo tuvo como objetivo estudiar en los últimos años los nuevos satélites, como el Sentinel-2 y el Landsat-8, con mejor instrumentación, resolución y frecuencia de observación. Para ello se han utilizado las imágenes multiespectrales proporcionadas por los satélites, analizando las bandas que están relacionadas con el espectro de reflectancia de la masa de agua que es característico de la presencia de clorofila. Dando como resultados que los satélites proporcionan gran observación de la tierra de la ESA, los Sentinel-2, detectan procesos de eutrofización de masas de agua en la tierra.

Por otro lado, un estudio elaborado por Bucheli, et al, (2021) En su estudio tuvo como objetivo monitorear la calidad del agua mediante clorofila-a aplicando imágenes satelitales en el Humedal Ramsar, lago Guamués con tecnologías alternativas de bajo costo, teniendo como metodología la correlación entre clorofila-a (Cl-a) in situ y niveles de reflectancia extraída del análisis de imágenes satelitales. Como resultado presentó la correlación en la combinación de bandas b2, b3, b4, b5 y b7 y se evidenció la variación espacial de Cl-a, así como valores altos en los años 2018 y 2020.

De igual manera, está el estudio de Portal, et al, (2021) En su estudio tuvo como objetivo teledetectar espectralmente los parámetros fisicoquímicos del agua de la laguna San Nicolás, utilizando así una metodología aplicada a lo tecnológico, cuasi experimental, longitudinal, correlacional, con procedimientos espectrales en gabinete y de contrastación en campo, utilizando técnicas espectrales y de monitoreo puntual de cuerpos de agua. Como resultados se calcularon parámetros fisicoquímicos del agua, obteniéndose valores

de pH, OD, turbidez y temperatura; la precisión de los datos y el margen de error que se presenta en resultados es menor a medida que sea menor el tamaño de pixel.

Seguidamente, tenemos un estudio realizado por Toming, et al (2016). En su estudio tuvo como objetivo probar la idoneidad de los datos del generador de imágenes multispectrales Sentinel-2 (MSI) para mapear diferentes parámetros de calidad del agua de los lagos. Los datos in situ de clorofila, color del agua, materia orgánica disuelta coloreada y carbono orgánico disuelto (DOC) se compararon con algoritmos de relación de bandas derivados de imágenes de nivel 1C de Sentinel-2 y de nivel 2^a. Sin embargo, en resultados la corrección atmosférica redujo la correlación entre los algoritmos de relación de bandas y los parámetros de calidad del agua, lo que indica la necesidad de una mejor corrección atmosférica.

De igual manera, está el estudio de Merchán (2018). En su estudio tuvo como objetivo determinar la variación espacial y temporal de la distribución de concentración de clorofila-a y de la condición trófica de dos ecosistemas acuáticos. También se generaron modelos de regresión a partir de la reflectancia de las diferentes bandas del espectro electromagnético. Los resultados indicaron que, para la ciénaga de Ayapel se presentó buena correlación entre variables ($r^2=0,563$), derivado de un modelo de regresión múltiple (para la combinación de bandas: b3, b2, y b5/b4).

Por otro lado, está el método de Tenjo, et al (2014). En su estudio tuvo como objetivo generar el modelo de transferencia radiativa HydroLight, una extensa base de datos de reflectividades, simuladas a partir de un amplio rango de concentraciones de constituyentes ópticamente activos de los cuerpos de agua. Como metodología se tomó

datos simulados que se calcularon los índices de bandas espectrales de Landsat-8, a partir de los cuales se obtuvieron modelos de regresión para la estimación de la transparencia del agua y la concentración de clorofila-a. Dando como resultado la aplicación de estos modelos supone un avance en el estudio de la calidad de las aguas continentales, ya que la resolución espacial de Landsat-8 (<30 m).

De igual manera, está el estudio de Neyra (2023). En su estudio tuvo como objetivo Determinar tres parámetros de la calidad del agua de la laguna Cashibococha mediante el uso de imágenes satelitales. Los parámetros de calidad de agua evaluados fueron Sólidos Suspendidos Totales (SST), Transparencia (SD) y Clorofila-a (Chl-a). Las ecuaciones lineales SST se diseñaron con la banda multiespectral Landsat 9 - OL 2 B2, lo que resulta en R2 es 0.087, los valores SST varían de 11.60 mg/L a 26.50 mg/L. Por otro lado, los valores del parámetro de transparencia variaron de 0.44 a 0.60 m, las ecuaciones lineales se realizaron con la banda múltiple Landsat 9 - OL 2, que resultó en R2 fue 0.3401. El clorofila-parámetro-A usó la banda Multiespectral Landsat 9-OL 2 B2, lo que resultó en R2 fue de 0.1894, valores derivados de muestras de 0.042 a 0.069 mg/L. Finalmente, se pueden usar técnicas de medición remota para determinar la calidad del agua de la laguna de Cashibococha.

En su estudio, Torrez (2024) evaluó la calidad del agua del lago de agua utilizando satélites Sentinel-2 y Landsat-8. Desde agosto de 2021 hasta noviembre, se llevaron a cabo cuatro supervisiones para evaluar la conductividad eléctrica (CE), la turbidez, el pH y la clorofila. Los parámetros físicos y químicos se predijeron con regresión multidimensional. Los parámetros físicos y químicos se predijeron mediante regresión

multivariante. Sentinel-2 mostró correlaciones de moderadas a altas para el pH y la CE en noviembre, sobre todo en las bandas infrarrojas. Por otro lado, no se encontraron relaciones perceptibles entre la turbidez y la clorofila. El modelo de predicción empleado alcanzó un 69,5% para la CE y un 21,6% para el pH. Los resultados de Landsat-8 no fueron particularmente representativos. Por lo cual, Sentinel-2 se ha considerado el mejor sensor para el monitoreo predictivo.

En la investigación de Perdomo (2015). En su estudio se empleó imágenes satelitales del sensor satelital Landsat 7 se utilizaron para analizar la calidad del agua en el embalse de Neus. El estudio se centró en la correlación -física -parámetros químicos como el pH, el oxígeno disuelto, la temperatura, la alcalinidad y la transparencia, con datos reflexivos derivados del sensor 1, 2, 34 y 7. Los modelos mostraron una fuerte correlación, el pH se calculó con un coeficiente de regla R^2 de 0.868, usando la cinta 2, 3 y 4; El oxígeno disuelto alcanzó R^2 0.808 con cinta 2; La temperatura se modeló con R^2 0.765 usando cinta 7; Y la alcalinidad mostró R^2 0.892, utilizando la cinta 4. Estos modelos permiten y mapean la distribución espacial de estos parámetros en el embalse 2003 y 2015, que facilita el monitoreo ambiental a través del control remoto Sentinel.

La teoría que fundamenta esta investigación se basa en la utilización de la teledetección espectral como una herramienta innovadora para el monitoreo ambiental. En este contexto, “la teledetección permite obtener información detallada sobre las características fisicoquímicas de los cuerpos de agua a través del análisis de datos satelitales, proporcionando un método preciso, eficiente y de bajo costo para la evaluación y gestión de recursos hídricos” (Canal Ministerio de Agricultura y Pesca Uruguay, 2022).

La teledetección implica la obtención de información sobre objetos o superficies distantes. Como disciplina y ciencia geoespacial, la teledetección implica la detección y el control de características físicas en un área sin hacer contacto físico. Esto se logra mediante la teledetección, que involucra tecnología de sensores de aviones y satélites que toman muestras de la radiación electromagnética de la Tierra. (YellowScan, 2024)

El espectro electromagnético es una energía formada por diferentes tipos de ondas electromagnéticas que difieren en frecuencia, longitud de onda y energía asociada. Esto se puede determinar utilizando un espectroscopio, que proporciona datos para cada onda y luego permite clasificarlos. Estos distintos tipos de ondas electromagnéticas se ubican en lo que se llama espectro electromagnético, para organizarlas. (Manriquez y Torres 2010)

Tabla 1.

Comparación de la Longitud de onda de las Bandas de Landsat 8 y Sentinel 2 para nuestra investigación.

| LONGITUD DE ONDA (μm) | | |
|--|------------------|-------------------|
| BANDAS | LANDSAT 7 | SENTINEL 2 |
| BANDA 1-COASTAL AEROSOL | 0.43 - 0.45 | 0.433 |
| BANDA 2 - BLUE | 0.45 - 0.51 | 0.490 |
| BANDA 3 - GREEN | 0.53 - 0.59 | 0.560 |
| BANDA 4 - RED | 0.64 - 0.67 | 0.665 |
| BANDA 5 - NEAR INFRARED (NIR) | 0.85 - 0.88 | 0.705 |
| BANDA 6 - SWIR 1 | 1.57 - 1.65 | 0.740 |
| BANDA 7 - SWIR 2 | 2.11 - 2.29 | 0.783 |
| BANDA 8 - PANCHROMATIC | 0.50 - 0.68 | 0.842 |
| BANDA 9 - CIRRUS | 1.36 - 1.38 | 0.945 |
| BANDA 10 - THERMAL INFRARED TIRS 1 | 10.60 - 11.19 | 1.375 |
| BANDA 11 - TERMAL INFRARED TIRS 2 | 11.50 - 12.51 | 1.61 |
| BANDA 12 – SWIR 2 | -- | 2.19 |

Nota: La B7 de Landsat 8 es distinta a la de Sentinel 2 por lo cual se tuvo que cambiar por la B12 de Sentinel en nuestra investigación.

El satélite Sentinel-2 se utiliza para la observación de la Tierra dentro del programa Copernicus de la Comisión Europea. Proporciona imágenes de alta resolución en 13 bandas diferentes y puede monitorear una variedad de condiciones de la superficie, como vegetación, suelo, agua y áreas costeras. El satélite toma imágenes cada 10 días y pone los datos a disposición del público de forma gratuita, lo que lo convierte en una solución rentable para la observación de la Tierra y el procesamiento de imágenes con información espacial y temporal detallada. (Ing.Desarrollo,2019)

Landsat es un programa dirigido por la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) para adquirir imágenes satelitales de la Tierra para el seguimiento regular de varias partes de la superficie terrestre. Los últimos satélites de la constelación Landsat, Landsat 8 y 9, se pusieron en órbita el 11 de febrero de 2013 y el 27 de septiembre de 2021, respectivamente. Ambos sensores proporcionan imágenes con una resolución de 30 metros (visible, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta), 100 metros (térmica) y 15 metros (a todo color). Además de las bandas clásicas, el sensor OLI ofrece una banda adicional para detectar cirros en la atmósfera y otra banda para la observación costera. (Teledetección atmosférica, 2023)

Las imágenes satelitales se definen como la representación visual de la información compuesta por una matriz digital de puntos llamados píxeles capturados por un sensor montado en un satélite artificial que gira alrededor de la tierra. Estos sensores recogen la información reflejada por la superficie de la Tierra que luego es enviada de regreso a ésta y que pueda ser procesada convenientemente, entrega valiosa información sobre las

características de la zona representada. (La Comisión Nacional del Agua México [CONAGUA], 2025)

Los cuerpos de agua (ríos, lagos, lagunas, presas, mares, etc.) son elementos esenciales que pueden ser identificados y supervisados con gran exactitud mediante imágenes satelitales. En los cuerpos acuáticos, la reflectividad de estos, al igual que la vegetación y el suelo, fluctúa con la longitud de onda en función de las interacciones que se producen entre ellos y la radiación solar. La reflexión en los cuerpos acuáticos suele ser especular, dado que su superficie suele ser bastante uniforme, por lo que en las irregularidades superficiales su magnitud es inferior a la mayoría de las longitudes de onda. Cuando se altera la superficie, el fenómeno se traduce en un aumento de las irregularidades superficiales, lo que ocasiona una variación significativa en las propiedades de reflexión. (Peguero, 2016)

Los parámetros fisicoquímicos del agua, tales como la temperatura, turbidez, conductividad, pH, sólidos totales suspendidos y clorofila, son esenciales para valorar la calidad y condición de los organismos acuáticos. Estos parámetros ofrecen datos exhaustivos acerca de la esencia de las especies químicas en el agua y sus características físicas, aunque no desvelan de manera directa su impacto en la vida en el agua. Adicionalmente, los parámetros fisicoquímicos pueden ser supervisados a través de teledetección, empleando sensores remotos colocados en satélites o drones, que recogen datos espectrales de la superficie de la Tierra. Por ejemplo, tanto la turbidez como la concentración de clorofila influyen en la reflectancia del agua en determinadas bandas del espectro electromagnético, facilitando así la estimación de sus niveles. Así, la

teledetección se transforma en un instrumento eficiente para la vigilancia ambiental a gran escala, posibilitando una supervisión constante y no intrusiva de los ecosistemas acuáticos. (Ruiz, 2007)

Las mediciones convencionales del potencial de hidrógeno pueden representar la concentración de iones de hidrógeno en una forma simplificada utilizando el logaritmo de la inversa de la concentración de iones de hidrógeno, es decir, $0,00004 \text{ meq/l} = 40 \text{ neq/l}$, luego $\text{pH} = 7,40$. El pH juega un papel muy importante en innumerables procesos biotecnológicos, como la neutralización de residuos alimentarios. También tiene implicaciones importantes para la minería y el control de la contaminación (como la neutralización de residuos industriales). Además, el control del pH a veces muestra un comportamiento de fase no mínima y también el pH disminuye cuando se reduce el caudal de algunos reactivos mientras que el pH de otros reactivos también disminuye. (Amaya et al, 2004).

La temperatura afecta directamente las reacciones químicas y biológicas que ocurren durante el tratamiento de aguas residuales. Por un lado, afecta la velocidad de las reacciones químicas en general; las reacciones químicas ocurren más rápido a temperaturas más altas. Por otro lado, la temperatura también tiene un efecto directo sobre los microorganismos responsables de la biodegradación de los contaminantes en las aguas residuales. A temperaturas más altas se aceleran los procesos biológicos, como la descomposición de la materia orgánica por parte de las bacterias. Si la temperatura del agua residual es demasiado alta, será perjudicial para los microorganismos e inhibirá su actividad. Además, las bajas temperaturas pueden ralentizar o incluso detener la actividad microbiana. (Oakley y Salguero, 2011)

La turbidez es un indicador básico del agua, de vital relevancia para la salud, dado que muestra una aproximación del contenido de sustancias coloidales, minerales u orgánicas, lo que puede ser una señal de contaminación. Se expresa comúnmente en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU). Los altos grados de turbidez pueden resguardar a los microorganismos de las consecuencias de la desinfección, fomentar la multiplicación de bacterias y elevar la necesidad de cloro. En la teledetección, es posible medir la turbidez a través de sensores ópticos satelitales o aéreos que captan la reflectancia del agua en diferentes longitudes de onda, particularmente en el visible e infrarrojo próximo. A medida que aumenta la turbidez, se incrementa la reflectancia en determinadas bandas, lo que permite calcular su concentración y distribución en el espacio. (Marcó et al, 2004)

Los sólidos suspendidos totales (SST) abarcan una extensa diversidad de partículas que se encuentran en el agua, como el plancton, minerales de arcilla, arena, limo, coloides agregados, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, y otros microbios. Estos sólidos pueden ser de procedencia autóctona o alóctona, y se originan de varias fuentes, como la extracción de tierra o la reintegración de sedimentos. Los sedimentos suspendidos funcionan como portadores de nutrientes, residuos de pesticidas, metales pesados y otros agentes contaminantes, jugando un rol crucial en la calidad del agua. Además, los SST tienen un impacto considerable en la teledetección de cuerpos acuáticos. Las partículas de minerales, la materia orgánica y los sedimentos suspendidos se dispersan y reflejan la luz del sol, en particular en las bandas del espectro visible (verde y rojo) y del infrarrojo próximo. Conforme se eleva la concentración de SST, la

reflectancia del agua también se eleva, lo que facilita su identificación a través de sensores satelitales. (Vargas y Rangel, 2012)

El coeficiente de correlación es un instrumento estadístico esencial que facilita el análisis de la conexión entre diversas variables espectrales, índices o datos complementarios, con el objetivo de interpretar fenómenos geográficos y ambientales detectados mediante imágenes satelitales. En esta situación, contamos con el coeficiente de correlación r de Pearson, que evalúa el nivel de relación lineal entre dos variables. Se puede ubicar el valor de r entre -1 y $+1$. Se realiza el examen de significación con la hipótesis nula de que no existe ninguna asociación, $r = 0$. Es necesario determinar y transmitir los intervalos de confianza de r . Antes de determinar la pertinencia de una correlación lineal, siempre es necesario representar en una "nube de puntos" la correlación entre las dos variables. (Dagnino,2014).

Finalmente, la investigación se justifica en la importancia de aplicar técnicas de teledetección espectral para analizar la calidad del agua de la laguna de Conache, integrando datos satelitales con mediciones in situ para validar los resultados obtenidos. Reduciendo la necesidad de muestreos frecuentes en campo y optimizando los recursos disponibles, teniendo como base tres aspectos: el social, económico y ambiental. Con respecto al impacto social busca fortalecer la vigilancia de la calidad del agua, lo cual será de gran utilidad para preservar el agua limpia y en condiciones adecuadas para actividades de ocio y turismo.

El impacto económico se basó en la reducción de los costos asociados con la supervisión de la calidad del agua, ya que el uso de mediciones remotas a través de imágenes satelitales Sentinel-2 es una alternativa más económica en comparación con los métodos de monitoreo en campo tradicional que generalmente requieren equipos especiales y personal permanente en esta área. Este método permite evaluaciones periódicas con una menor inversión en equipos y operaciones, logrando ahorros significativos para las instituciones responsables de administrar y monitorear los cuerpos de agua. Además, facilita la detección temprana de los cambios en los parámetros fisicoquímicos previniendo una mayor degradación ambiental y, por lo tanto, evitar altos costos de tratamiento o remediación en un futuro. En cuanto, al aspecto ambiental

facilitará la identificación rápida de si existe contaminación o alteraciones en la calidad del agua permitiendo tomar acciones necesarias para salvaguardar la laguna y preservar el balance natural del ecosistema.

