

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Análisis comparativo de parámetros fisicoquímicos del Lago Junín mediante
técnicas de teledetección y mediciones in situ – Junín 2024**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Bach. Isaias Cesar QUINTANA ERRAZABAL

Asesor:

Dr. Luis Alberto PACHECO PEÑA

Oxapampa – Perú – 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Análisis comparativo de parámetros fisicoquímicos del Lago Junín mediante
técnicas de teledetección y mediciones in situ – Junín 2024**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Anderson MARCELO MANRIQUE
PRESIDENTE

Mg. Edson Valery RAMOS PEÑALOZA
MIEMBRO

Mg. Jesus Marino GOMEZ MIGUEL
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 017 2026-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

“Análisis Comparativo de Parámetros Fisicoquímicos del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ – Junín 2024”

Apellidos y nombres del tesista

Bach. Isaias Cesar QUINTANA ERRAZABAL

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. Luis Alberto PACHECO PEÑA

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Ambiental

Índice de Similitud

4 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 7 de mayo del 2026



Firmado digitalmente por PALOMINO
GILBERTO Ruben Edgar FAU
20154005040 uaf
Módulo: Siny el nombre del documento
Fecha: 03.05.2026 11:01:24 -05:00

DEDICATORIA

A Dios, por concederme el don de la vida, la salud, la sabiduría y la luz necesaria para guiar mis pasos en cada etapa de este camino.

A mis padres y hermanos, por su amor incondicional, su apoyo constante y la paciencia que siempre me han brindado, siendo mi mayor fortaleza en todo momento.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por ser el pilar fundamental en mi vida, por su apoyo incondicional y por darme la oportunidad de alcanzar mis metas y objetivos personales y profesionales.

A mi universidad, la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por brindarme una formación académica sólida y valiosas experiencias que han contribuido significativamente a mi crecimiento.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo analizar comparativamente los parámetros fisicoquímicos del Lago Junín mediante técnicas de teledetección y mediciones in situ, con el propósito de evaluar la correspondencia entre ambos métodos y determinar la eficacia del uso de imágenes satelitales en el monitoreo de la calidad del agua. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y comparativo, utilizando datos obtenidos del satélite Landsat 8 y Landsat 9, complementados con mediciones directas realizadas en campo. Los resultados evidenciaron una correlación significativa entre los valores satelitales y las medidas in situ para la temperatura y la conductividad eléctrica ($p = 0.001$), lo que confirma la fiabilidad del uso de la teledetección para estos parámetros. En el caso del pH ($p = 0.048$), la relación fue débil, mientras que el oxígeno disuelto ($p = 0.109$) no mostró una correspondencia significativa, evidenciando las limitaciones de los sensores ópticos para variables de alta variabilidad biológica. En conclusión, el estudio demuestra que la teledetección, constituye una herramienta eficaz y complementaria al monitoreo in situ para la evaluación ambiental de cuerpos lacustres. Su aplicación en el Lago Junín permite optimizar recursos, ampliar la cobertura espacial y fortalecer los sistemas de vigilancia ambiental, contribuyendo así a la gestión sostenible y conservación de los ecosistemas acuáticos altoandinos.

Palabras claves: Teledetección, medición in situ, calidad del agua, Lago Junín, parámetros fisicoquímicos, imágenes satelitales.

ABSTRACT

The present study aimed to comparatively analyze the physicochemical parameters of Lake Junín using remote sensing techniques and in situ measurements, with the purpose of evaluating the correspondence between both methods and determining the effectiveness of using satellite images in water quality monitoring. The research was developed using a quantitative, descriptive, and comparative approach, using data obtained from the Landsat 8 and Landsat 9 satellites, complemented by direct measurements made in the field. The results showed a significant correlation between satellite values and in situ measurements for temperature and electrical conductivity ($p = 0.001$), confirming the reliability of using remote sensing for these parameters. In the case of pH ($p = 0.048$), the relationship was weak, while dissolved oxygen ($p = 0.109$) showed no significant correspondence, highlighting the limitations of optical sensors for variables with high biological variability. In conclusion, the study demonstrates that remote sensing is an effective and complementary tool to in situ monitoring for the environmental assessment of lake bodies. Its application in Lake Junín allows for the optimization of resources, expansion of spatial coverage, and strengthening of environmental monitoring systems, thus contributing to the sustainable management and conservation of high Andean aquatic ecosystems.

Keywords: Remote sensing, in situ measurement, water quality, Lake Junín, physicochemical parameters, satellite images.

INTRODUCCIÓN

El Lago Junín, también conocido como Lago Chinchaycocha, es el segundo cuerpo de agua más grande del Perú y constituye un ecosistema de vital importancia ecológica y socioeconómica, al ser hábitat de especies endémicas y fuente de recursos hídricos para diversas actividades humanas (Ayala & Herrera, 2019). Sin embargo, en las últimas décadas, este ecosistema ha enfrentado una creciente presión antropogénica debido a descargas de aguas residuales, actividades mineras y cambios en el uso del suelo, lo que ha generado preocupaciones sobre la calidad de sus aguas y la salud del ecosistema en general (Cusiche & Miranda, 2019). Las evaluaciones tradicionales mediante mediciones in situ, aunque precisas, resultan limitadas en cobertura espacial y frecuencia temporal. Frente a esta problemática, las técnicas de teledetección han demostrado ser una herramienta complementaria eficaz al permitir el monitoreo continuo y de mayor alcance, facilitando la estimación de parámetros fisicoquímicos mediante el análisis de imágenes satelitales en correlación con datos obtenidos en campo (Loayza, Castillejos, Mestas, & Quiliche, 2017). La combinación de ambas metodologías posibilita una visión más integral del estado de los cuerpos de agua y permite optimizar las estrategias de gestión ambiental (Ayala & Herrera, 2019). En este sentido, la presente investigación tiene como objetivo evaluar la precisión y efectividad de las imágenes satelitales para el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del Lago Junín, comparándolos con mediciones directas en el sitio, con ello se espera que los resultados obtenidos contribuyan al entendimiento de la dinámica del lago, reducir gastos asociados al monitoreo tradicional, y sirvan como base para futuras acciones de conservación y manejo sostenible de este importante recurso hídrico.