Es por ello, que el objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar la precisión del monitoreo fisicoquímico del agua de la laguna de Conache mediante la aplicación de teledetección espectral usando Sentinel; mientras que los objetivos específicos fueron analizar los parámetros fisicoquímicos a partir de Imágenes Sentinel-2 de cada punto de muestreo en el cuerpo de agua de la laguna Conache, construir un modelo matemático que describa la relación entre los parámetros fisicoquímicos (temperatura, turbidez, pH y SST) y la reflectancia en el espectro electromagnético en los puntos de muestreo del cuerpo de agua de la laguna Conache y por último, comparar los datos obtenidos por teledetección con los datos de campo . Esperando que los resultados de esta investigación

puedan servir como fundamento para futuras investigaciones vinculadas al seguimiento de la calidad del agua a través de teledetección, con el objetivo de optimizar la administración y preservación de ecosistemas acuáticos, fomentar prácticas sustentables de gestión de recursos acuáticos y simplificar la toma de decisiones fundamentadas en información fiable para salvaguardar el balance ecológico de la laguna de Conache a largo

plazo. Se tuvo como hipótesis alternativa, La aplicación de la teledetección espectral usando Sentinel mejorará significativamente la precisión del monitoreo fisicoquímico del agua de la laguna de Conache; mientras que la hipótesis nula fue que la aplicación de la teledetección espectral usando Sentinel no mejorará significativamente la precisión del monitoreo fisicoquímico del agua de la laguna de Conache.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

El enfoque considerado para esta investigación es cuantitativo, puesto que se fundamenta en la recolección y análisis de la información numérica recolectada de las imágenes satelitales de Sentinel y las mediciones fisicoquímicas en campo. Según, Colín et al., (2018), este enfoque de investigación utiliza la cuantificación y el análisis estadístico para determinar patrones de comportamiento y verificar teorías ya que surge de una idea que gradualmente se concreta en las preguntas de investigación y las metas.

El nivel de la investigación es correlacional, ya que busca determinar la relación entre las imágenes satelitales obtenidas mediante teledetección y los parámetros fisicoquímicos medidos en campo, como turbidez, pH, temperatura, y sólidos totales, estableciendo la precisión y efectividad del uso de Sentinel para el monitoreo de la calidad del agua. Asimismo, Chipana (2020) menciona que el propósito es conocer la obligación o el grado de asociación que se encuentra entre dos o más conceptos, categorías o variables en muestra o contexto especial.

El alcance es descriptivo y explicativo. Es descriptivo porque busca analizar la calidad del agua de la laguna de Conache mediante parámetros fisicoquímicos. Esto implica medir y presentar datos para describir el estado actual del agua en términos cuantitativos. Es explicativo porque no solo se busca detallar la calidad del agua, sino también comprender las razones y vínculos entre los datos recabados mediante teledetección y las mediciones realizadas en campo investigadas por (Colín et al., 2018). En otras palabras, se intenta entender por qué y cómo cambian los parámetros fisicoquímicos basándose en las imágenes satelitales de Sentinel-2.

El diseño de la investigación es no experimental y longitudinal. Es no experimental porque las variables no serán alteradas, sino que se examinarán tal y como se encuentran en el ambiente natural. En otras palabras, se recolectarán datos a través de teledetección y ensayos en campo sin afectar directamente las condiciones de la laguna. Asimismo, es Longitudinal ya que son estudios que recopilan datos en diferentes momentos para sacar conclusiones sobre el desarrollo de un problema de investigación o fenómeno, sus causas y sus consecuencias. (Hernández Sampieri, 2014)

La población es un conjunto completo de todos los individuos, las cosas o los eventos sobre los que se quiere investigar con respecto a una particularidad dada o criterios específicos, buscando analizar el comportamiento de las variables específicas (Triola, 2018). Esta investigación considero como población la laguna Conache con una extensión total de 14 hectáreas ubicada en el caserío de Conache, distrito de Laredo, provincia de Trujillo, departamento de la Libertad.

Por otra parte, la muestra es un subgrupo de una población o universo, sobre la cual se recolectarán los datos pertinentes, y deberá ser representativa de dicha población, para generalizar los resultados encontrados en la muestra a la población. (Hernández y Mendoza, 2018). En este caso de estudio mi muestra se divide en dos partes: muestra de campo, conformada por 22,5 litros de agua recolectada de la Laguna Conache de 5 puntos de monitoreo puntos diferentes de monitoreo y una muestra satelital conformada por 2 imágenes satelitales de la Laguna Conache obtenidas de Sentinel 2 mediante Copernicus Browser en las fechas 25 y 30 de enero del 2025.

Figura 1.

Ubicación de la Muestra.



Fuente. *Google Earth Pro.*

Tabla 2.

Ubicación de los puntos de muestreo.

| Puntos de muestreo | Coordenada UTM | | | Fecha de Muestreo | |
|--------------------|----------------|------|-------------|-------------------|------------|
| | Zona | Este | Norte | | |
| P1 | 17 S | | | 24/01/2025 | |
| | | | 725413.03 S | 9100970.10 W | 03/02/2025 |
| | | | | | 13/02/2025 |
| P2 | 17 S | | | 24/01/2025 | |
| | | | 725364.85 S | 9100925.21 W | 03/02/2025 |
| | | | | | 13/02/25 |
| P3 | 17 S | | | 24/01/2025 | |
| | | | 725438.57 S | 9100940.65 W | 03/02/2025 |
| | | | | | 13/02/25 |
| P4 | 17 S | | | 24/01/2025 | |
| | | | 725512.10 S | 9100920.59 W | 03/02/2025 |
| | | | | | 13/02/25 |
| P5 | 17 S | | | 24/01/2025 | |
| | | | 725509.87 S | 9101067.46 W | 03/02/2025 |
| | | | | | 13/02/25 |

Fuente. *Elaboración propia.*

Para determinar la muestra, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión. El criterio de inclusión para este estudio se basó en los puntos de monitoreo que se encontraran dentro del cuerpo de agua y en sectores representativos para poder identificar los parámetros de pH, Temperatura, Turbidez y sólidos totales. Por otro lado, los criterios de exclusión en este estudio implican la exclusión de sitios fuera del área del cuerpo, tampoco se consideraron zonas muy cercanas a la orilla de dicho cuerpo de agua ya que podían alterar los resultados del muestreo por factores externos. También se excluyó de nuestra muestra satelital la imagen proveniente de la fecha 13 de febrero de 2025, ya que presentaba mucha nubosidad en la zona de estudio perjudicando así a la toma de datos para el análisis de nuestros parámetros fisicoquímicos.

Una vez determinada la muestra bajo los criterios de inclusión y exclusión se prosiguió a establecer los métodos, técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos que se utilizaron en la investigación.

El presente proyecto de investigación utilizó el método inductivo – deductivo, el cual es un método científico que implica dos procedimientos inversos. El método inductivo según Suarez (2023), se basa en la observación y la recolección de datos empíricos para generar patrones y generalizaciones. En el cual, el investigador a través de la información recopilada puede formular una hipótesis o una teoría que explique los fenómenos observados en el estudio. En este caso, se parte de la recolección y análisis de datos específicos obtenidos directamente en campo (como pH, turbidez, sólidos totales y temperatura) en distintos puntos de la laguna de Conache, para identificar patrones y relaciones que permiten formular explicaciones generales sobre el

comportamiento de la calidad del agua.

De acuerdo con Suarez (2023), la técnica deductiva busca formular una teoría o premisa general considerada verdadera, y luego se aplica la lógica para llegar a una conclusión específica. La deducción lógica se apoya en reglas formales bien definidas que permiten obtener nuevas conclusiones a partir de premisas ya conocidas. Este método, se aplica a los datos espectrales específicos obtenidos en las imágenes, para validar si dichas bandas pueden reflejar cambios fisicoquímicos del agua. Así, el método inductivo–deductivo permite construir, aplicar y contrastar conocimiento, integrando observaciones empíricas con fundamentos teóricos para alcanzar conclusiones más sólidas y generalizables.

Maya (2014) nos dice que las técnicas de investigación comprenden un conjunto de procedimientos organizados sistemáticamente que orientan al investigador en la tarea de profundizar en el conocimiento y en el planteamiento de nuevas líneas de investigación. Para esta investigación se usó como técnica el análisis fisicoquímico.

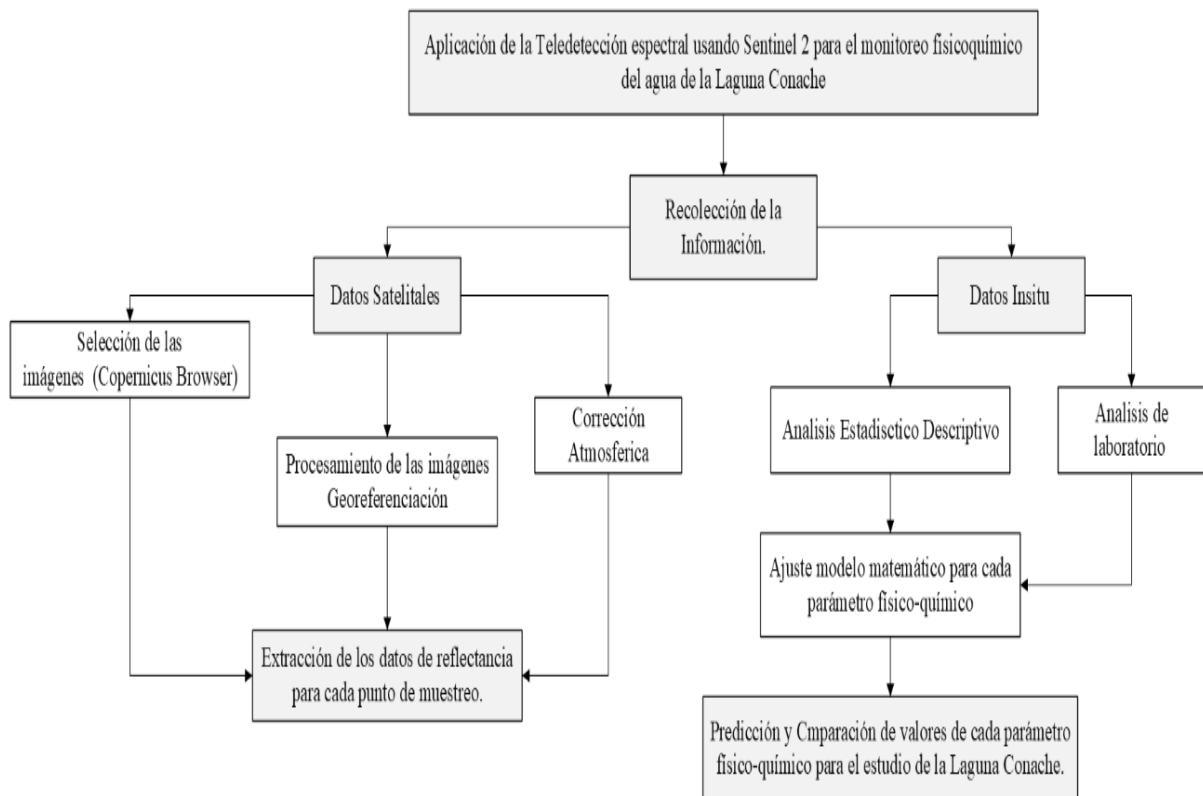
Para la recolección y análisis de datos de las variables de investigación se utilizó los instrumentos. Según Hernández (2020), consiste en una herramienta de la cual se vale un investigador para obtener información que le permita desarrollar su proyecto investigativo de manera objetiva y confiable. Los instrumentos que se utilizaron fueron una ficha de muestreo de suelo y una ficha de recojo de datos, para recopilar datos sobre las condiciones del suelo en el estudio pre y post análisis de laboratorio y la aplicación del tratamiento.

Para la obtención y análisis de la información de las variables de estudio, se emplearon instrumentos. Según Hernández (2020), se define como un recurso que los investigadores utilizan para conseguir datos que les ayuden a llevar a cabo su labor investigativa de forma objetiva y segura. Los instrumentos que se usaron incluyeron una Cadena de Custodia y una ficha de Muestro, con el fin de reunir datos acerca de las muestras de agua recolectadas de la Laguna Conache.

El instrumento técnico utilizado para la toma de muestra de agua en la investigación fue el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales en el marco de la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA que orienta sobre la estrategias y técnicas de muestreo del cuerpo de agua léntico.

Figura 2.

Diagrama de flujo.



Fuente. *Elaboración propia.*

Los materiales de muestreo y equipos de laboratorio utilizados para el desarrollo de la presente investigación se detallan a continuación:

Tabla 3.

Equipos de muestreo y laboratorio.

| Materiales de muestreo | Materiales de laboratorio | Equipos de laboratorio |
|----------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 15 botellas de 500 ml | Vasos de precipitación | Turbidímetro - HACH-2100Q |
| 01 Cooler | Probetas | Multiparámetro - HACH-HQ 40d |
| 15 etiquetas | Agua destilada | Balanza-OHAUS |
| Cadena de custodia | Papel filtro | Estufa eléctrica- FINEZA |
| App para la toma de coordenadas. | Crisoles | Bomba de vacío- DOA-P504-BN |

Nota. Esta tabla muestra los equipos de muestreo y materiales de laboratorio que se emplearon en el proceso de desarrollo de nuestra investigación.

Asimismo, tenemos la técnica de la teledetección espectral, donde se utilizará la teledetección a través de imágenes satelitales de Sentinel-2 descargadas mediante el visor Copernicus Browser correspondientes a las fechas 24 de enero y 03 de febrero del 2025. Se aplicará fórmulas para el procesamiento de imágenes ArcGIS y QGIS y así evaluar los parámetros fisicoquímicos como pH, temperatura, turbidez y sólidos totales.

El modelo seleccionado para la investigación está representado por las siguientes ecuaciones:

PRIMER MONITOREO: 24 de enero 2025

$$\text{pH: } (7.87548833 + 17.417588 * B2 - 2.95272906 * B3 - 7.36877435 * B4) \quad (1)$$

$$\text{Temperatura: } (26.1326296 + 9.15960547 * B12) \quad (2)$$

$$\text{Turbidez: } (7.10072071 + 19.3102678 * B1) \quad (3)$$

$$\text{Sólidos totales: } (0.00263832 + 0.00784812 * B5) \quad (4)$$

SEGUNDO MONITOREO: 3 de febrero 2025

$$\text{pH: } (7.55447318 + 52.1104557 * B2 + 19.797169 * B3 - 62.2082535 * B4) \quad (2)$$

$$\text{Temperatura: } (27.3169527 - 5.28662128 * B12) \quad (2)$$

$$\text{Turbidez: } (9.28283925 - 34.6510019 * B1) \quad (3)$$

$$\text{Sólidos totales: } (0.00060069 + 0.00535404 * B5) \quad (4)$$

Las ecuaciones que se modelaron para los dos monitoreos realizados el 24 de enero y 03 de febrero del 2025 se apoyan coherentemente en los coeficientes de la matriz de correlación. Las bandas que aparecen en cada ecuación se seleccionaron porque, según la matriz de correlación realizada y la literatura sobre óptica de aguas, son las que aportan mayor señal útil para cada parámetro con el menor riesgo de redundancia. Para el pH se incluyó la banda B2, que mostró la correlación más alta ($r \approx 0.93$) y capta bien los cambios de absorción asociados a compuestos que modulan la acidez; se añadieron B3 y B4 (> 0.84) porque, aunque también correlacionan positivamente, introducen información sobre la pendiente espectral visible y ayudan a corregir la multicolinealidad entre bandas. Para la temperatura se empleó la banda B12, única con correlación moderada ($r \approx 0.53$) y capaz de reflejar diferencias en contenido de humedad y partículas que influyen en la absorción de calor, ya que Sentinel-2 no cuenta con una banda de térmica. La turbidez se modeló con B1 ($r \approx 0.31$) porque las partículas en suspensión se dispersan fuertemente; en la segunda fecha la mayor claridad del agua hizo que más reflectancia azul indicara menor turbidez, por eso el coeficiente pasó a negativo. Finalmente, los sólidos suspendidos totales (SST) se asociaron a la B5 ($r \approx 0.10$), la cual, aunque muestra una correlación modesta, es la que mejor distingue pequeñas variaciones de materia particulada gracias a su sensibilidad a la dispersión en el límite entre rojo y NIR. En síntesis, las bandas elegidas son las que mostraron mayor correlación estadística y coherencia físico-espectral con cada variable.

Por otro lado, tenemos la técnica del muestreo in situ donde, se realizará la toma de muestras de agua en 5 puntos de la laguna, siguiendo los protocolos de monitoreo ambiental. Se tomará 5 puntos al azar, en cada punto se tomarán 3 repeticiones en botellas de plástico de 500 ml a 30 cm de profundidad del cuerpo de agua. Cada botella debe estar etiquetada correctamente y almacenada en el Cooler para luego ser llevada a laboratorio de la Universidad Privada del Norte - Sede San Isidro - Trujillo para su respectivo análisis.