ÍNDICE

Página.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.1.	Identificación y determinación del problema.	1
1.2.	Delimitación de la investigación.....	3
1.3.	Formulación del problema.	4
1.3.1.	Problema general.....	4
1.3.2.	Problemas específicos.....	5
1.4.	Formulación de objetivos.....	5
1.4.1	Objetivo general.	5
1.4.2.	Objetivos específicos.	5
1.5.	Justificación de la investigación.	6
1.6.	Limitaciones de la investigación.....	8

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio.....	10
------	------------------------------	----

2.2.	Bases teóricas – científicas.	17
2.3.	Definición de términos básicos.	26
2.4.	Formulación de Hipótesis.	27
2.4.1.	Hipótesis general.	27
2.4.2.	Hipótesis específica.	27
2.5.	Identificación de Variables.	28
2.6.	Definición Operacional de variables e indicadores.	29

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación.	30
3.2.	Nivel de investigación.	30
3.3.	Métodos de investigación.	31
3.4.	Diseño de investigación.	31
3.5.	Población y muestra.	31
3.6.	Técnicas e instrumento de recolección de datos.	33
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.	37
3.8.	Técnicas de procedimiento y análisis de datos.	37
3.9.	Tratamiento Estadístico.	47
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica.	47

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo.	48
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.	49
4.3.	Prueba de Hipótesis.	66
4.4.	Discusión de resultados.	69

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1. Características de Landsat 8 y 9.....	20
Tabla 2. Definición Operacional de Variables e indicadores.	29
Tabla 3. Coordenadas de Puntos de Muestreo.	32
Tabla 4. Características de la imagen Landsat 8/9.	39
Tabla 5. Resultado del monitoreo con Landsat 8/9 en los puntos de muestro	50
Tabla 6. Monitoreo in situ en los puntos de muestro	52
Tabla 7. Comparación del parámetro temperatura (datos in situ y Landsat)	54
Tabla 8. Comparación del parámetro pH (datos in situ y Landsat)	57
Tabla 9. Comparación del parámetro OD (datos in situ y Landasat).....	60
Tabla 10. Comparación del parámetro CE (datos in situ y Landsat)	63
Tabla 11. Matriz de p-valores (significancia) - in situ vs. Landsat 8/9.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 1. Mapa de ubicación del Lago Junín.	32
Figura 2. Mapa de Ubicación de Puntos de Muestreo.	33
Figura 3. Servidor del Servicio Geológico de los Estados Unidos.	34
Figura 4. Equipo Multiparámetro.	36
Figura 5. Equipo Oxímetro.	36
Figura 6. Equipo GPS.	37
Figura 7. Descarga de imagen Landsat 8/9.	38
Figura 8. Conversión de radiancia en el techo de la atmosfera (TOA).	41
Figura 9. Conversión a reflectancia TOA.	42
Figura 10. Mapa del índice NDWI del Lago Junín – Marzo 2025.	43
Figura 11. Comparación de temperatura: Medición in situ vs. Landsat	55
Figura 12. Dispersión de temperatura en in situ	56
Figura 13. Dispersión de temperatura en Landsat	56
Figura 14. Comparación del pH: Medición in situ y Landsat.	58
Figura 15. Dispersión de pH en Landsat.	59
Figura 16. Dispersión de pH in situ	59
Figura 17. Comparación del OD: Medición in situ y Landsat.	61
Figura 18. Dispersión de OD en in situ.	62
Figura 19. Dispersión de OD en Landsat.	62
Figura 20. Comportamiento de la CE: Medición in situ y Landsat	64
Figura 21. Dispersión de CE en in situ	65
Figura 22. Dispersión de CE en Landsat	65

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.

El monitoreo de la calidad de cuerpos de agua, como lagos y ríos, plantea desafíos significativos a nivel global debido a la vasta extensión de estos recursos y su constante exposición a diversas fuentes de contaminación. Factores como el crecimiento industrial y agrícola contribuyen a la liberación de contaminantes químicos y orgánicos, lo que deteriora la calidad del agua, afecta la biodiversidad y reduce la disponibilidad de recursos hídricos para consumo humano. En este contexto, las técnicas de teledetección han emergido como herramientas cruciales para la evaluación espacial y temporal de la calidad del agua, ofreciendo una alternativa eficaz frente a los métodos tradicionales. No obstante, persisten limitaciones relacionadas con la disponibilidad de tecnologías avanzadas, la complejidad en la interpretación de datos satelitales y la integración de estos con mediciones directas en campo, dificultando la implementación de estrategias efectivas de monitoreo y conservación en distintos escenarios geográficos y climáticos.

En Perú, este desafío adquiere una relevancia crítica debido a la creciente presión ejercida sobre los cuerpos de agua por actividades mineras, agrícolas y urbanas. El Lago Junín, uno de los mayores del país y de importancia estratégica por su biodiversidad y su valor como fuente hídrica, enfrenta altos niveles de contaminación que impactan la salud humana y la fauna local. Aunque se han implementado programas de monitoreo ambiental, estos adolecen de deficiencias estructurales, como la falta de equipamiento tecnológico adecuado y la limitada integración de estudios que combinen teledetección con monitoreo in situ. A ello se suma la insuficiencia de recursos financieros y la carencia de personal capacitado para interpretar y analizar datos complejos, lo que dificulta la generación de información precisa y confiable.

El Lago Junín, considerado el segundo cuerpo de agua más grande del Perú, cumple un rol ecológico fundamental en la regulación hídrica, la biodiversidad y las actividades socioeconómicas de las comunidades del altiplano central. Sin embargo, durante las últimas décadas ha experimentado un progresivo deterioro ambiental producto de las actividades mineras, agrícolas y urbanas desarrolladas en su cuenca, generando acumulación de metales pesados, aumento de nutrientes, eutrofización y reducción de la calidad del agua. Diversos estudios del Ministerio del Ambiente y de la Autoridad Nacional del Agua han advertido que los niveles de concentración de ciertos parámetros fisicoquímicos, como el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno, se encuentran fuera de los límites permisibles establecidos para cuerpos de agua naturales (MINAM, 2023).