Los parámetros fisicoquímicos que se medirán en el laboratorio se determinarán de la siguiente manera: El pH y la temperatura se medirá de manera directa con el Multiparámetro portátil HACH-HQ 40d y para determinar la turbidez se utilizará el Turbidímetro portátil HACH 2100Q, el cual mide en un Rango: 0 - 1.000 de NTU. Por otro lado, para hallar los sólidos totales se usó una bomba de vacío DOA-P504-BN, encargada de filtrar los sólidos presentes en la muestra. Una estufa eléctrica FINEZA, para llevar a cabo el secado del filtro que contiene los sólidos totales y finalmente una balanza OHAUS para pesar los sólidos hallados en el filtro.

En el contexto de este estudio, se han considerado diversos aspectos éticos. En primer lugar, se solicitará la obtención del consentimiento informado de los propietarios o responsables de La Laguna Conache donde se llevará a cabo la investigación. Además, se garantizará la autenticidad y la veracidad de la información obtenida tanto de campo como del satélite Sentinel-2, referenciando correctamente bajo la normativa APA los documentos utilizados en dicha investigación. Asimismo, siguiendo los principios y buenas prácticas del código ético de UNP en el ámbito de la investigación, nos regiremos por los siguientes principios éticos: Humanidad, Justicia, Igualdad, Veracidad y por

último el trabajo en equipo que es muy importante para potenciar nuestras capacidades en beneficio del estudio y de la sociedad.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

En este capítulo se mostrarán los resultados obtenidos de la aplicación de la teledetección espectral usando Sentinel 2 para el monitoreo fisicoquímico del agua de la laguna Conache mediante el procesamiento de las imágenes satelitales y la toma de muestras en campo de dicha laguna en el Distrito de Laredo, La Libertad.

A continuación, en la Tabla 4, se presentan los datos obtenidos del monitoreo realizado en campo, se tomó 5 puntos de monitoreo en toda el área que abarca la laguna Conache, se realizaron 3 veces los monitoreos con un periodo de 10 días, se monitoreo parámetros de pH, T°, solidos suspendidos totales y turbidez, del cual se obtuvo los promedios que serán contrastados con el resultado obtenido del análisis espectral utilizando las imágenes Sentinel 2.

Tabla 4.

Resultados de muestreo en campo de 5 puntos de monitoreo.

| Punto de Muestreo | Fecha de Muestreo | pH | T° | Turbidez (NTU) | SST |
|--------------------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------------------|------------|
| P1 | 24/01/25 | 8.16 | 26.90 | 8.36 | 0.004 |
| | 03/02/25 | 7.77 | 27.20 | 8.28 | 0.001 |
| PROMEDIO | | 7.92 | 28.14 | 7.00 | 0.002 |
| P2 | 24/01/25 | 8.02 | 26.23 | 7.33 | 0.003 |
| | 03/02/25 | 7.69 | 27.03 | 7.99 | 0.001 |
| PROMEDIO | | 7.83 | 27.96 | 6.94 | 0.002 |
| P3 | 24/01/25 | 8.10 | 26.80 | 8.48 | 0.002 |
| | 03/02/25 | 7.70 | 27.13 | 7.41 | 0.001 |
| PROMEDIO | | 7.87 | 28.10 | 7.17 | 0.001 |
| P4 | 24/01/25 | 8.25 | 26.57 | 8.06 | 0.004 |
| | 03/02/25 | 7.84 | 26.60 | 7.78 | 0.001 |
| PROMEDIO | | 7.99 | 27.83 | 6.92 | 0.003 |
| P5 | 24/01/25 | 8.12 | 26.73 | 7.63 | 0.003 |
| | 03/02/25 | 7.75 | 26.83 | 7.13 | 0.002 |
| PROMEDIO | | 7.92 | 28.01 | 6.87 | 0.002 |

Nota. *Elaboración propia.*

El análisis de correlación que se muestra en la tabla 5, permite identificar la relación lineal entre los parámetros fisicoquímicos del agua (pH, temperatura, turbidez y sólidos suspendidos totales - SST) y las bandas espectrales del satélite Sentinel-2 utilizadas en el análisis multiespectral de dicha investigación. Los valores de correlación (r) varían entre -1 y 1, donde valores cercanos a 1 indican una correlación positiva fuerte, y valores cercanos a 0 indican ausencia de relación lineal significativa. En el caso del pH, se muestra una correlación muy fuerte con la banda B2 ($r = 0.93$), y también alta con B3 ($r = 0.86$), B4 ($r = 0.84$), B5 ($r = 0.89$) y B12 ($r = 0.88$). Para la turbidez, la correlación más alta se presenta con la banda B12 ($r = 0.81$), seguida por B5 ($r = 0.77$) y B2 ($r = 0.57$). En cuanto a la temperatura, la correlación más significativa también se da con la banda B12 ($r = 0.53$), aunque no supera el umbral de una correlación fuerte. Esto se debe a que Sentinel-2 no cuenta con bandas térmicas, por lo que las relaciones observadas se explican de forma indirecta, ya que ciertas condiciones del agua (como turbidez o contenido de materia orgánica) pueden influir en su capacidad para absorber calor. Aun así, los modelos utilizaron B12 como variable predictora, lo cual es coherente con la correlación obtenida. Finalmente, los sólidos suspendidos totales (SST) presentan correlaciones muy bajas con todas las bandas, siendo la más alta con B12 ($r = 0.21$) y B5 ($r = 0.10$)

Tabla 5.

Matriz de correlación.

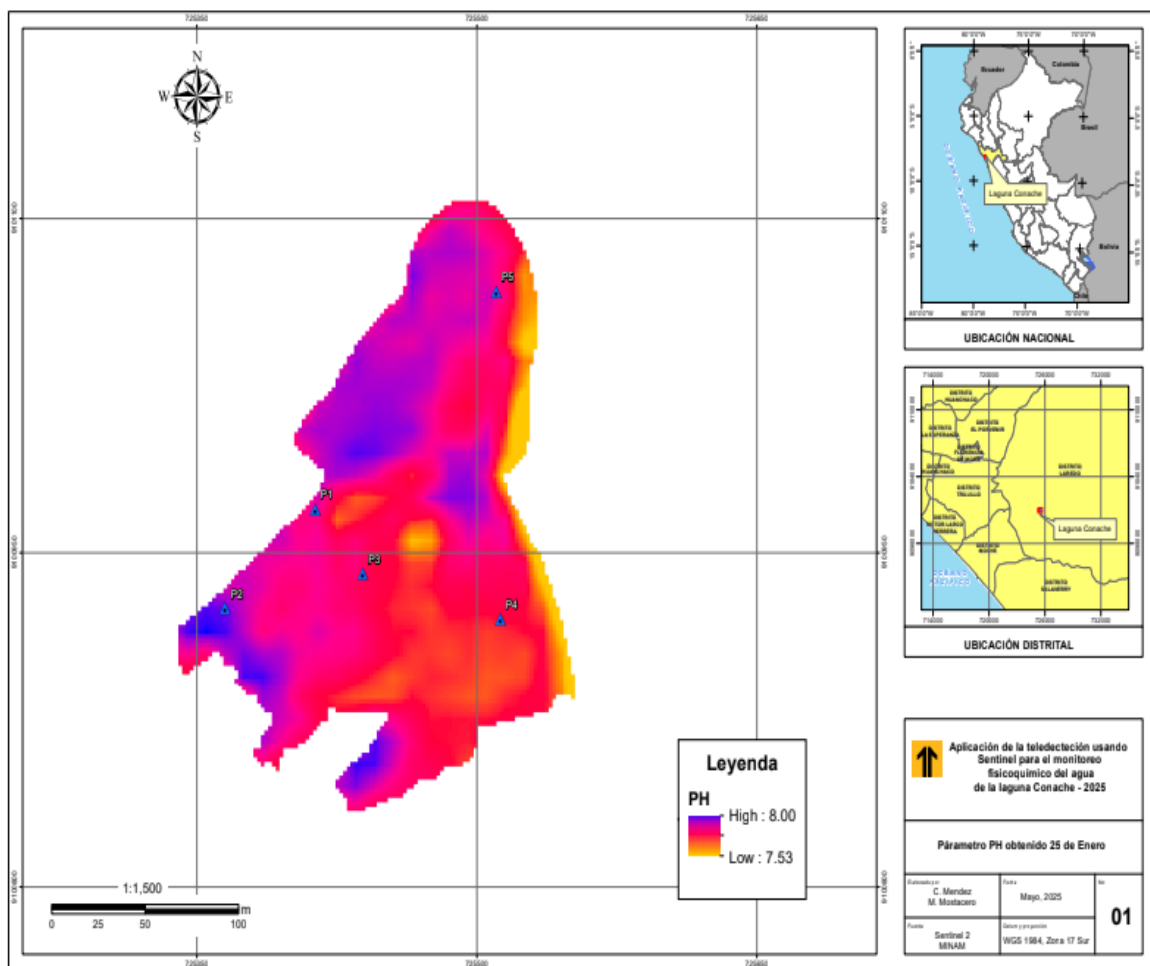
| | pH | Temp | Turbidez | SST | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B12 |
|----------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----|
| pH | 1 | | | | | | | | | |
| Temp | 0.43538054 | 1 | | | | | | | | |
| Turbidez | 0.51202387 | 0.80100058 | 1 | | | | | | | |
| SST | 0.4747943 | 0.06851562 | -0.08842295 | 1 | | | | | | |
| B1 | 0.64933394 | 0.30632491 | 0.31135916 | -0.24730051 | 1 | | | | | |
| B2 | 0.93430019 | 0.35690197 | 0.57634871 | 0.15541465 | 0.78885707 | 1 | | | | |
| B3 | 0.86443197 | 0.34832295 | 0.58514789 | -0.01686014 | 0.85428294 | 0.98472969 | 1 | | | |
| B4 | 0.84173667 | 0.27333499 | 0.57582841 | -0.02537236 | 0.80616798 | 0.97856371 | 0.99289763 | 1 | | |
| B5 | 0.88669116 | 0.49695594 | 0.76834746 | 0.10445394 | 0.67961001 | 0.9626162 | 0.94996997 | 0.95039779 | 1 | |
| B12 | 0.87950629 | 0.53201155 | 0.81120457 | 0.21167997 | 0.54408782 | 0.91639273 | 0.88130443 | 0.88755523 | 0.98382571 | 1 |

Nota. Elaboración Propia.

IMÁGENES SATELITALES OBTENIDAS DEL SOFTWARE ARCGIS DURANTE EL MONITOREO PARA LOS DIFERENTES PARAMETROS

Figura 3.

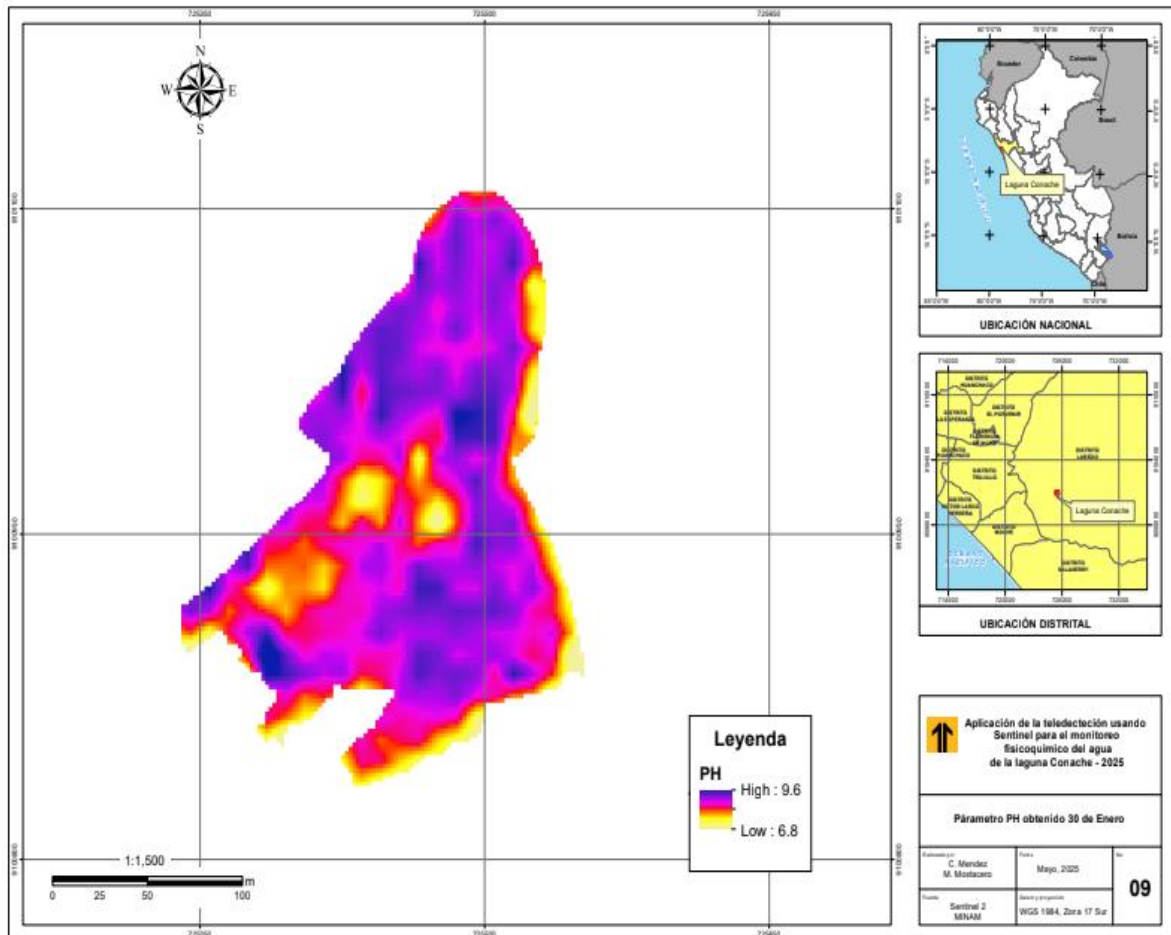
Primer Monitoreo Satelital de pH de la Laguna de Conache.



Fuente. *Elaboración propia.*

Figura 4.

Segundo Monitoreo Satelital de pH de la Laguna de Conache.



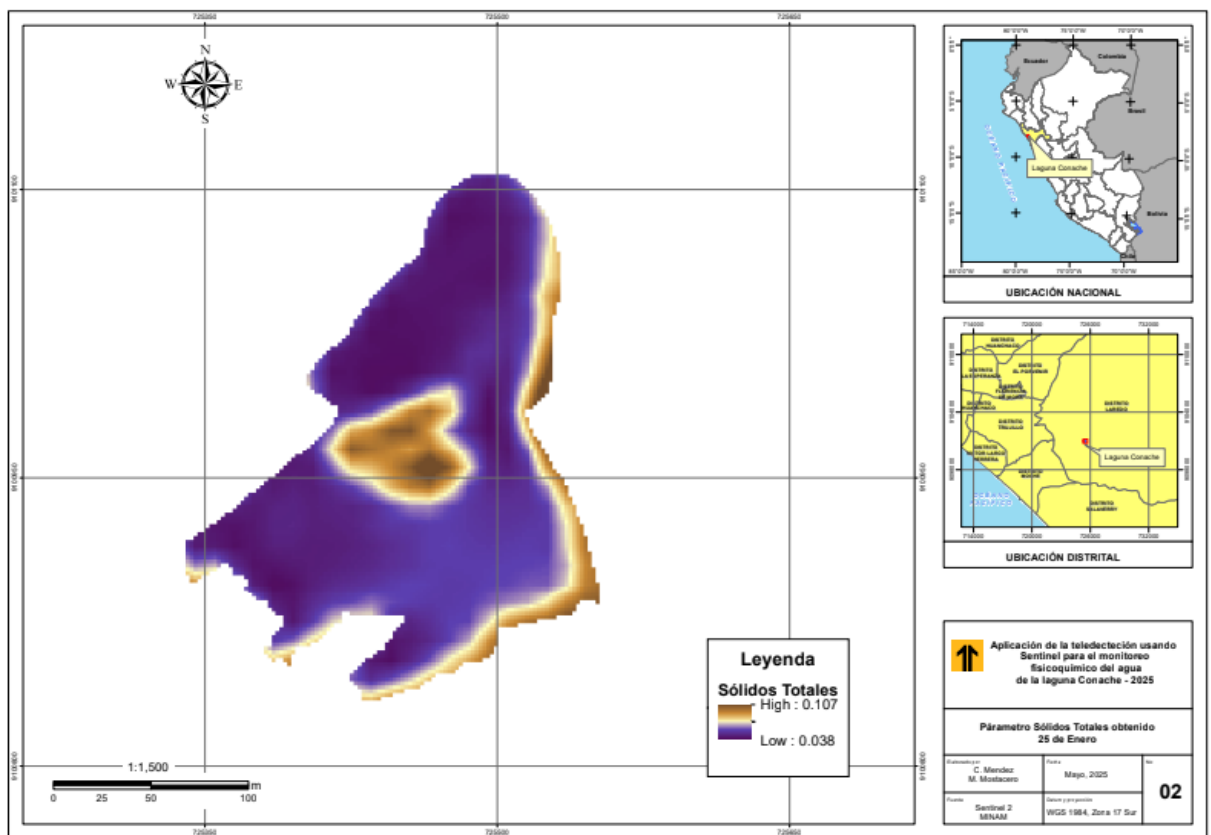
Fuente. *Elaboración propia.*

En las Figuras 2 y 3 se muestran los resultados del monitoreo del parámetro pH a partir del procesamiento de imágenes satelitales mediante técnicas de teledetección. Durante el primer monitoreo, realizado el 25 de enero, se empleó un algoritmo de regresión lineal múltiple que integra las bandas 2, 3 y 4 del sensor satelital, expresado por la fórmula: $pH = 7.87548833 + 17.417588 * \text{banda } 2 - 2.95272906 * \text{banda } 3 - 7.36877435 * \text{banda } 4$. Este modelo permitió estimar valores de pH que oscilaron entre

un mínimo de 7.53 y un máximo de 8.00, lo que indica condiciones ligeramente alcalinas en el cuerpo de agua durante esa fecha. En el segundo monitoreo, que tuvo lugar el 30 de enero, se empleó un algoritmo diferente que mostró una mayor sensibilidad a las variaciones espectrales, establecido como: $pH = 7.55447318 + 52.1104557 * \text{banda } 2 + 19.797169 * \text{banda } 3 - 62.2082535 * \text{banda } 4$. Los hallazgos revelaron un espectro de pH más extenso, con un valor de 6.8 como mínimo y 9.6 como máximo, lo que sugiere posibles fluctuaciones importantes en la composición química del agua, posiblemente vinculadas a fenómenos naturales o a acciones humanas.