En la actualidad, la evaluación ambiental del Lago Junín se realiza principalmente mediante mediciones in situ, las cuales, si bien son precisas, resultan costosas, demandan tiempo y presentan limitaciones para abarcar zonas extensas o de difícil acceso. Frente a ello, las técnicas de teledetección han emergido como

herramientas complementarias para el monitoreo de la calidad del agua, permitiendo estimar indirectamente variables como la temperatura superficial, la turbidez, la concentración de clorofila-a o la reflectancia espectral asociada a sólidos suspendidos. No obstante, el uso relacional de la teledetección en el Lago Junín se ha orientado principalmente al análisis de la dispersión de contaminantes o a la caracterización superficial del cuerpo lacustre, sin integrar plenamente la evaluación comparativa de parámetros fisicoquímicos relevantes.

Esta situación evidencia una limitación en la aplicación de la teledetección para el análisis integral de la calidad del agua, pues los parámetros físicos comúnmente estimados por sensores satelitales —como temperatura, turbidez— no permiten inferir de manera directa la concentración de compuestos químicos disueltos. Por tanto, resulta necesario establecer una correlación técnica entre los datos espectrales obtenidos por teledetección y los valores fisicoquímicos registrados mediante mediciones in situ, con el propósito de validar la eficiencia de la teledetección como herramienta de monitoreo ambiental en ecosistemas acuáticos altoandinos.

1.2. Delimitación de la investigación.

La presente investigación se circunscribe al Lago Junín, ubicado en el departamento de Junín, región central del Perú, considerado un ecosistema altoandino de gran relevancia ecológica y socioambiental. El estudio consistió en la comparación entre los parámetros fisicoquímicos obtenidos mediante mediciones in situ y los estimados a través de técnicas de teledetección basadas en el procesamiento de imágenes satelitales.

Los parámetros fisicoquímicos que se evaluarán serán definidos de acuerdo con la referencia normativa peruana vigente, principalmente la Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA, que aprueba el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de

los Recursos Hídricos Superficiales, y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua establecidos mediante el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. Estos documentos normativos constituyen el marco de referencia técnico y legal para determinar los límites permisibles de calidad y las metodologías de evaluación de los cuerpos de agua naturales en el Perú.

En este contexto, se considerarán como parámetros fisicoquímicos de referencia: pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto). Dichos parámetros serán medidos siguiendo un protocolo de monitoreo adaptado al entorno lacustre del Lago Junín, el cual incluirá la selección de estaciones de muestreo georreferenciadas, el uso de equipos multiparamétricos calibrados y la aplicación de técnicas de muestreo representativas.

Por su parte, la teledetección se aplicará mediante el análisis de imágenes satelitales obtenidas de plataformas de la USGS (Landsat 8 y 9), cuyas bandas espectrales permiten estimar variables indirectas relacionadas con la calidad del agua, como turbidez, temperatura superficial y clorofila-a. La investigación se delimita a establecer la correlación y diferencias entre los valores obtenidos por ambas metodologías, con el fin de evaluar la confiabilidad de los datos satelitales frente a las mediciones directas y determinar su aplicabilidad en futuros programas de monitoreo ambiental.

1.3. Formulación del problema.

1.3.1. Problema general.

¿Qué similitudes comparativas hay en los parámetros fisicoquímicos del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ?

1.3.2. Problemas específicos.

- a) ¿Qué similitudes comparativas hay de temperatura del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ?
- b) ¿Qué similitudes comparativas hay de pH del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ?
- c) ¿Qué similitudes comparativas hay de conductividad eléctrica, del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ?
- d) ¿Qué similitudes comparativas hay de oxígeno disuelto del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ?

1.4. Formulación de objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

Analizar comparativamente los parámetros fisicoquímicos del Lago Junín mediante técnicas de teledetección y mediciones in situ.

1.4.2. Objetivos específicos.

- a) Analizar comparativamente la temperatura del Lago Junín mediante técnicas de teledetección y mediciones in situ.
- b) Analizar comparativamente el pH del Lago Junín mediante técnicas de teledetección y mediciones in situ.
- c) Analizar comparativamente la conductividad eléctrica del Lago Junín mediante técnicas de teledetección y mediciones in situ.
- d) Analizar comparativamente el oxígeno disuelto del Lago Junín mediante técnicas de teledetección y mediciones in situ.

1.5. Justificación de la investigación.

1.5.1. Justificación Teórica:

Desde un punto de vista teórico, esta investigación contribuirá al cuerpo de conocimientos en el campo de la gestión ambiental y la hidrogeografía, al explorar la efectividad de la teledetección y su capacidad para monitorear parámetros críticos en cuerpos de agua. También enriquecerá la literatura sobre las metodologías combinadas de teledetección y análisis in situ en la evaluación de la calidad del agua, proporcionando datos comparativos que permitirán entender mejor los patrones de contaminación y degradación en lagos de características similares. Esta investigación, al añadir evidencia sobre la utilidad de la teledetección en cuerpos de agua, impulsará futuros estudios para explorar sus aplicaciones en diversos contextos ecológicos.

1.5.1. Justificación Práctica:

Esta investigación es relevante en el ámbito práctico porque permitirá optimizar el monitoreo de la calidad del agua en el Lago Junín, un recurso vital tanto para el ecosistema local como para las comunidades cercanas. La implementación de técnicas de teledetección contribuirá a un seguimiento continuo y más eficiente, facilitando la detección temprana de contaminantes y la identificación de zonas críticas que requieren intervención. Además, los resultados podrán orientar a las autoridades y a las organizaciones ambientales en la toma de decisiones para implementar estrategias de conservación y saneamiento que respondan a la situación real del lago y sus alrededores.

1.5.2. Justificación Metodológica:

La combinación de técnicas de teledetección con análisis in situ constituye un enfoque metodológico integral que fortalece la precisión y validez de los datos espaciales y temporales sobre la calidad del agua del Lago Junín. Este método mixto

permite correlacionar la información espectral obtenida mediante sensores satelitales con los valores fisicoquímicos medidos directamente en campo, garantizando una mayor confiabilidad en la interpretación de los resultados. Asimismo, facilita la identificación de variaciones en la calidad del agua a diferentes escalas, optimizando el monitoreo ambiental y contribuyendo al desarrollo de modelos de análisis más eficientes y aplicables a ecosistemas acuáticos altoandinos.

1.5.3. Justificación económica:

El Lago Junín representa un recurso hídrico vital para el desarrollo económico de la región, ya que su uso está vinculado a actividades como la agricultura, ganadería, pesca y turismo. La contaminación progresiva de este lago puede generar pérdidas significativas para estos sectores productivos, afectando la economía local y regional. Al analizar y validar el uso de técnicas de teledetección como alternativa complementaria para el monitoreo ambiental, esta investigación contribuirá a la implementación de sistemas de gestión más eficientes y menos costosos en el largo plazo. Esto permitirá reducir los gastos asociados al monitoreo tradicional, como el transporte, la logística y el tiempo de análisis, promoviendo un enfoque sostenible y accesible para las comunidades locales y las instituciones responsables de la gestión de recursos hídricos.

1.5.4. Justificación social:

La salud y bienestar de las comunidades que dependen del Lago Junín están en riesgo debido a la contaminación de sus aguas, la cual impacta negativamente en la calidad de vida de las personas, especialmente en términos de acceso a agua potable y alimentos seguros. Este estudio busca generar información clave que permita identificar zonas críticas de contaminación y proponer estrategias de mitigación, fortaleciendo la capacidad de respuesta frente a problemas ambientales. Además, la investigación

fomenta la sensibilización y participación de la población local en la conservación del lago, promoviendo una cultura de cuidado ambiental y el empoderamiento de las comunidades en la gestión de sus recursos.

1.5.5. Justificación ambiental:

El Lago Junín es un ecosistema único que alberga una biodiversidad significativa, incluyendo especies endémicas y de importancia ecológica. La contaminación del lago no solo amenaza su equilibrio ecológico, sino que también pone en peligro a la fauna y flora circundantes. Al evaluar la precisión de las imágenes satelitales como herramienta de monitoreo, esta investigación contribuye a optimizar las estrategias de conservación, facilitando una vigilancia más amplia y continua de los parámetros fisicoquímicos del lago. Los resultados permitirán diseñar medidas de protección más efectivas y oportunas, garantizando la preservación de este ecosistema vital para las futuras generaciones.

1.6. Limitaciones de la investigación.

La presente investigación puede presentar limitaciones asociadas a las condiciones climáticas y estacionales propias del entorno altoandino donde se ubica el Lago Junín. La calidad del agua y los parámetros fisicoquímicos varían significativamente según la época del año, influenciados por las precipitaciones y la temperatura. En esta zona, el régimen climático se caracteriza por una marcada estación lluviosa que se extiende de diciembre a abril y una estación seca entre mayo y noviembre (SENAMHI, 2022). Dado ello, los resultados del estudio estarán condicionados por los meses seleccionados para el muestreo y análisis. En este caso, la investigación se desarrollará principalmente en marzo, periodo de transición hacia la estación seca, en el cual se facilita el acceso al cuerpo lacustre y la obtención de imágenes satelitales con menor interferencia nubosa. Sin embargo, esta elección puede

limitar la representatividad de las condiciones hidrológicas del lago durante los meses de mayor precipitación (diciembre a abril), cuando se presentan mayores aportes de escorrentía superficial y posibles alteraciones en la calidad del agua. Asimismo, factores como la resolución espacial y temporal de las imágenes satelitales, la disponibilidad de datos libres de interferencias atmosféricas y las dificultades logísticas inherentes al trabajo de campo podrían influir en la precisión, continuidad y generalización de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio.

2.1.1. Internacionales:

Sefercik et al. (2024) investigó los efectos del moco marino en la calidad del agua del Mar de Mármara durante la primavera de 2021. Este estudio se basó en el análisis detallado de parámetros fisicoquímicos, como temperatura, oxígeno disuelto y sólidos suspendidos, utilizando una combinación de muestras in situ, espectros de reflectancia y datos de los satélites Sentinel-1, 2 y 3. Los resultados revelaron que las áreas cubiertas por mucílago intenso e intermedio redujeron la señal de retrodispersión de radar en un rango de 0.5 a 1 decibel y aumentaron la temperatura del agua entre 1.05 y 2.25 °C. Además, se observó que las condiciones generadas por el moco marino alteraban significativamente los parámetros evaluados. Se concluyó que el análisis combinado de datos satelitales y mediciones in situ representa una metodología eficaz para evaluar el impacto de fenómenos ambientales complejos en la calidad del agua, ofreciendo una herramienta valiosa para la gestión ambiental.

Tenesaca y Zarate (2022) abordó la caracterización geoambiental de las lagunas del macizo del Cajas en Ecuador, utilizando técnicas de teledetección para evaluar su estado ambiental y detectar posibles impactos en el ecosistema. El objetivo es determinar las condiciones actuales de estas lagunas, cruciales para la biodiversidad y el abastecimiento de agua de la región. La problemática se centra en la vulnerabilidad de estos cuerpos de agua frente a factores como el cambio climático y la actividad humana, que amenazan su calidad y biodiversidad. La metodología combina el análisis de imágenes satelitales y estudios de campo para recopilar datos sobre las características físico-químicas y la vegetación de las zonas aledañas a las lagunas. Los resultados revelan variaciones en la calidad del agua y en la cobertura vegetal, lo cual evidencia el impacto ambiental que sufre el área. La conclusión destaca la efectividad de la teledetección como herramienta para el monitoreo de ecosistemas y enfatiza la necesidad de políticas de conservación para proteger las lagunas del Cajas y su entorno natural.

Quiceno (2021) analiza diversas variables asociadas a la calidad del agua en el humedal Río Blanco, con el objetivo de contribuir al desarrollo tecnológico de sensores y su parametrización en el marco del proyecto IoT (Internet de las Cosas) para el monitoreo de la calidad del agua. La problemática aborda la necesidad de un monitoreo constante y efectivo de la calidad del agua en humedales, que son ecosistemas vulnerables y cruciales para la biodiversidad, especialmente ante la contaminación y el cambio climático. La metodología incluye la recolección de datos de calidad del agua, tales como pH, turbidez, temperatura, y la identificación de contaminantes. Además, se evalúan diferentes tecnologías de sensores para determinar su efectividad y viabilidad en el monitoreo remoto. Los resultados muestran que existen variaciones significativas en las variables de calidad del agua, indicando la influencia de factores ambientales y

antropogénicos. En conclusión, el estudio resalta la importancia de implementar tecnologías de sensores en tiempo real para el monitoreo de humedales y sugiere que el uso de IoT puede facilitar la recolección de datos, mejorando la gestión y conservación de estos ecosistemas.