Figura 5.

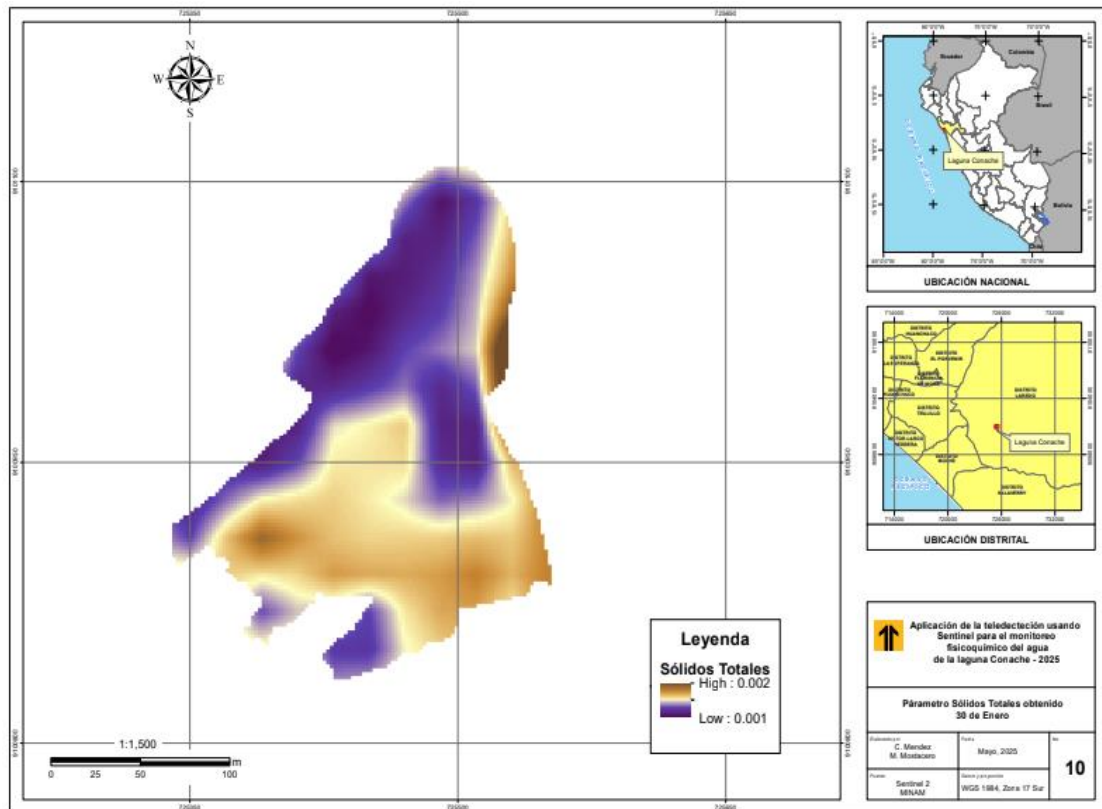
Primer Monitoreo Satelital de Solidos Totales de la Laguna de Conache



Fuente. *Elaboración propia.*

Figura 6.

Segundo Monitoreo Satelital de Sólidos Totales de la Laguna de Conache



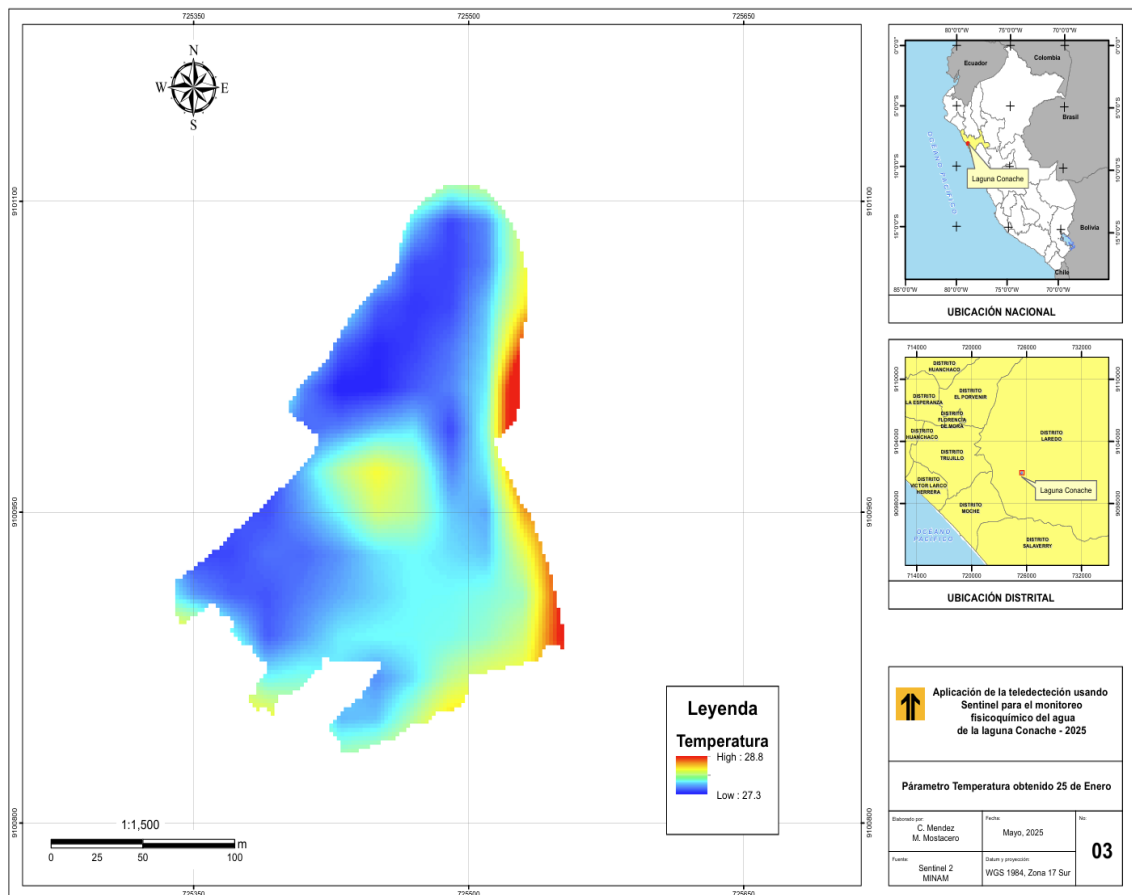
Fuente. *Elaboración propia.*

En las Figuras 4 y 5 se muestran los resultados obtenidos del procesamiento de imágenes de los monitoreos satelitales mediante técnicas de teledetección. En el primer monitoreo, llevado a cabo el 25 de enero, se utilizó el modelo empírico: $SST = 0.00263832 + 0.00784812 * \text{banda } 5$, que mostró concentraciones calculadas que oscilaron entre un valor mínimo de 0,038 y un máximo de 0,107. Estos valores indican una existencia moderada de sólidos suspendidos, quizás vinculados a fenómenos naturales como las escorrentías o la actividad biológica en el agua. Se empleó una fórmula diferente para el segundo monitoreo, correspondiente al 30 de enero: $SST = 0.00060069$

+ 0.00535404 * banda 5, logrando resultados más bajos, con concentraciones que fluctuaron entre 0,001 y 0,002. Esta significativa reducción en los valores podría no significar inherentemente un incremento en la calidad del agua, sino más bien una potencial restricción del sensor provocada por las condiciones del clima. Concretamente, la existencia de nubosidad durante la toma de las imágenes podría haber disminuido la exactitud de la reflectancia registrada, impactando directamente en la evaluación de los sólidos suspendidos.

Figura 7.

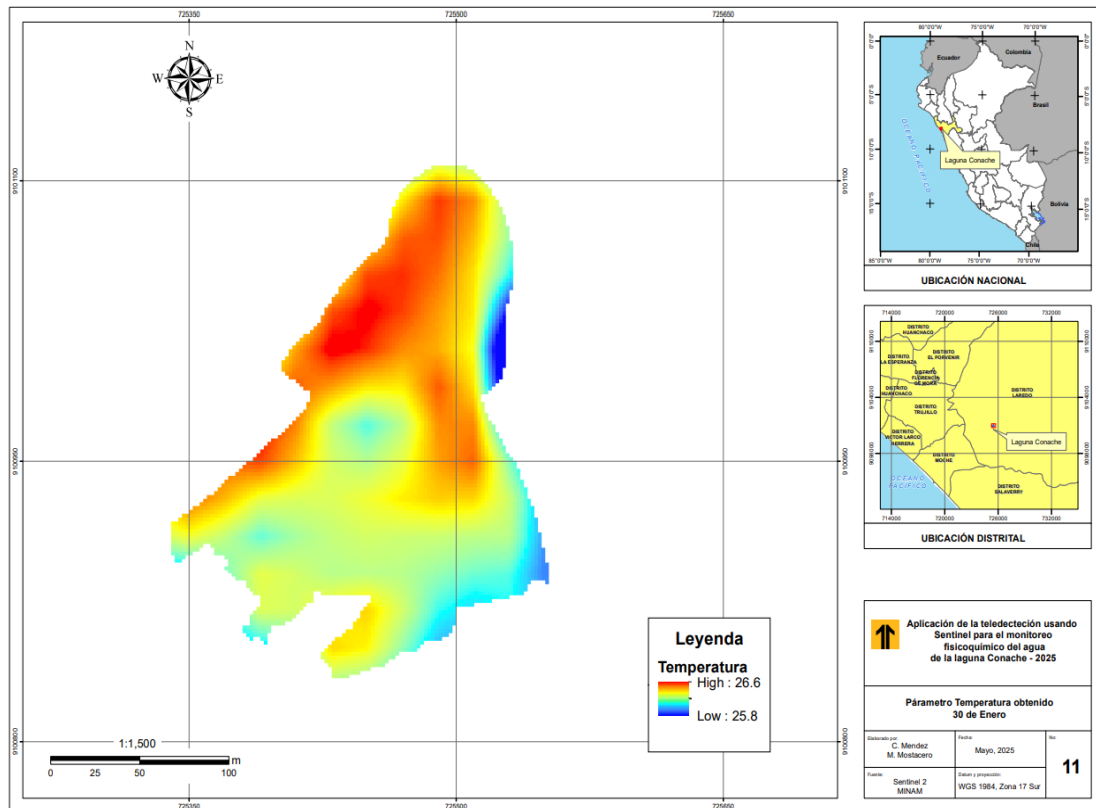
Primer Monitoreo Satelital de Temperatura de la Laguna de Conache.



Fuente. *Elaboración propia.*

Figura 8.

Segundo Monitoreo Satelital de Temperatura de la Laguna de Conache.



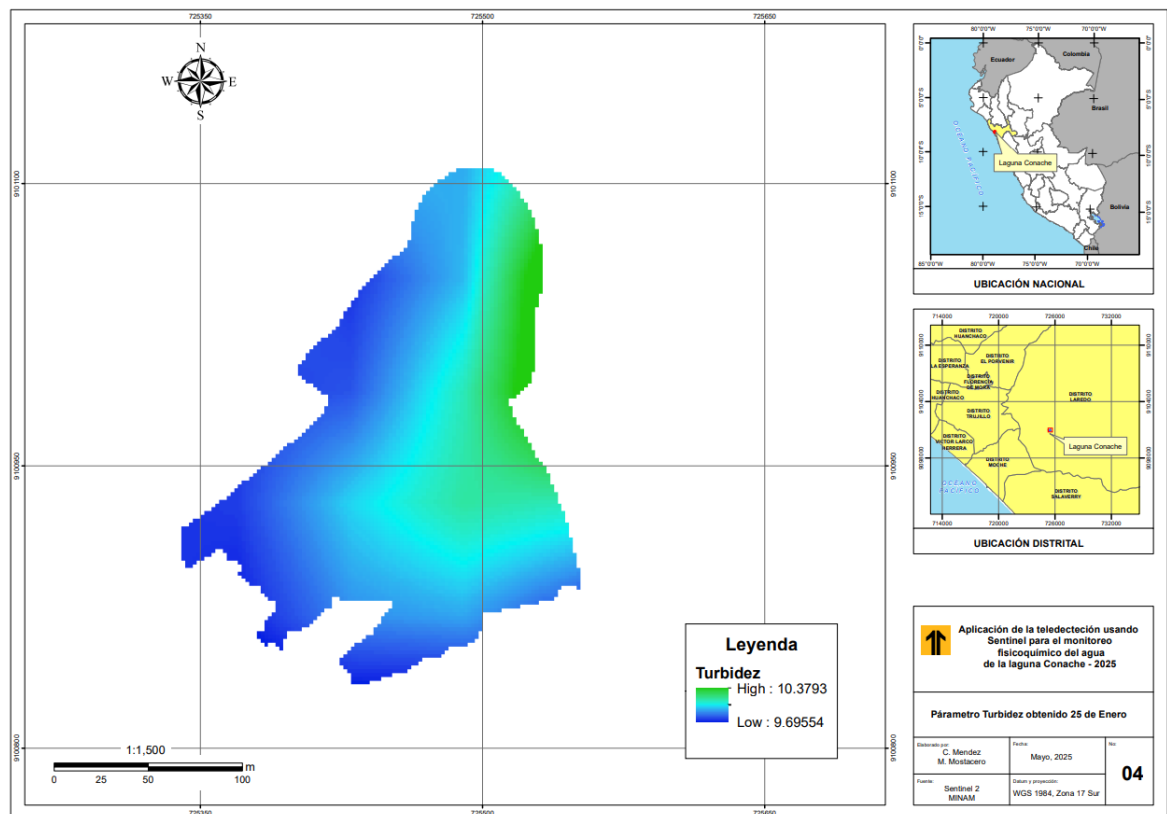
Fuente. *Elaboración propia.*

En las Figuras 6 y 7 se presentan los resultados de temperatura obtenidos del procesamiento de imágenes de los monitoreos satelitales mediante técnicas de teledetección térmica. En el primer monitoreo, llevado a cabo el 25 de enero, se empleó el modelo empírico: $Temperatura = 26.1326296 + 9.15960547 * \text{banda } 12$, que mostró temperaturas superficiales que oscilaban entre 27,3 °C y 28,8 °C, lo que señala un incremento en la presencia de radiación térmica registrada por el sensor. Esta discrepancia indica una superficie más expuesta a la radiación solar, probablemente en circunstancias atmosféricas claras. El segundo monitoreo, del 30 de enero, empleó una fórmula

diferente: $Temperatura = 27.3169527 - 5.28662128 * \text{banda } 12$, con resultados más bajos, que fluctuaron entre los 25,8 °C y los 26,6 °C. Además de una temperatura global más baja, la imagen mostró una variabilidad espacial más reducida de la temperatura, lo que indica una repartición más uniforme de la radiación térmica en la superficie.

Figura 9.

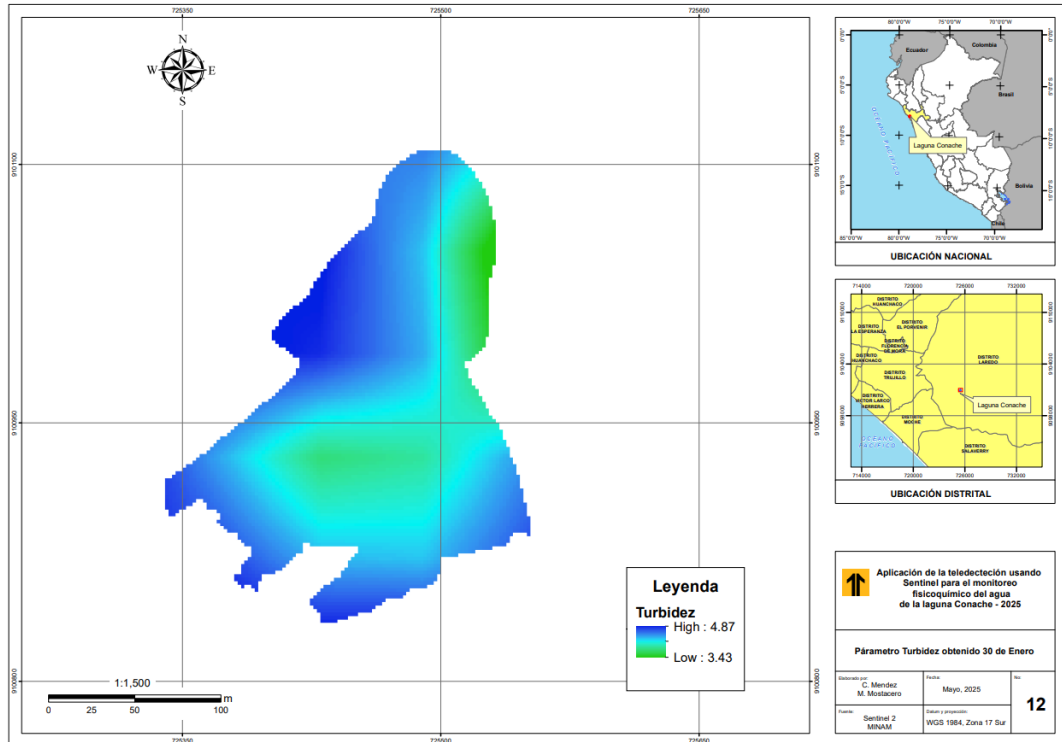
Primer Monitoreo Satelital de Turbidez de la Laguna de Conache.



Fuente. *Elaboración propia.*

Figura 10.

Segundo Monitoreo Satelital de Turbidez de la Laguna de Conache.



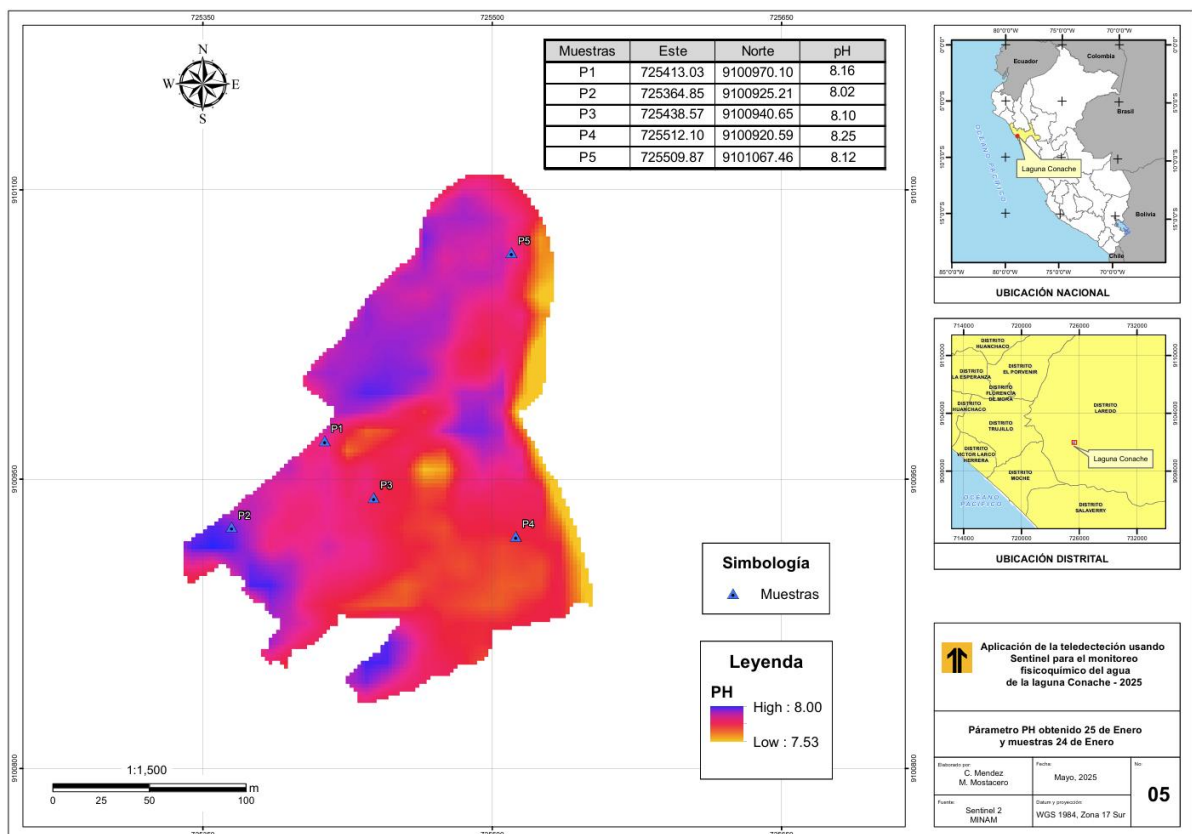
Fuente. *Elaboración propia.*

En las Figuras 8 y 9 se presentan los resultados del análisis de turbidez obtenidos mediante el procesamiento de imágenes satelitales, aplicando técnicas de teledetección. En el primer monitoreo, llevado a cabo el 25 de enero, se utilizó el modelo: $Turbidez = 7.10072071 + 19.3102678 * \text{banda1}$, el cual mostró valores de turbidez que oscilaban entre 9,69554 y 10,3793 unidades, lo que señala una presencia moderadamente elevada de sólidos suspendidos. Estos valores se relacionan a sucesos como la escorrentía, la eliminación de sedimentos o la actividad biológica en el agua. En el segundo monitoreo, realizado el 30 de enero, se empleó una fórmula diferente: $Turbidez = 9.28283925 - 34.6510019 * \text{banda 1}$, logrando resultados notablemente inferiores, con una turbidez

máxima de 4,87 y una mínima de 3,43. Pese a la variación en los valores absolutos, el comportamiento global entre ambas fechas presentó una variación bastante constante, lo que indica que no ocurrieron incidentes significativos que alteraron de forma notable la calidad del agua en términos de turbidez durante el periodo de estudio.

Figura 11.

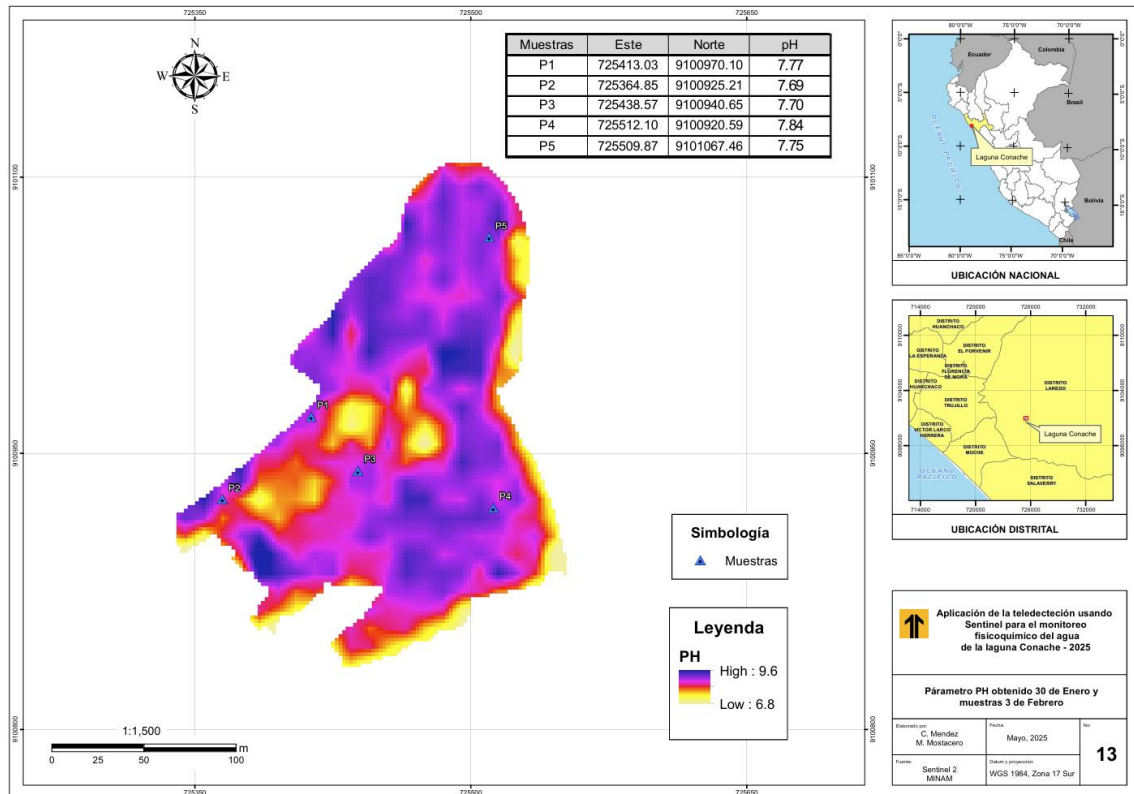
Contraste del Primer Monitoreo de pH obtenido en campo Vs análisis multiespectral.



Fuente. *Elaboración propia.*

Figura 12.

Contrastación del Segundo Monitoreo de pH obtenido de campo Vs análisis multispectral



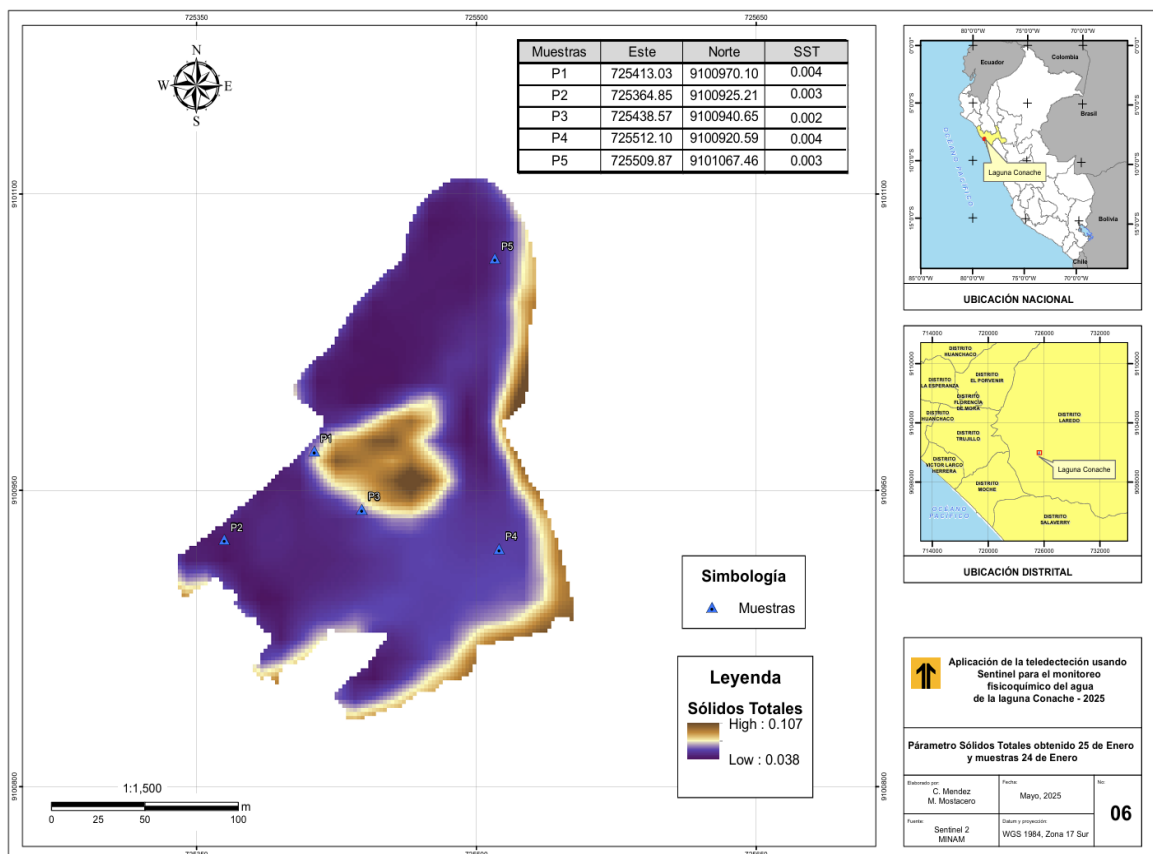
Fuente. *Elaboración propia.*

En la figura 10 y 11 se muestran los resultados obtenidos del monitoreo de campo vs los resultados del análisis multispectral para el parámetro físicoquímico pH, representada mediante escalas de colores que van desde amarillo (valores bajos de pH) hasta morado (valores altos de pH). La figura 10 muestra un rango de pH entre 7.53 y 8.00, mientras que en la figura 11 el rango es más amplio, abarcando de 6.8 a 9.6. En ambos casos, se incluyen tablas con los valores de pH medidos directamente en campo para cinco puntos de muestreo (P1 a P5), los cuales se utilizan como referencia para validar los resultados obtenidos mediante el análisis multispectral. Los valores de pH registrados en campo oscilan de la figura 10 entre 8.02 y 8.25, mostrando una buena

concordancia con la leyenda, con un margen de error aproximado de ± 0.23 unidades de pH. Por otro lado, en la figura 11, los valores de pH en campo están entre 7.69 y 7.84, encajando con mayor precisión dentro del rango establecido en la leyenda del mapa (6.8 a 9.6). En este caso, el margen de error es menor, alrededor de ± 0.15 unidades de pH, lo que evidencia que existe una relación significativa entre el cálculo matemático derivado del análisis multiespectral y los datos de campo.

Figura 13.

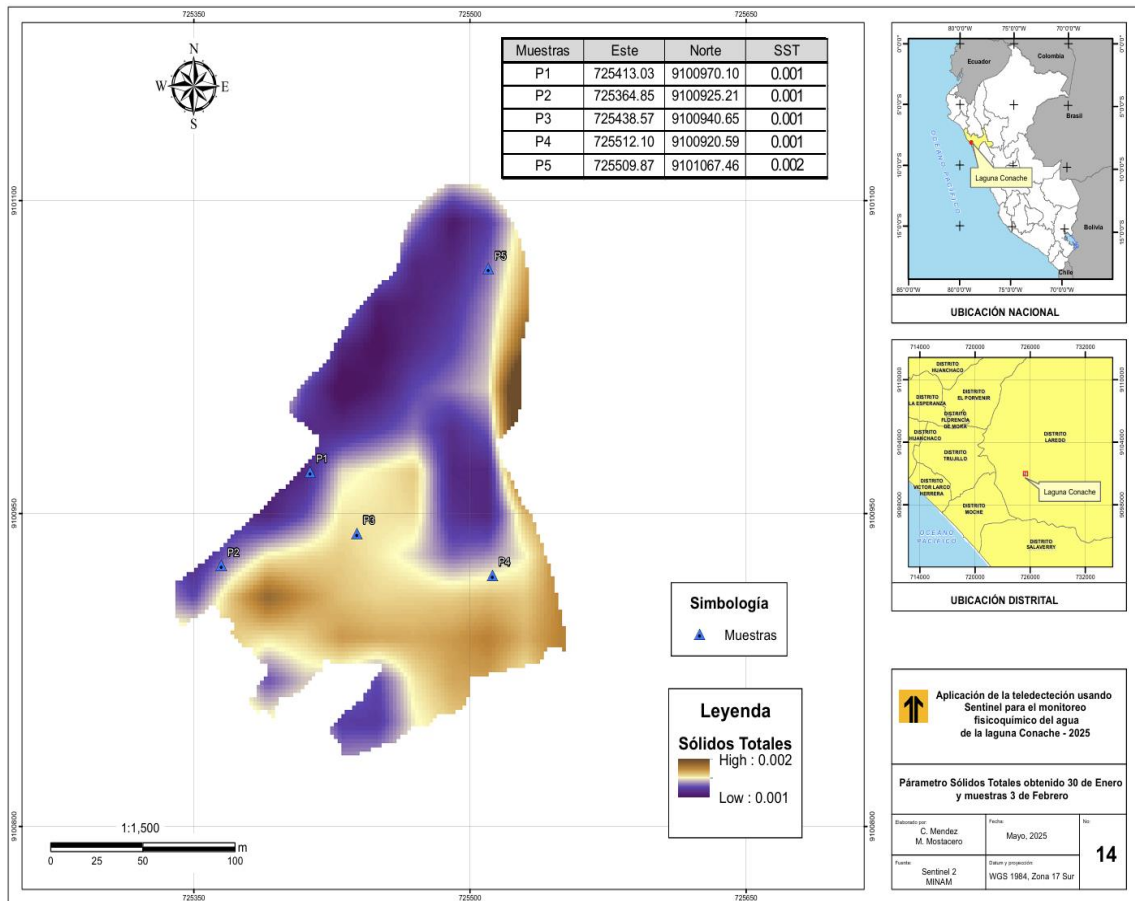
Contraste del Primer Monitoreo de Sólidos Totales obtenido de campo Vs análisis multiespectral.



Fuente. *Elaboración propia.*

Figura 14.

Contraste del Segundo Monitoreo de Sólidos Totales obtenido de campo Vs análisis multispectral.