Nazirova et al. (2021) tuvo por objetivo comparar la turbidez del agua y la concentración de material particulado suspendido (SPM) obtenidas a partir de datos in situ y de teledetección satelital cuasi-sincrónicos en la desembocadura del río Mzymta, Mar Negro. La metodología incluyó mediciones in situ realizadas desde un bote con sensores de turbidez en un CTD (Conductividad, Temperatura, Profundidad), un turbidímetro portátil, análisis de laboratorio y recolección de datos meteorológicos. Paralelamente, se usaron métodos de teledetección con los procesadores C2RCC y ACOLITE aplicados a imágenes satelitales de Landsat-8 OLI y Sentinel-2A/2B MSI. Los resultados mostraron que el C2RCC tuvo la mayor correlación con los datos in situ para valores de SPM superiores a 20 g/m³, mientras que ACOLITE sobreestimó los valores en rangos bajos (hasta 15 g/m³) en 1.5 veces. Se concluyó que, con algoritmos adecuados, las imágenes satelitales pueden reflejar de manera precisa la turbidez y el SPM, incluso con algoritmos estándar en áreas específicas.

Demetillo et al. (2020) se propuso analizar las disparidades espaciales de dióxido de nitrógeno (NO₂) en Houston, Texas, utilizando datos del espectrómetro aéreo NASA GCAS y del sensor satelital TROPOMI. Se usaron columnas verticales de NO₂ de alta resolución espacial (250 m × 500 m) y se compararon niveles de NO₂ entre diferentes grupos socioeconómicos y étnicos. Los resultados indicaron un 37 ± 6% más de NO₂ en vecindarios de bajos ingresos y mayoría no blanca respecto a áreas de ingresos altos y predominantemente blancas. TROPOMI corroboró las tendencias espaciales, aunque con menor resolución. Se concluyó que la teledetección satelital es

una herramienta valiosa para evaluar y monitorear la contaminación urbana, apoyando la toma de decisiones basada en evidencia.

2.1.2. Nacionales:

Orbegoso y Blas (2023) en su investigación se enfocaron en la aplicación de la teledetección espectral utilizando el satélite Landsat 8 para el monitoreo fisicoquímico del agua de la laguna de Conache en 2023. El objetivo principal es evaluar la calidad del agua de la laguna y detectar cambios en sus características fisicoquímicas a lo largo del tiempo. La problemática se basa en la posible degradación de la calidad del agua debido a la contaminación proveniente de actividades agrícolas y urbanas en la cuenca, que podrían afectar tanto la biodiversidad local como el uso del agua para actividades recreativas y de consumo. La metodología incluye la obtención de imágenes satelitales de Landsat 8, complementadas con análisis de campo para validar los datos, en los que se miden parámetros como pH, turbidez y concentración de nutrientes. Los resultados indican que se han producido cambios en la calidad del agua, con evidencias de contaminación en ciertas áreas, lo que sugiere la necesidad de acciones de manejo y conservación. En conclusión, el estudio destaca la utilidad de la teledetección como herramienta eficaz para el monitoreo ambiental y enfatiza la importancia de implementar estrategias de conservación para proteger la laguna de Conache.

Aguirre y Quispe, (2024) desarrollaron una investigación orientada al uso de la teledetección para el monitoreo de cuerpos lacustres, específicamente en las lagunas “La Grande” y “Gemelas” de Alto Perú. El objetivo principal del estudio fue estimar los parámetros fisicoquímicos del agua mediante el procesamiento de imágenes del satélite Landsat 9, aplicando modelos matemáticos en el software QGIS, con el propósito de comparar los resultados entre una laguna cercana a actividades extractivas y otra alejada de estas. La metodología incluyó tanto el análisis de imágenes satelitales

como la validación de los resultados mediante monitoreo in situ y análisis de laboratorio. Los resultados mostraron que los valores obtenidos por teledetección guardaron correspondencia con los datos medidos directamente, lo que demostró la eficacia de las técnicas satelitales en la estimación de parámetros fisicoquímicos del agua. En conclusión, los autores destacaron que la teledetección constituye una herramienta innovadora y accesible para el monitoreo ambiental de lagos y lagunas, promoviendo su aplicación en futuras investigaciones y en la gestión de los recursos hídricos del país y control de vertimientos para evitar un deterioro progresivo de su ecosistema.

Zuta y Palma (2023) realizaron un análisis sobre la presencia de coliformes fecales en la bahía de Pucusana utilizando imágenes de los satélites Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI, complementadas con modelos de regresión para correlacionar reflectancia y concentraciones de microorganismos. Este enfoque permitió generar mapas espaciales detallados que evidenciaron un incremento progresivo de coliformes en la bahía, asociado principalmente al vertido de aguas residuales. Los resultados subrayaron que los datos satelitales son herramientas altamente efectivas para la estimación de parámetros de calidad del agua, proporcionando información crucial para identificar tendencias y problemáticas ambientales. Se concluyó que el uso de teledetección no solo es rentable, sino que también apoya la toma de decisiones orientadas a mejorar la gestión sanitaria y ambiental en áreas costeras vulnerables.

Estrada y Macahuachi (2023) llevaron a cabo un análisis exhaustivo sobre la distribución espacial de parámetros de calidad del agua en la laguna Yarinacocha, empleando imágenes de Sentinel-2A y mediciones in situ. Las observaciones realizadas en septiembre de 2022 permitieron evaluar clorofila-a, sólidos suspendidos totales (SST) y transparencia mediante técnicas avanzadas de regresiones y correcciones

atmosféricas. Los resultados incluyeron el desarrollo de un modelo polinómico para SST ($R^2=0.99$) y un modelo tribanda para transparencia ($R^2=0.98$), lo que demostró una alta precisión en la estimación de estos parámetros. Además, se determinó que el 10.4% de la laguna superaba los 25 mg/L de SST, incumpliendo con los estándares del ECA-agua. Este estudio concluyó que la integración de tecnologías de teledetección y datos in situ proporciona un monitoreo más eficiente y preciso de la calidad del agua, destacando su utilidad para la gestión sostenible de recursos hídricos.