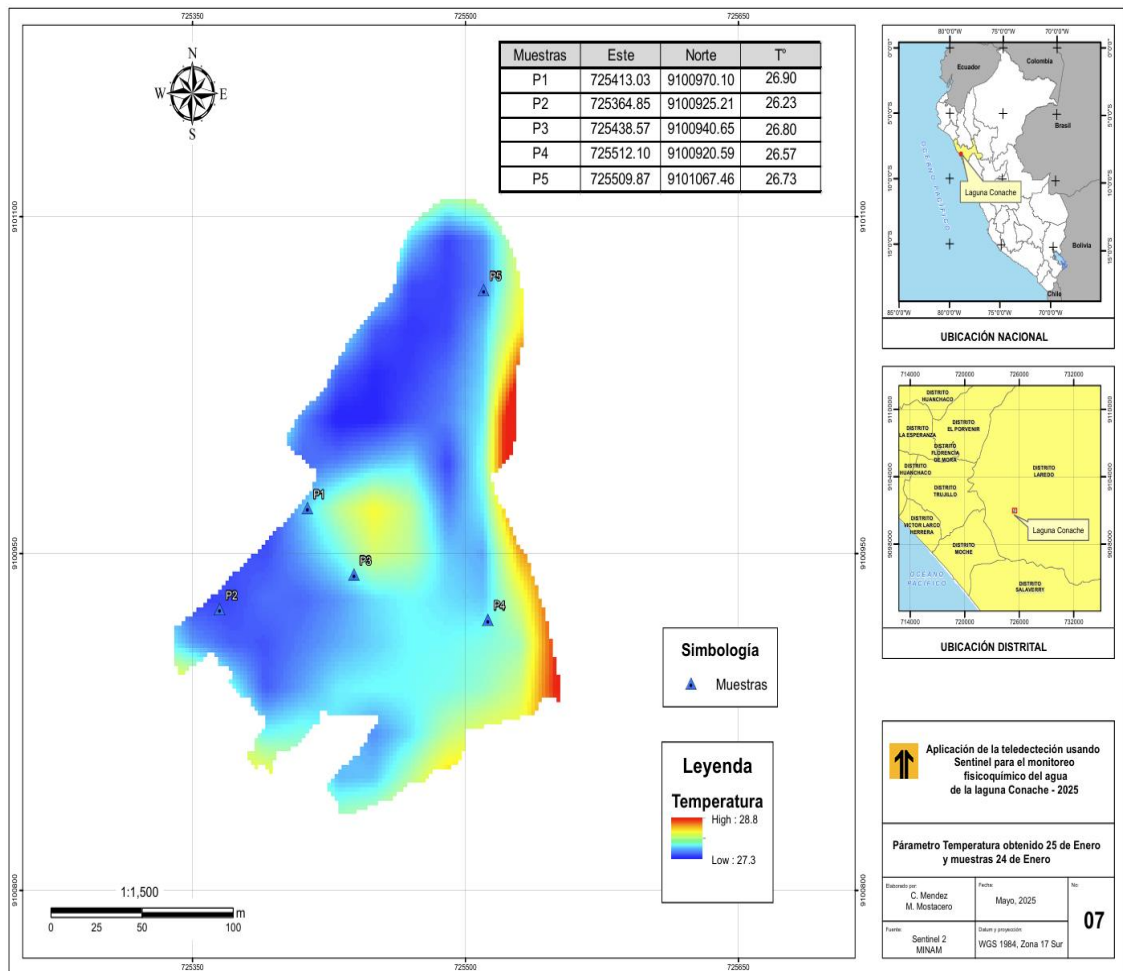
Fuente. *Elaboración propia.*

En la figura 12 y 13 se muestran los resultados obtenidos del monitoreo de campo vs los resultados del análisis multispectral para el parámetro físicoquímico sólidos suspendidos totales (SST), donde la escala de colores van desde morado (mínima concentración de sólidos totales) hasta dorado (máxima concentración de sólidos totales). En la figura 12, la leyenda indica un rango de SST que va de 0.038 a 0.107, mientras que los valores medidos en campo para los puntos P1 a P5 se encuentran en el intervalo de 0.002 a 0.004,

mostrando una desviación considerable entre los resultados del análisis multiespectral y las mediciones directas, especialmente si se toma el valor máximo del mapa (0.107) y se lo compara con el máximo valor de campo (0.004). En este caso, el margen de error absoluto puede estimarse en aproximadamente 0.103 unidades, lo cual representa una diferencia significativa. Además, sobreestima las concentraciones de SST, posiblemente debido a errores en la calibración o factores climatológicos. En la figura 13, se presenta un rango menor, de 0.001 a 0.002, que tienen mejor precisión con los valores medidos en campo, situados entre 0.001 y 0.002. El margen de error máximo, tomando como referencia el valor más alto del mapa (0.002) y el valor más bajo medido en campo (0.001), es de 0.001 unidades, demostrando muy buena correlación entre el modelo multiespectral y las mediciones directas.

Figura 15.

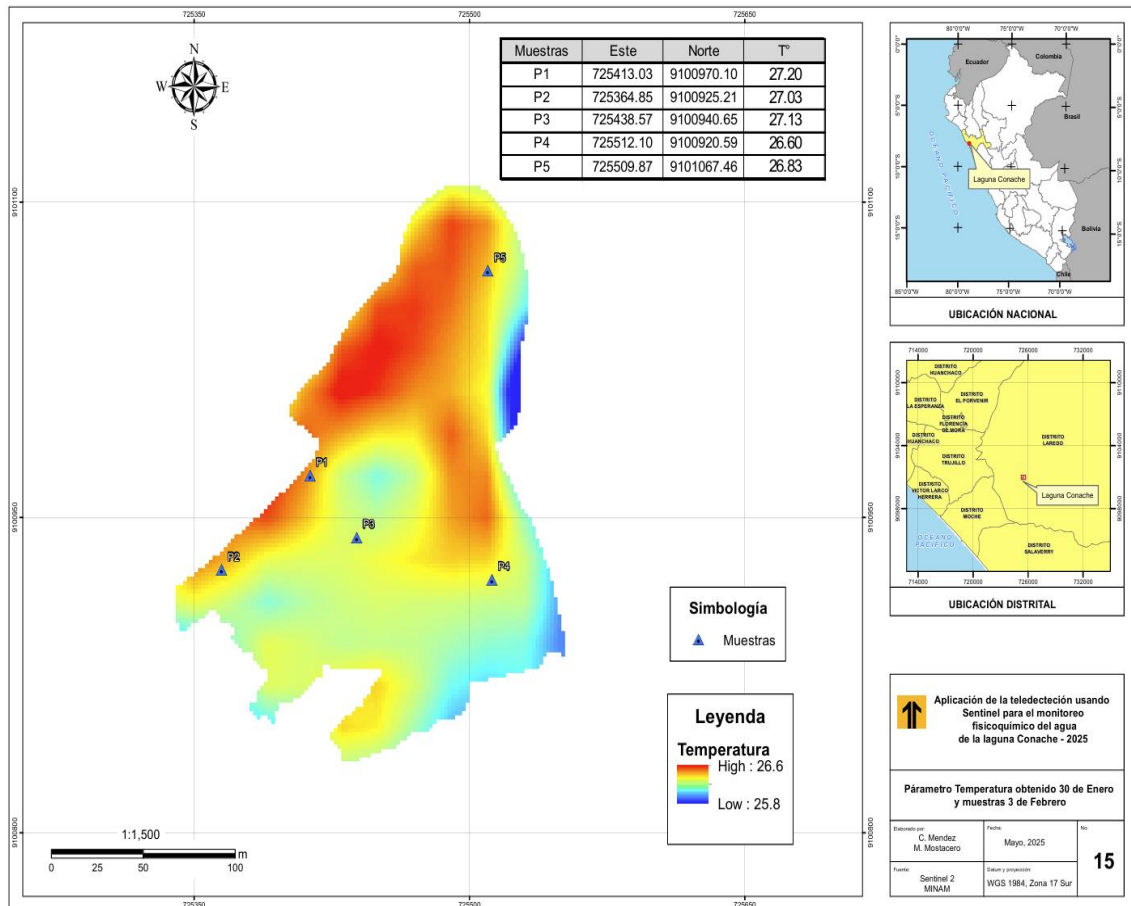
Contraste del Primer Monitoreo de Temperatura obtenido de campo Vs análisis multispectral



Fuente. *Elaboración propia.*

Figura 16.

Contraste del Segundo Monitoreo de Temperatura obtenido de campo Vs análisis multiespectral.



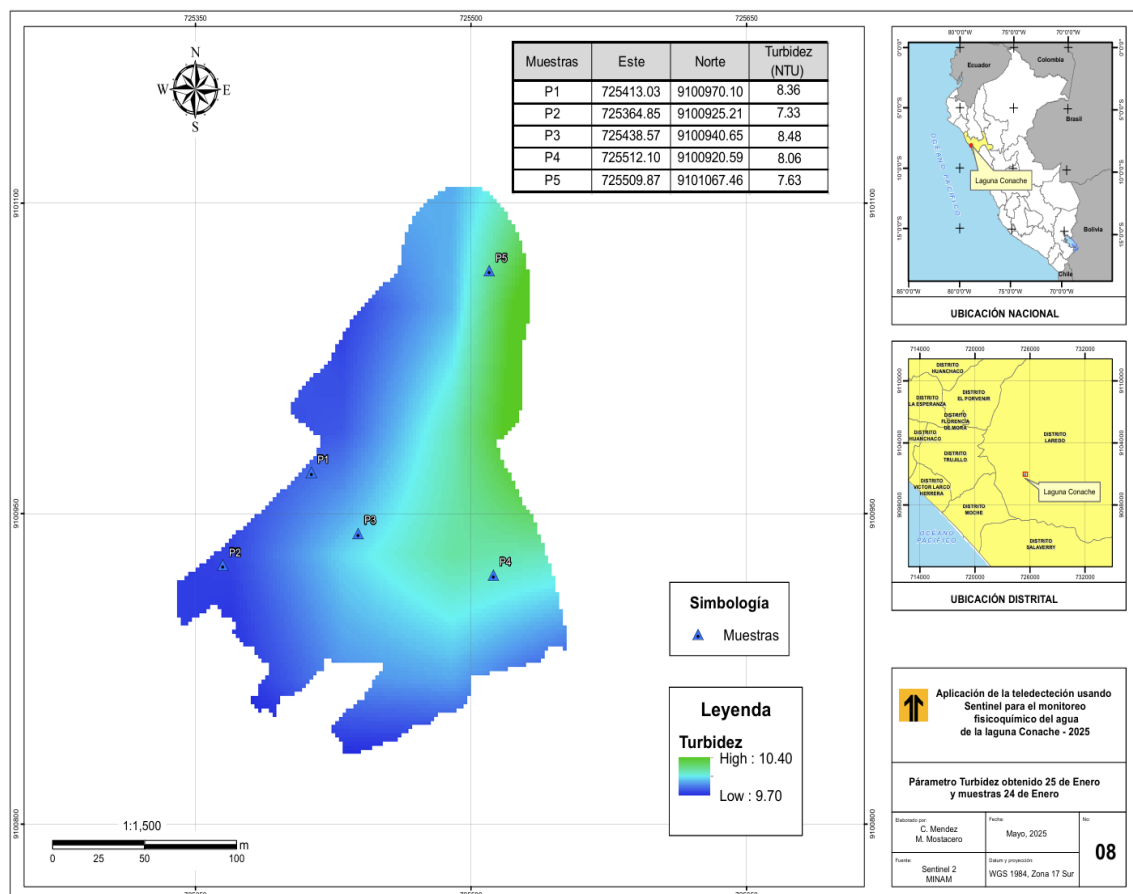
Fuente. *Elaboración propia.*

En la figura 14 y 15 se muestran los resultados obtenidos del monitoreo de campo vs los resultados del análisis multiespectral para el parámetro físicoquímico de Temperatura. En la figura 14, la temperatura se encuentra entre 27.3 °C y 28.8 °C, mientras que los valores registrados en campo están entre 26.57 °C y 26.90 °C mostrando un margen de error absoluto máximo entre el valor más alto del mapa (28.8 °C) y el mayor valor medido en campo (26.90 °C) es de aproximadamente 1.90 °C, con un error de ±1.4 °C. Esto

sugiere que el modelo podría requerir ajustes en la calibración, ya que la temperatura representada no refleja fielmente la observada. En la figura 15, el rango va de 26.6 °C a 27.2 °C, y los datos de campo obtenidos se encuentran dentro de ese mismo intervalo. En este caso, la coincidencia entre el análisis multiespectral y las mediciones directas es muy alta, con un margen de error prácticamente nulo ($\pm 0.0 - 0.1$ °C), lo cual evidencia una precisión óptima del modelo empleado.

Figura 17.

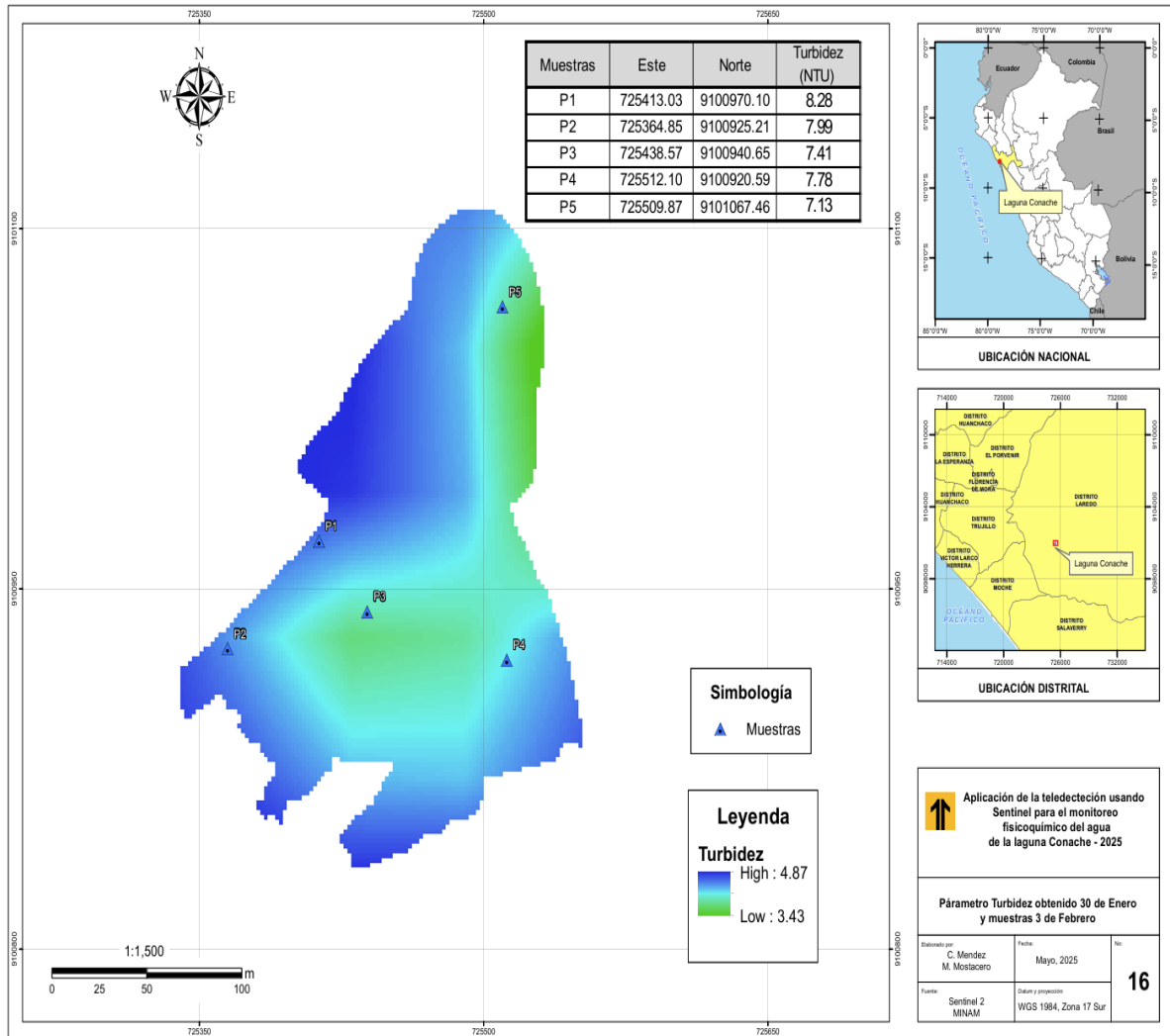
Contraste del Primer Monitoreo de Turbidez obtenido de campo Vs análisis multiespectral.



Fuente. *Elaboración propia.*

Figura 18.

Contraste del Segundo Monitoreo de Turbidez obtenido de campo Vs análisis multiespectral.



Fuente. *Elaboración propia.*

En la figura 16 y 17 se muestran los resultados obtenidos del monitoreo de campo vs los resultados del análisis multiespectral para el parámetro físicoquímico de Turbidez. En la figura 16, el mapa muestra una turbidez que varía entre 9.70 y 10.40 NTU, mientras que los valores medidos en campo para los puntos P1 a P5 están entre 7.63 y 8.48 NTU,

indicando una sobreestimación del modelo multiespectral presentando un margen de error absoluto entre el valor máximo del mapa (10.40 NTU) y el valor más alto medido en campo (8.48 NTU) es de 1.92 NTU, con un error de ± 1.5 NTU. Requiriendo una mejor calibración del modelo. En figura 17, muestra un rango de turbidez entre 3.43 y 4.87 NTU, sin embargo, los valores reales en campo están entre 7.13 y 8.28 NTU, con un margen de error de ± 3 NTU, lo que representa una discrepancia mucho mayor que en la primera imagen, demostrando que no hay una muy buena correlación entre el modelo multiespectral y las mediciones directas.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La presente investigación se basa en la aplicación de la teledetección espectral usando Sentinel 2 para el monitoreo fisicoquímico del agua de la laguna de Conache. Así como lo manifiesta Hellweger y Schlosser (2011), los sensores remotos son una alternativa para determinar estos parámetros fisicoquímicos reduciendo la inversión económica y de tiempo. Estos sensores adquieren la información de manera periódica lo cual permite el monitoreo permanente de la calidad del agua, ya que las imágenes provenientes de estos sensores capturan la información en diferentes bandas del espectro electromagnético suministrando información referente al porcentaje de reflectancia de energía solar, para cada objeto ubicado en la superficie terrestre.

Con respecto al objetivo general, evaluar la precisión del monitoreo fisicoquímico del agua de la laguna de Conache mediante la aplicación de teledetección espectral usando Sentinel se corrobora que Perdomo (2015) en su investigación realizada en el Embalse del Neusa, se muestra una coincidencia significativa en la utilidad de las bandas del espectro visible para modelar parámetros fisicoquímicos del agua. En nuestro caso, el pH mostró una alta correlación con las bandas B2 ($r = 0.93$), B3 ($r = 0.86$) y B4 ($r = 0.84$) del Sentinel-2, lo cual es coherente con el estudio del Neusa, donde el pH también presentó un alto coeficiente de determinación ($r^2 = 0.868$) usando bandas similares (2, 3 y 4) del Landsat 7. Asimismo, la temperatura mostró correlaciones moderadas con la banda B12 ($r = 0.53$) en nuestro análisis, aunque Sentinel-2 no posee bandas térmicas, mientras que, en el estudio comparado, la temperatura logró un mayor ajuste ($r^2 = 0.765$) con la banda 12 de Sentinel-2, que ayuda a simular la banda térmica. En cuanto a parámetros relacionados con la calidad visual del agua, la turbidez en nuestro caso presentó su mejor

correlación con B12 ($r = 0.81$), mientras que en el estudio de Perdomo (2015) la transparencia obtuvo el mayor ajuste ($r^2 = 0.916$), evidenciando que la teledetección es especialmente eficaz para captar estas características ópticas. Finalmente, tanto en nuestro análisis de la Laguna Conache como en el del Embalse del Neusa, se observa una menor capacidad para la predicción de parámetros como los sólidos suspendidos totales (SST), lo cual refleja las limitaciones espectrales para detectar compuestos no directamente visibles.

Asimismo, Según los hallazgos mostrados en la Tabla 3, respecto a la matriz de correlación, la turbidez evidenció su correlación más alta con la banda B12 ($r = 0.81$), seguida por la banda B5 ($r = 0.77$) y la banda B2 ($r = 0.57$). Estos valores señalan una sólida correlación entre la turbidez y las respuestas espectrales de estas bandas, lo que indica que son beneficiosos para calcular la turbidez a través de sensores a distancia. Estos descubrimientos concuerdan con lo reportado por Álvarez (2019), quien también en su estudio determinó que la turbidez mostró un cambio considerable, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.68. En su investigación, los rangos espectrales que demostraron una correlación más alta con la turbidez fueron los de la banda B2, en los intervalos de 0.52 a 0.60 micrómetros, y los de la banda B3, en los intervalos de 0.63 a 0.69 micrómetros.

Los modelos matemáticos formulados en esta investigación funcionaron de manera óptima en la mayoría de los parámetros como el pH, Sólidos Suspendidos Totales y Temperatura previa calibración y corrección de la imagen satelital, concordando con Perdomo (2015) y Portal, et al (2021), quienes enfatizan que dichos modelos con una correcta calibración permiten obtener un valor real de absorción y reflectancia, para lo

cual se puede afirmar que los modelos matemáticos para las elegidas bandas con las que se trabajó permiten la obtención y predicción de los valores de los parámetros físicoquímicos y la reflectancia en el espectro electromagnético de los puntos de muestreo en el cuerpo de agua de dichas lagunas. Los valores que permitió predecir las imágenes satelitales, en función de las fórmulas matemáticas fueron: Para el pH valores de 7.53 a 8.00 en el primer monitoreo y en el segundo monitoreo valores de 6.8 a 9.6. Para los sólidos suspendidos totales valores de 0.038 a 0.107 mg/L para el primer monitoreo y 0.001 a 0.002 mg/L para el segundo monitoreo. Para la temperatura valores de 27.3 a 28.8 °C para el primer monitoreo y valores de 25.8 a 26.6°C para el segundo. Por último, para la turbidez valores de 9.70 a 10.40 NTU para el primer monitoreo y valores de 3.43 a 4.87 NTU para el segundo monitoreo. Lo cual indica importancia y calidad de los datos obtenidos mediante el uso de técnicas satelitales concordando con Pérez (2011) concluyendo en su estudio que las técnicas satelitales son de gran importancia porque son estudios que abarcan gran cantidad de zona procesada y el mínimo de tiempo.

Durante el desarrollo de la presente investigación se identificaron diversas limitaciones que condicionaron tanto la recolección como el análisis de la información. Una de las principales restricciones estuvo relacionada con la disponibilidad de los equipos necesarios para la medición de parámetros físicoquímicos in situ, en esos momentos no contábamos con un multiparámetro para medir datos precisos y en tiempo real, lo cual fue todo lo contrario para nosotros ya que tuvimos que trasladar las muestras tomadas hasta el laboratorio de la Universidad Privada del Norte. Esta situación contraviene lo establecido en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, que señala que ciertos parámetros deben ser medidos de manera inmediata en el lugar de muestreo para garantizar la fiabilidad de los datos.

Finalmente, es importante destacar que, utilizando imágenes satelitales Sentinel-2, el estudio se realizó en condiciones climáticas propicias para la recolección de datos ópticos. La existencia de nubosidad en ciertas fechas limitó la captura de imágenes nítidas, lo que restringió la continuidad del seguimiento satelital en ciertos instantes. A pesar de estas restricciones, se consiguió alcanzar las metas propuestas, evidenciando la factibilidad de la teledetección espectral como instrumento adicional para el seguimiento ambiental de entidades acuáticas como la laguna de Conache.

Los resultados obtenidos en esta investigación tienen diversas implicancias metodológicas que contribuyen al campo del monitoreo ambiental en diversos estudios recursos hídricos mediante teledetección. Desde un enfoque práctico, el uso de imágenes satelitales Sentinel-2 para calcular parámetros físicoquímicos en la laguna de Conache es una herramienta innovadora y asequible que facilita la realización de un seguimiento continuo, eficaz y económico en contraposición a los procedimientos convencionales. Este método es particularmente útil en situaciones donde el acceso físico es restringido o los recursos para la supervisión en persona son limitados. La habilidad para detectar variaciones en parámetros como la turbidez y el pH mediante información satelital brinda la oportunidad de tomar decisiones adecuadas en la administración y preservación de cuerpos de agua.

En el contexto teórico, esta investigación fortalece y expande el entendimiento acerca de la conexión entre la reflectancia espectral y los parámetros físicoquímicos del agua. Los hallazgos corroboran que algunas bandas espectrales del satélite Sentinel-2 pueden tener una correlación notable con indicadores de calidad del agua, aportando de esta manera al avance de modelos predictivos fundamentados en teledetección. Además,

se proporciona evidencia local que apoya la utilidad de estos procedimientos en ecosistemas acuáticos de propiedades parecidas.

Desde el punto de vista metodológico, el estudio resalta la relevancia de combinar datos de campo con datos satelitales para incrementar la exactitud de los modelos elaborados. La mezcla de análisis estadístico, algoritmos particulares y la utilización de programas especializados como ArcGIS evidencia un sólido enfoque interdisciplinario que puede ser replicado en otras investigaciones parecidas. Igualmente, se destacan las restricciones intrínsecas al empleo de sensores ópticos, como la necesidad de condiciones meteorológicas propicias, lo que indica la necesidad de combinar estos procedimientos con otras tecnologías en circunstancias desfavorables.

Se recomienda realizar más monitoreos al año y en condiciones climáticas más óptimas para evitar que la nubosidad afecte a la toma de imágenes satelitales, logrando fortalecer los modelos de correlación y capturar imágenes con mayor nitidez para los estudios necesarios. Asimismo, se recomienda tener en cuenta la frecuencia de revisita del satélite Sentinel -2 que es de 5 días, para poder monitorear en dichos días y poder hacer la comparación más precisa. Por otro lado, tener en cuenta que Sentinel-2 no posee bandas térmicas, por lo cual se recomienda complementar el monitoreo con sensores que cuenten con bandas térmicas para mejorar la precisión en el análisis de temperatura superficial y evitar errores de estimación en los parámetros como la temperatura.

Asimismo, Se recomienda incluir algoritmos de aprendizaje automático Machine Learning (ML) y Deep Learning (DL), como herramientas avanzadas para mejorar la precisión de parámetros como el pH, la turbidez, la temperatura de la superficie y sólidos suspendidos Totales (SST) y otros indicadores principales de calidad del agua en la

evaluación. Los modelos ML, como la regresión lineal múltiple, le permiten identificar modelos sofisticados en datos espectrales del sensor Sentinel-2 para aplicarlos a las mediciones de calidad del agua in situ. Por otro lado, se recomiendan técnicas DL, especialmente cuando se trabajan con grandes cantidades de datos e intentan no solo percibir las condiciones lineales, sino que también entre bandas espectrales y variables físicoquímicas. La asociación de estos 2 algoritmos le permite automatizar múltiples imágenes de espectro generando mapas de distribución espacial con mayor precisión, actualización continua de modelos con nuevos datos, integración eficiente de múltiples bandas espectrales, que las elige con una mayor correlación para cada parámetro (evidenciado en la matriz de correlación del estudio).

Para concluir, se puede afirmar que para el parámetro pH, correspondiente a la fecha 30 de enero, la diferencia entre los datos recogidos a través del algoritmo y los valores registrados en terreno fue positiva, dado que el pH se conservó en el rango de 6.8 a 9.6 unidades de pH. Esto sugiere que el algoritmo de regresión lineal Múltiple que se deriva de la matriz de correlación, basándose en el cálculo del intercepto y la comparación entre el parámetro físicoquímico y la banda espectral escogida, demostró ser eficiente en el procesamiento y análisis de los datos a través del uso del software ArcGIS.

Este hallazgo avala la factibilidad de emplear métodos de teledetección y modelado matemático para calcular parámetros de calidad del agua de forma remota, favoreciendo de esta manera un seguimiento más eficiente y de gran magnitud.

Finalmente, se logró analizar los parámetros físicoquímicos a partir de imágenes Sentinel-2 en cada punto de muestreo demostrando que las bandas visibles (B2-B4), del rojo-borde (B5) y del infrarrojo de onda corta (B12) de Sentinel-2 captan con claridad

la variación espacial de los parámetros físicoquímicos de la laguna de Conache. Los mapas generados a partir de estas bandas representaron visualmente la distribución del pH, la turbidez, la temperatura y los sólidos suspendidos totales (SST), lo que confirma que la teledetección permite identificar zonas de mayor turbidez y sectores con pH más alto sin necesidad de un muestreo amplio y costoso.

Asimismo, se logró modelar matemáticamente los parámetros de temperatura, turbidez, pH y SST con la reflectancia. Los modelos lineales desarrollados determinaron niveles de ajuste muy altos para pH ($R^2 \approx 0,87$ con B2, B3 y B4), reflejando una relación estable y estadísticamente significativa entre estos parámetros y la señal espectral, indicando que pueden predecirse con ayuda de imágenes satelitales.

Se comparó las estimaciones satelitales y los valores medidos in situ mediante mapas temáticos evidenciando una concordancia para la mayoría de los parámetros a excepción de la turbidez, con un error de 1.5 NTU para el primer monitoreo y 3 NTU para el segundo monitoreo demostrando que no hay una buena calibración de la fórmula utilizada. A pesar de las ciertas limitaciones, la teledetección con Sentinel-2 ofrece resultados suficientemente precisos para el seguimiento operativo de la calidad del agua, especialmente en los parámetros más sensibles a la firma óptica como el pH que demostró un error de 0.23 unidades para el primer monitoreo, los SST para el monitoreo dos su margen de error fue mínimo de 0.001 mg/L, la Temperatura presentó un error de 1.4 unidades para su primer monitoreo, siendo una alternativa fiable y de bajo costo para complementar los programas tradicionales de monitoreo en la laguna de Conache.

REFERENCIAS

Elaborar las referencias en orden alfabético todas las fuentes utilizadas en el estudio y de acuerdo con la norma de estilos APA 7^ma versión o la Facultad de Salud (excepto Psicología) utilizará el estilo Vancouver.

United Nations. (2018). Desafíos globales Agua. <https://www.un.org/es/global-issues/water>

<https://institutodelagua.es/calidad-del-agua/teledeteccion-para-calidad-de-aguacalidad-del-agua/>

Tesfaye, A. (2024). Remote Sensing-Based Water Quality Parameters Retrieval Methods: A Review. East African Journal of Environment and Natural Resources, 7(1), 80-97. <https://doi.org/10.37284/eajenr.7.1.1753>

<https://journals.eanso.org/index.php/eajenr/article/view/1753/2483>

UNESCO. (2023). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023. Asociación Nacional de Entidades de Agua y Saneamiento de México, A.C. (ANEAS). <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386807>

Kościuk k. & Firek L. (2024). Monitoring water quality using Python and Sentinel-2 satellite imagery. CREODIAS. <https://creodias.eu/cases/monitoring-water-quality-using-python-and-sentinel-2-satellite-imagery/>

Epa, U. S. (2018). National Rivers and streams assessment report. NRSA Report. <https://riverstreamassessment.epa.gov/webreport/>

WORLD ECONOMIC FORUM. (2019). La contaminación del agua está matando a millones de indios. Así es como la tecnología y los datos fiables pueden cambiar esta situación. Weforum.org.
<https://www.weforum.org/stories/2019/10/water-pollution-in-india-data-tech-solution/>

Guzman, A. (2016). Calidad ambiental de la Laguna de Conache, Laredo - La libertad 2015 [UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO].
<https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/dd558c53-851b-4d37-9fa3-285dbbe32115/content>

Tenjo et al.(2014). Determinación de componentes ópticamente activos en aguas continentales a partir de imágenes Landsat-8.
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/UDGeo/article/view/7942/11002>

Yellowscan.(2024). Teledetección: Que es y cómo se Utiliza:
<https://www.yellowscan.com/es/knowledge/remote-sensing-what-it-is-and-how-is-it-used/>

Manriquez y Torres (2010) Espectro Electromagnético:
<https://es.slideshare.net/slideshow/trabajos-de-fisica-espectro-electromagnetico/4631396>

Delegido , et al,(2019) Turbidez y profundidad de disco de Secchi con Sentinel-2 en embalses con diferente estado trófico en la Comunidad Valenciana.
<https://polipapers.upv.es/index.php/raet/article/view/12603/12183>

Amaya, et al,(2004) Control de ph para planta de tratamiento de aguas residuales.<https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/1271/1008>

Oakley y Salguero(2011) Temperatura en aguas residuales: Clave para su tratamiento y Reciclaje en efectivo.<https://institutodelagua.es/aguas-residuales/temperatura-en-aguas-residualesaguas-residuales/>

Portal, R. I., & Zambrano, E. (2021). Teledetección espectral usando el satélite Landsat 8 para el monitoreo físicoquímico del agua de la laguna San Nicolás – Cajamarca 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/28978>
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/28978>

<https://arxiv.org/pdf/2401.03792>

Canal oficial del Ministerio de Ganadería, A. y P. (2022). Teledeteccion para el monitoreo de la calidad de agua. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca y Miniosterio del Ambiente. https://youtu.be/MkdTuyd_hF0

Turbidez del agua: cómo se mide y sus niveles de calidad. (2022, octubre 23). Veoliawatertechnologies.com. <https://golatam.veoliawatertechnologies.com/es/blog/turbidez-del-agua-como-se-mide-y-sus-niveles-de-calidad>

Chipana, E (2020) Análisis Correlacional de la formación académico.profesional y cultura tributaria de los estudiantes de marketing y dirección de empresas: <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v12n6/2218-3620-rus-12-06-478.pdf>

Colín, H. y Cruz, G. (2018). Lo principal en una investigación: ¿Por dónde empezar?

Unidades de Apoyo para el Aprendizaje: https://repositorio-uapa.cuaed.unam.mx/repositorio/moodle/pluginfile.php/2879/mod_resource/content/1/UAPA-Lo-Principal-Investigacion/index.html

Hernandez Sampieri, (2014) Licenciatura en dirección de empresas de entretenimiento -Diseño de Investigación:

<https://www.anahuac.mx/mexico/biblioteca/sites/default/files/inline-files/disenodeinvestigaagos19.pdf>

Reyes, et al (2023) Validación de Índices Espectrales de humedad mediante imágenes Landsat 8 OLI/TIRS en un Vertisol :

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542023000400001&lng=pt&nrm=iso&tlng=es

Rossel (2016) Calidad Ambiental de la Laguna Conache, Laredo-La LIBERTAD

2015: <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/dd558c53-851b-4d37-9fa3-285dbbe32115/content>

abril. (2023, April 26). Conceptos Básicos sobre Imágenes Satelitales –

Fotogrametría pt. 1. Geosolutions Consulting. <https://www.geosolutionsconsulting.com/tecnologia/conceptos-basicos-de-las-imagenes-satelitales/>

Cuerpos de agua. (2017, April 20). Agua.org.mx. <https://agua.org.mx/cuerpos-de-agua/>

Neyra, A (2023). DETERMINACIÓN DE TRES PARÁMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA CASHIBOCOCHA MEDIANTE

EL USO DE IMÁGENES SATELITALES, UCAYALI, 2023.

<https://apirepositorio.unu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/931548ba-35b0-4a22-829c-04fe1f69d9c8/content>

Perdomo, A. (2015). PREDICCIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS DE

CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL USO DE SENSORES REMOTOS:

CASO DE ESTUDIO EMBALSE DEL NEUSA.

<https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/1751/T069.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Chuvieco Salinero, E. (2006). Teledetección ambiental: la observación de la tierra desde el espacio (2a ed. [act.]). Ariel.

La Comisión Nacional del Agua Mexico (CONAGUA). (2025). Imagenes satelitales.

Gob.mx.

https://smn.conagua.gob.mx/tools/GUI/Visor_satelite.php?id=1&panelEncabezado=0&panelHusosHorarios=0&satelite=GOES%20Este&nombre=M%C3%A9xico&tipo=Focos%20de%20Calor

Peguro, C. (2016). Sensores Remotos y Aplicaciones en Teledeteccion.

<https://es.scribd.com/document/366512132/SENSORES-REMOTOS-Y-APLICACIONES-EN-TELED-pdf>

Marcó, et al (2004) La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina):

[https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82(2004).pdf)

Vargas y Rangel (2012) MODELACIÓN DINÁMICA DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN EL HUMEDAL JABOQUE, BOGOTÁ (COLOMBIA): <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v15n2/v15n2a04.pdf>

Ruiz, et al (2007) Revisión de parámetros fisicoquímicos como revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua indicadores de calidad y contaminación del agua: <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v27n3/v27n3a19.pdf>

Alvarez et al, (2019) Análisis multiespectral para la estimación de la turbidez como indicador de la calidad del agua en embalses del estado de Chihuahua, México: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rge/n62/2215-2563-rge-62-33.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia.