Portal y Zambrano (2021) este estudio se centra en el monitoreo fisicoquímico del agua de la laguna San Nicolás en Cajamarca mediante teledetección espectral con el satélite Landsat 8, buscando analizar la calidad del agua y su variabilidad espacial y temporal. La problemática radica en la degradación de la calidad del agua de la laguna, afectada por actividades humanas y factores naturales, que pueden comprometer su uso y conservación. La metodología emplea imágenes satelitales de Landsat 8 para realizar un análisis espectral y obtener datos sobre parámetros fisicoquímicos, como la temperatura y la concentración de sólidos disueltos, complementados con mediciones in situ para validar los resultados. Los resultados muestran patrones de alteración en la calidad del agua que sugieren contaminación en ciertas áreas, probablemente vinculada a descargas de aguas residuales y actividades agrícolas. En conclusión, el estudio confirma que la teledetección es una herramienta eficaz para el monitoreo ambiental y subraya la necesidad de acciones de conservación para mejorar la calidad del agua en la laguna San Nicolás.

Salas et al. (2020) en su estudio investiga la distribución de metales pesados y metaloides en aguas superficiales y sedimentos del río Crucero en Perú, con el objetivo de evaluar los niveles de contaminación y su posible impacto ambiental y en la salud humana. La problemática gira en torno a la presencia de metales contaminantes en el

río, derivada de actividades mineras y agrícolas, que afecta tanto la calidad del agua como los ecosistemas y representa un riesgo para las comunidades locales. La metodología incluye la recolección y análisis de muestras de agua y sedimento en diferentes puntos del río, utilizando técnicas de laboratorio para identificar y cuantificar la concentración de elementos como arsénico, cadmio, plomo y mercurio. Los resultados revelan una distribución desigual de los metales en el río, con concentraciones elevadas en áreas cercanas a zonas mineras, superando en varios casos los límites recomendados por estándares internacionales. En conclusión, el estudio subraya la necesidad de implementar medidas de mitigación y monitoreo regular, proponiendo acciones para reducir la exposición humana y proteger el ecosistema del río Crucero.

2.1.3. Locales:

Mamani (2024) cuyo objetivo fue evaluar la calidad del agua del Lago Chinchaycocha mediante el monitoreo de parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos, a fin de identificar posibles fuentes de contaminación y su impacto en el ecosistema acuático. Su metodología se basó en análisis comparativo de los resultados obtenidos durante los años 2019, 2020, 2021 y 2022. Se tomaron muestras de agua en diferentes puntos. Como resultado se evidenció que, en el año 2022, los valores de nitrógeno total, sólidos suspendidos totales, plomo y zinc superaron los límites permitidos por los ECA, en comparación con los años anteriores. Las zonas con mayor concentración de contaminantes coincidieron con áreas de descarga de aguas residuales domésticas y zonas influenciadas por la actividad minera. Concluyendo que el Lago Chinchaycocha presenta un nivel significativo de contaminación, especialmente por metales pesados y nutrientes, lo cual representa un riesgo para el

ecosistema y la salud humana. Se recomienda fortalecer las estrategias de control ambiental y establecer un sistema de monitoreo permanente.

2.2. Bases teóricas – científicas.

2.2.1. Teledetección.

Caballero et al. (2022) , define a la teledetección como el proceso de recopilación de datos sobre un objeto o área a distancia, generalmente a través de imágenes aéreas o satelitales. Esta técnica es particularmente útil para monitorear cambios ambientales, como la calidad del agua, ya que permite a los investigadores capturar variaciones espaciales y temporales sin contacto directo con el tema en estudio. Los autores enfatizan su papel en el monitoreo ambiental, especialmente durante eventos como erupciones volcánicas, donde los métodos tradicionales pueden resultar poco prácticos.

Los principios de la teledetección se basan en la interacción de la radiación electromagnética con los objetos en la superficie terrestre. Los sensores pueden ser clasificados en dos categorías: activos y pasivos. Los sensores activos generan su propia señal, como los radares y los láseres, y miden la energía reflejada por los objetos. Por otro lado, los sensores pasivos detectan la radiación que los objetos emiten o reflejan, como las cámaras y los espectrómetros que utilizan la luz solar (Caballero, Roman, Tovar, & Navarro, 2022).

En el contexto del monitoreo ambiental, la teledetección se utiliza para medir parámetros físico-químicos del agua, como la temperatura, la turbidez, y la concentración de contaminantes. Esta tecnología permite a los investigadores y responsables de la gestión ambiental obtener datos sobre la calidad del agua en grandes áreas y en tiempo real, facilitando la identificación de cambios y la toma de decisiones informadas (Caballero, Roman, Tovar, & Navarro, 2022).

La resolución espacial, espectral y temporal son aspectos críticos en la teledetección. La resolución espacial se refiere a la capacidad de un sensor para distinguir entre objetos cercanos en la imagen; cuanto mayor sea la resolución espacial, más detalle se puede observar. La resolución espectral se relaciona con la capacidad de un sensor para detectar diferentes longitudes de onda, lo que permite identificar diferentes materiales y características en la superficie terrestre. Finalmente, la resolución temporal se refiere a la frecuencia con la que un sensor puede capturar imágenes de la misma área; una alta resolución temporal es esencial para monitorear cambios dinámicos, como la variabilidad en la calidad del agua debido a eventos estacionales o contaminación. En conjunto, estas resoluciones garantizan que los datos obtenidos sean precisos y útiles para la evaluación y gestión ambiental (Caballero, Roman, Tovar, & Navarro, 2022).

Landsat 8.

El Landsat 8 es un satélite de observación terrestre lanzado el 11 de febrero de 2013 como parte del programa Landsat desarrollado por la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Su principal objetivo es registrar imágenes multispectrales de la superficie terrestre para analizar los cambios en el medio ambiente, el uso del suelo, los cuerpos de agua y los recursos naturales. Este satélite cuenta con dos sensores principales: el Operational Land Imager (OLI), que capta información en nueve bandas espectrales que abarcan desde el espectro visible hasta el infrarrojo de onda corta, y el Thermal Infrared Sensor (TIRS), encargado de medir la radiación térmica en dos bandas del infrarrojo térmico. La resolución espacial de Landsat 8 es de 30 metros para las bandas multispectrales, 15 metros para la banda pancromática y 100 metros para las bandas térmicas (re-muestreadas a 30 m). Además, su periodo de revisita es de 16 días, lo que permite obtener información actualizada y

comparativa en diferentes momentos del tiempo. Gracias a estas características, Landsat 8 se utiliza ampliamente en estudios de vegetación, monitoreo de la temperatura superficial, recursos hídricos, agricultura, minería y gestión ambiental (USGS, 2023).

Landsat 9.

Por su parte, el Landsat 9, lanzado el 27 de septiembre de 2021, representa la continuidad del histórico programa Landsat, garantizando la obtención ininterrumpida de datos satelitales de alta calidad sobre la superficie terrestre. Este satélite fue diseñado como un sucesor casi idéntico al Landsat 8, con mejoras en la precisión radiométrica y en la calibración de sus sensores. Está equipado con dos instrumentos avanzados: el Operational Land Imager 2 (OLI-2), que capta información en nueve bandas espectrales similares a las de su predecesor, y el Thermal Infrared Sensor 2 (TIRS-2), que mide la radiación térmica en dos bandas con menor nivel de ruido. Su resolución espacial es de 30 metros para las bandas multiespectrales, 15 metros para la pancromática y 100 metros para las térmicas (re-muestreadas a 30 m), mientras que su frecuencia de revisita también es de 16 días. Sin embargo, al operar conjuntamente con el Landsat 8, ambos satélites logran una cobertura combinada de 8 días, mejorando así la capacidad de monitoreo continuo del planeta. Los datos del Landsat 9 se aplican en diversos campos, como el análisis de la deforestación, el seguimiento del cambio climático, la evaluación de la cobertura vegetal, la gestión agrícola, el monitoreo de cuerpos de agua y la planificación urbana (NASA, 2022).

Tabla 1. Características de Landsat 8 y 9.

	Banda	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución en (metros)
Landsat 8 y 9 Operativa Imagen Terra (OLI) y Térmica Infrarroja del sensor (STIR)	1. Ultra azul (costero/aerosol)	0.43-0.45	30
	2. Azul	0.45-0.51	30
	3. Verde	0.53-0.59	30
	4. Rojo	0.64-0.67	30
	5. Infrarrojo Cercano (NIR)	0.85-0.88	30
	6. Onda Corta Infrarroja (SWIR) 1	0.57-0.65	30
	7. Onda Corta Infrarroja (SWIR) 2	02.11-02.29	30
	8. Pancromática	0.50-0.68	15
	9. Cirrus	1.36-1.38	30
	10. Infrarrojo Térmico (SITR) 1	10.60-11.19	100
	11. Infrarrojo Térmico (SITR) 2	11.50-12.51	100

Fuente: USGS (2013)

2.2.2. El Lago Junín (Chinchaycocha).

El Lago Junín, denominado también Chinchaycocha, constituye uno de los cuerpos de agua más importantes del Perú y de los Andes Centrales. El lago integra una extensión promedio de 470 km² de espejo de agua, ubicado a 4,080 m.s.n.m., con una profundidad fluctuante según las estaciones, con un máximo de 40 metros en las zonas centrales, recibiendo aportes de manantiales e infiltraciones que descienden de la cordillera oriental y occidental (Cusiche & Miranda, 2019).

Categorización

Su categorización como lago se sustenta en su profundidad (hasta 40 metros en zonas específicas) (OEFA, 2013), y su extensión de aproximadamente 53,000 hectáreas, siendo el segundo cuerpo de agua más grande del Perú (SERNANP, 2019). Desde el punto de vista jurídico, el Estado Peruano formalizó esta denominación mediante el Decreto Supremo N° 0750-74-AG, que estableció la Reserva Nacional de Junín con el objetivo de proteger este espejo de agua y su biodiversidad endémicas, formando parte del Sistema Natural de Áreas Protegidas por el Estado bajo la jurisdicción del SERNANP. Asimismo, el Lago Junín es reconocido por la Convención Ramsar desde 1997 como humedal de importancia internacional, especialmente por ser un importante hábitat de aves acuáticas (SERNANP, s.f.)

2.2.3. Parámetros Fisicoquímicos del Agua.

La calidad de aguas se ha determinado a partir de variables físicas, químicas y biológicas ya sean evaluadas individualmente o grupalmente, estos parámetros fisicoquímicos dan informaciones extensas de la naturaleza de especies químicas del agua y propiedades físicas, la ventaja de las variables fisicoquímicas es que son rápidas de medir y pueden analizarse con mayor frecuencia, también permitiendo usarlo con diferentes fines, dependiendo de la necesidad por el parámetro a conocer (Huamán, Lucen, Paredes, & Alfaro, 2020).

Los métodos basados para medir los indicadores fisicoquímicos del agua, solo valoran sus características en el momento en que se toma la muestra, por lo cual no pueden detectar la acción de factores ocasionales que sean de corta duración y no estén dentro del rango de muestreo, salvo que el muestreo sea de manera muy continua (Portal & Zambrano, 2021).

Los datos fisicoquímicos analizan los comportamientos o causas del problema, pero se necesita una frecuencia de muestreo más extensa, ya que indican una condición puntual del agua por cada muestra, en comparación los indicadores biológicos que también son sustanciales para la determinación de condiciones físicas y químicas son más utilizados a largo plazo.

Guajardo (2021) realizó un estudio de índices fisicoquímicos de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación donde se evaluaron las variables fisicoquímicas más relevantes: Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, sólidos suspendidos, pH, nitrato, conductividad, temperatura, fósforo total, DQO (demanda química de oxígeno), agentes tóxicos, grasas y aceites.

Estos indicadores fisicoquímicos se analizaron a partir de criterios de sostenibilidad ambiental y a la adaptabilidad de las especies en ecosistemas de interés (Guajardo, Barbosa, & Sánchez, 2021).

2.2.4. Medición In Situ.

La medición in situ constituye uno de los métodos primarios para la evaluación directa de la calidad del agua en cuerpos hídricos. Este enfoque implica la cuantificación de parámetros fisicoquímicos directamente en el lugar de estudio, reduciendo errores asociados al transporte y conservación de muestras (McKelvie, 2002). Entre los parámetros medibles in situ se incluyen temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y turbidez, los cuales pueden verse afectados por procesos de oxidación química y biológica si no son medidos en campo de manera inmediata (Lopes et al., 2022).