TÍTULO: "Aplicación de la teledetección usando Sentinel -2 para el monitoreo fisicoquímico del agua de la Laguna de Conache del 2025"

| PROBLEMA | HIPÓTESIS | OBJETIVOS | VARIABLES | METODOLOGÍA | POBLACIÓN |
|--|---|---|--|---|--|
| ¿Cómo contribuye la aplicación de la teledetección espectral usando Sentinel-2 en el monitoreo fisicoquímico del agua de la laguna de Conache? | H1: La aplicación de la teledetección espectral usando Sentinel mejorará significativamente la precisión del monitoreo fisicoquímico del agua de la laguna de Conache. | GENERAL: Evaluar la precisión del monitoreo fisicoquímico del agua de la laguna de Conache mediante la aplicación de teledetección espectral usando Sentinel -2. | VARIABLE DEPENDIENTE: Parámetros fisicoquímicos del agua. | Tipo de Investigación: Experimental Enfoque: Cuantitativo | Población: Agua de la Laguna Conache. Muestra: 7,5 L. Muestras de agua en puntos específicos. |
| | H0: La aplicación de la teledetección espectral usando Sentinel no mejorará significativamente la precisión del monitoreo fisicoquímico del agua de la laguna de Conache. | ESPECÍFICOS: 1. Analizar los parámetros fisicoquímicos a partir de Imágenes Sentinel-2 de cada punto de muestreo en el cuerpo de agua de la laguna Conache. 3. Construir un modelo matemático que describa la relación entre los parámetros fisicoquímicos (temperatura, turbidez, pH y SST) y la reflectancia en el espectro electromagnético en los puntos de muestreo del cuerpo de agua de la laguna Conache. 2. Comparar los datos obtenidos por teledetección con mediciones in situ para validar la precisión de los resultados. | VARIABLE INDEPENDIENTE: Teledetección espectral usando Sentinel. | Técnica: Muestreo y Observación Experimental. Observación mediante imágenes satelitales y análisis de laboratorio. | |

Anexo 2. Operacionalización de variables.

| VARIABLE INDEPENDIENTE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES | ÍNDICE | ESCALA DE MEDICIÓN |
|--------------------------------|---|--|----------------------------------|---|---|--------------------------------|
| TELEDETECCIÓN | Uso de sensores remotos para capturar datos espectrales del agua mediante el satélite Sentinel. | Adquisición de imágenes satelitales de la laguna de Conache para analizar parámetros fisicoquímicos. | Propiedades espectrales del agua | Valores de reflectancia en bandas específicas del Sentinel. | Unidades espectrales (nm). | Escala de razón (reflectancia) |
| VARIABLE DEPENDIENTE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES | ÍNDICE | ESCALA DE MEDICIÓN |
| MONITOREO FISICOQUÍMICO | Análisis de parámetros fisicoquímicos del agua para evaluar su calidad | Evaluación de parámetros como turbidez, clorofila y temperatura mediante datos procesados de Sentinel. | Parámetros de calidad del agua. | Valores de turbidez, pH, y temperatura, SST. | Unidades fisicoquímicas (mg/L, °C, NTU) | Escala de intervalo y razón. |



"Aplicación de la teledetección espectral usando Sentinel 2 para el monitoreo fisicoquímico del agua de la laguna de Conache – 2025"

Anexo 3. Cadena de Custodia del Primer Monitoreo



CADENA DE CUSTODIA - AGUA

N° 1

| Número de pedido o autorización: 001 | | | | | | | | | | Referencia: | | | | | | | | | | Muestra: Puntual <input checked="" type="radio"/> Composito <input type="radio"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|-----------------------|------------|--------------------|-------|--------------|---|---|---|---------------|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---------------|----|-----------------|-------------|----------|--|--|--|--|--|--|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|
| ÁREA SOLICITANTE: LABORATORIO DE ANALISIS INSTRUMENTAL UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE | | | | | | | | | | | | <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="10">Análisis requeridos / Preservantes</th> <th rowspan="4">Observaciones</th> </tr> <tr> <th>Ph</th> <th>Sólidos Totales</th> <th>Temperatura</th> <th>Turbidez</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | | | | | | | | | Análisis requeridos / Preservantes | | | | | | | | | | Observaciones | Ph | Sólidos Totales | Temperatura | Turbidez | | | | | | | X | X | X | X | | | | | | | X | X | X | X | | | | | | |
| Análisis requeridos / Preservantes | | | | | | | | | | Observaciones | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ph | Sólidos Totales | Temperatura | Turbidez | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Procedencia: LAGUNA CONACHE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fecha: 24/01/2025 | | Hora de inicio: 12:30 | | Hora de fin: 13:10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Muestreo realizado por: SENACE <input type="radio"/> OTRO <input checked="" type="radio"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Item | Estación | Cordenadas UTM | | Fecha | Hora | Tipo de agua | P | V | B | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | PA-01 | 725413.03 | 9100970.10 | 24/01/2025 | 12:30 | ALA | 3 | 0 | 0 | X | X | X | X | | | | | | | Todas las muestras fueron recibidas en perfectas condiciones y se almacenaron de acuerdo con los protocolos establecidos. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | PA-02 | 725364.85 | 9100925.21 | 24/01/2025 | 12:40 | ALA | 3 | 0 | 0 | X | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | PA-03 | 725438.57 | 9100940.65 | 24/01/2025 | 12:50 | ALA | 3 | 0 | 0 | X | X | X | X | | | | | | | Las muestras fueron transportadas en coolers y botellas para mantener la integridad y la temperatura adecuada durante el transporte. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | PA-04 | 725512.10 | 9100920.59 | 24/01/2025 | 13:00 | ALA | 3 | 0 | 0 | X | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | PA-05 | 725509.87 | 9101067.46 | 24/01/2025 | 13:10 | ALA | 3 | 0 | 0 | X | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

(*) Matriz: AR: Agua Residual, AC: Agua de Consumo, ASUB: Agua Subterránea, AS: Agua Superficial, RRLL: Residuos Líquidos, LIX: Lixiviados y Soluciones, LD: Lodos, SL: Suelos, SD: Sedimentos, RRSS: Residuos Sólidos, RRHH: Recursos Hidrobiológicos, O= Otros (especificar).

| | | | | | | | | |
|---------------------------|--------------------------------------|--------|------------|-------|-------|------------------------------|---|--|
| Inspector responsable: | Merly Mostacero/ Daniel Méndez | Fecha: | 3/02/2025 | Hora: | 13:30 | Material enviado: | Coolers <input checked="" type="checkbox"/> | Botellas <input checked="" type="checkbox"/> |
| | | | | | | | Ice packs <input type="checkbox"/> | Bolsas <input type="checkbox"/> |
| Recibido por laboratorio: | Laboratorio de Análisis instrumental | Fecha: | 13/02/2025 | Hora: | 13:45 | Material recepcionado: | Coolers <input checked="" type="checkbox"/> | Botellas <input checked="" type="checkbox"/> |
| | | | | | | | Ice packs <input type="checkbox"/> | Bolsas <input type="checkbox"/> |
| | | | | | | Total de muestras recibidas: | 15 MUESTRAS | |

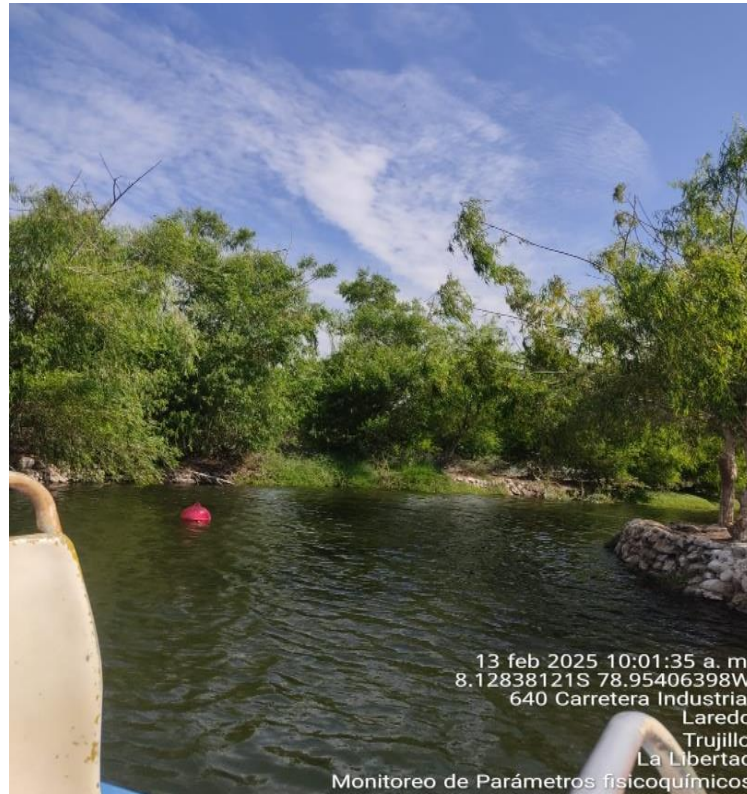
Anexo 5. *Lugar de Muestreo Laguna Conache Punto 1.*



Anexo 6. *Lugar de Muestreo Laguna Conache Punto 2.*



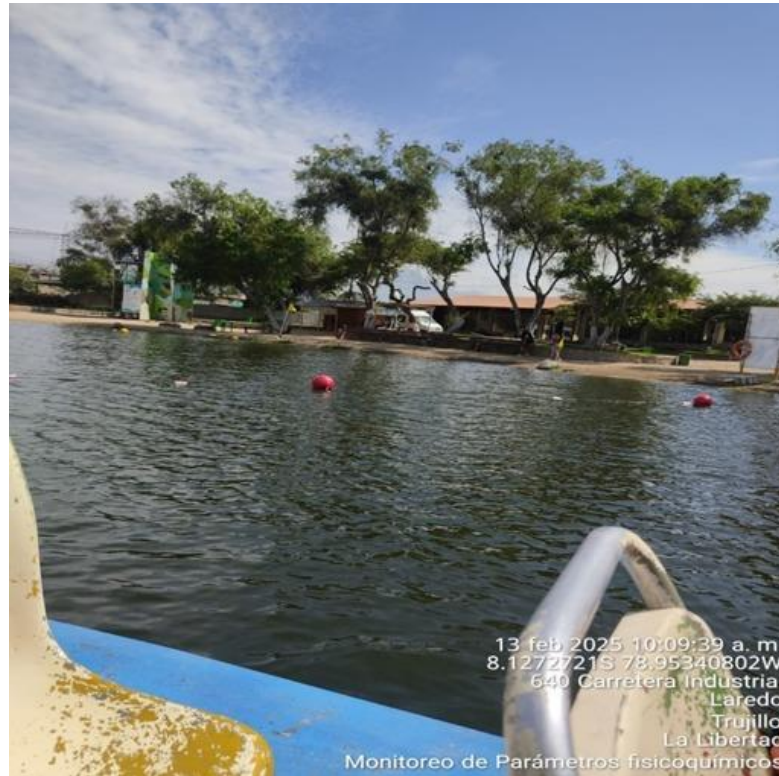
Anexo 7. *Lugar de Muestreo Laguna Conache Punto 3.*



Anexo 8. *Lugar de Muestreo Laguna Conache Punto 4.*



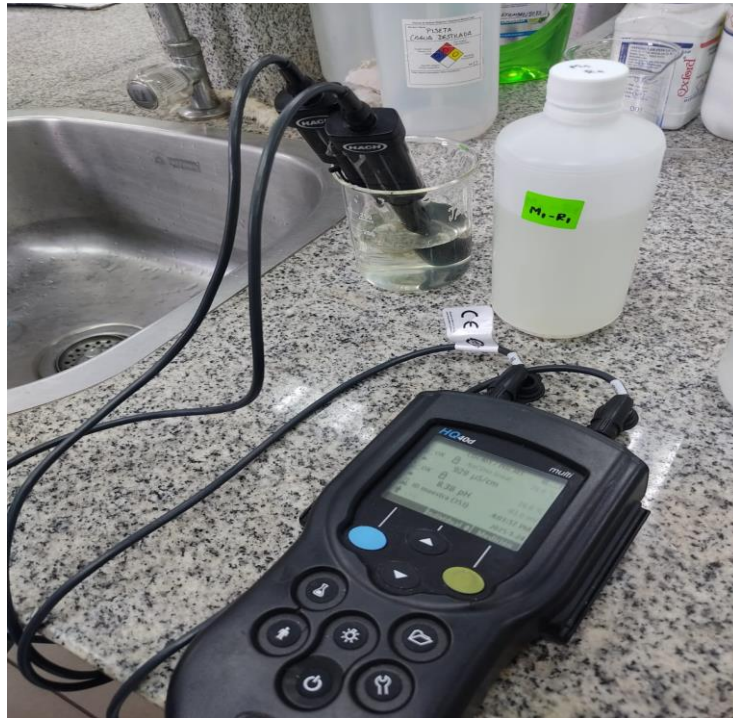
Anexo 9. *Lugar de Muestreo Laguna Conache Punto 5.*



Anexo 10. *Muestras de Agua para la medición de parámetros físicoquímicos.*



Anexo 11. *Analisis de pH y Temperatura en laboratorio de las muestras.*



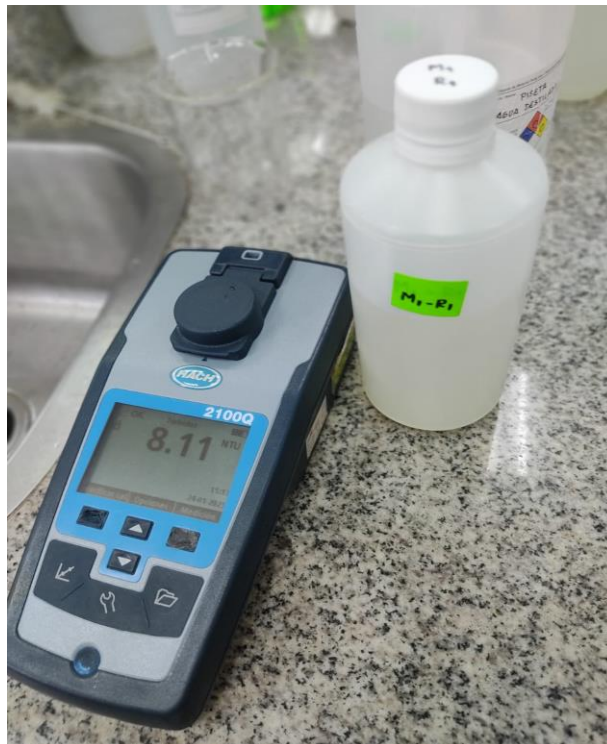
Anexo 12. *Analisis de los parámetros físicoquímicos en laboratorio de las muestras.*



Anexo 13. *Analisis de Solidos Suspendedos Totales en laboratorio de las muestras.*



Anexo 14. *Analisis de Turbidez en laboratorio de las muestras.*



Anexo 15. Solicitud para la toma de muestras al Gerente de la Laguna Conache.



"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

Trujillo, 24 de Enero 2025

Señor
Ismael Cruz Mesa
Presente. -

De nuestra consideración:

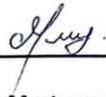
Por medio de la presente, nos dirigimos a usted para solicitar su autorización para el desarrollo de nuestra tesis titulada: **"Aplicación de la teledetección espectral usando Sentinel-2 para el monitoreo físicoquímico del agua de la laguna Conache – 2025"**, la cual realizó en el marco de mis estudios profesionales de la carrera de Ingeniería Ambiental.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo aplicar herramientas de teledetección mediante imágenes satelitales Sentinel-2, combinadas con datos de campo, para analizar parámetros físicoquímicos del agua de la laguna de Conache. Consideramos que esta investigación contribuirá con información valiosa para el monitoreo ambiental y la gestión sostenible de este importante cuerpo de agua.

Agradecemos de antemano su atención y quedamos a la espera de su autorización para continuar con el desarrollo de este proyecto académico.

Atentamente,

Daniel Méndez
Merly Mostacero



Merly Mostacero Yopez
Bachiller en Ingeniería Ambiental
DNI: 75785231



Daniel Méndez Torres
Bachiller en Ingeniería Ambiental
DNI: 80828509

Anexo 16 Carta de aceptación para la toma de muestras respectivas



"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

Trujillo, 24 de Enero 2025

Señor
Ismael Cruz Mesa
Presente. -

De nuestra consideración:

Por medio de la presente, nos dirigimos a usted para solicitar su autorización para el desarrollo de nuestra tesis titulada: **"Aplicación de la teledetección espectral usando Sentinel-2 para el monitoreo físicoquímico del agua de la laguna Conache – 2025"**, la cual realizó en el marco de mis estudios profesionales de la carrera de Ingeniería Ambiental.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo aplicar herramientas de teledetección mediante imágenes satelitales Sentinel-2, combinadas con datos de campo, para analizar parámetros físicoquímicos del agua de la laguna de Conache. Consideramos que esta investigación contribuirá con información valiosa para el monitoreo ambiental y la gestión sostenible de este importante cuerpo de agua.

Agradecemos de antemano su atención y quedamos a la espera de su autorización para continuar con el desarrollo de este proyecto académico.

Atentamente,

Daniel Méndez
Merly Mostacero



Merly Mostacero Yopez
Bachiller en Ingeniería Ambiental
DNI: 75785231



Daniel Méndez Torres
Bachiller en Ingeniería Ambiental
DNI: 80828509