2.2.5. Comparación de Métodos.

La comparación de métodos de detección y análisis de parámetros fisicoquímicos en cuerpos de agua, como la turbidez, es crucial para comprender las

ventajas y limitaciones de las distintas tecnologías disponibles. En un estudio reciente, se evaluaron tecnologías basadas en visión por computadora para detectar turbidez, resaltando sus diferencias y ventajas frente a métodos tradicionales. Según el estudio, la reflectividad de la luz varía según las características propias de cada tipo de agua, lo que implica que los métodos basados en teledetección deben ajustarse para considerar estas variaciones específicas (Neyra, 2023).

La principal problemática asociada con la detección de imágenes por teledetección es la corrección atmosférica, ya que la presencia de aerosoles, gases y vapor de agua en la atmósfera puede distorsionar los valores de reflectancia registrados por los sensores remotos (Neyra, 2023). Esta corrección es fundamental para garantizar la precisión de los datos, especialmente en regiones donde las condiciones atmosféricas pueden ser cambiantes o severas.

Además, los métodos tradicionales de muestreo in situ ofrecen alta precisión en la medición de parámetros como turbidez, pero son limitados en términos de cobertura espacial y temporal. Por otro lado, las tecnologías de teledetección permiten un monitoreo continuo y a gran escala, siendo herramientas complementarias valiosas para la evaluación integral de cuerpos de agua. Este enfoque combinado facilita la identificación de patrones y tendencias, optimizando la gestión y conservación de recursos hídricos (Neyra, 2023).

2.2.6. Parámetros fisicoquímicos del agua

Los parámetros fisicoquímicos del agua constituyen indicadores esenciales para evaluar la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos. Estos parámetros permiten determinar la composición, concentración de sustancias, grado de contaminación y condiciones ecológicas del cuerpo hídrico (Méndez et al., 2023). Entre los más relevantes se encuentran la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, los sólidos

disueltos totales (SDT), el oxígeno disuelto (OD) y la turbidez, los cuales reflejan los procesos físicos y químicos que ocurren en el agua y son influidos por factores naturales y antrópicos (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2021).

La temperatura del agua afecta directamente la solubilidad del oxígeno y la tasa metabólica de los organismos acuáticos. El pH, por su parte, mide la concentración de iones hidrógeno, determinando la acidez o alcalinidad, siendo los valores entre 6,5 y 8,5 los considerados normales para ecosistemas saludables (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2020). La conductividad eléctrica refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, lo que depende de la cantidad de sales disueltas, mientras que los sólidos disueltos totales se asocian a la presencia de materia orgánica, minerales y contaminantes (Rivas et al., 2022).

El oxígeno disuelto es fundamental para la supervivencia de las especies acuáticas, y sus concentraciones pueden disminuir por la contaminación orgánica o el incremento de temperatura. Finalmente, la turbidez indica la presencia de partículas en suspensión que afectan la penetración de la luz y la fotosíntesis (Morales & López, 2021). En conjunto, estos parámetros permiten establecer un diagnóstico integral del estado de calidad del agua, así como su variabilidad espacial y temporal.

Temperatura (°C)

La temperatura es un parámetro físico que mide el grado de calor del agua y se expresa en grados Celsius (°C). Este factor influye directamente en la solubilidad del oxígeno, la velocidad de las reacciones químicas y la actividad metabólica de los organismos acuáticos. Una variación significativa en la temperatura puede alterar el equilibrio ecológico del ecosistema acuático. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2023), la temperatura del agua es un indicador importante para evaluar la calidad ambiental y el confort biológico de los cuerpos hídricos.

pH

El pH representa la concentración de iones de hidrógeno (H^+) en el agua, indicando su grado de acidez o alcalinidad en una escala que va de 0 a 14, donde 7 es neutro. Un pH menor a 7 indica acidez, y un valor mayor a 7 indica alcalinidad. Este parámetro es esencial para determinar la compatibilidad del agua con la vida acuática, ya que influye en la disponibilidad de nutrientes y metales. De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 2022), los ecosistemas acuáticos saludables suelen mantener un pH entre 6.5 y 8.5.

Conductividad Eléctrica ($\mu S/cm$)

La conductividad eléctrica mide la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, la cual depende de la presencia de iones disueltos (como sales, cloruros, sulfatos o nitratos). Se expresa en microsiemens por centímetro ($\mu S/cm$). Este parámetro refleja el nivel de mineralización o salinidad del agua, siendo útil para evaluar la presencia de contaminantes o descargas. Según la American Public Health Association (APHA, 2021), la conductividad es un indicador indirecto de la calidad química del agua y puede variar según las características geológicas y las actividades humanas en la cuenca.

Oxígeno Disuelto (mg/L)

El oxígeno disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno gaseoso presente en el agua, expresada en miligramos por litro (mg/L). Es un parámetro clave para la supervivencia de los organismos acuáticos, ya que refleja la capacidad del ecosistema para sostener vida. Niveles bajos de oxígeno indican contaminación orgánica o eutrofización. De acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2023), los valores óptimos para la vida acuática deben superar los 5 mg/L .

2.2.7. Análisis Estadístico

En el estudio mencionado, se define el análisis estadístico como un conjunto de técnicas y métodos utilizados para extraer información significativa de los datos obtenidos mediante teledetección.

Los métodos de comparación se centran en establecer correlaciones entre las mediciones obtenidas a través de imágenes de satélite y las mediciones directas realizadas en el campo. Estos métodos ayudan a validar la efectividad de los datos de teledetección al compararlos con los resultados de mediciones tradicionales, lo que es fundamental para determinar la precisión y confiabilidad de los modelos utilizados (Kalivas, Petropoulos, Dimitriou, & Markogianni, 2023).

La interpretación de resultados implica analizar las correlaciones y relaciones observadas para proporcionar una comprensión más profunda de la calidad del agua en el área estudiada. Este proceso permite a los investigadores hacer inferencias sobre el estado del ecosistema acuático y su salud, así como sobre las implicaciones de las concentraciones de contaminantes en el medio ambiente (Kalivas, Petropoulos, Dimitriou, & Markogianni, 2023).

2.3. Definición de términos básicos.

- a. **Teledetección:** Técnica de adquisición de información sobre un objeto o superficie sin estar en contacto directo, a través de sensores remotos ubicados en satélites o aviones. En el contexto de esta investigación, se refiere al uso de imágenes satelitales para monitorear parámetros fisicoquímicos en cuerpos de agua como el Lago Junín.
- b. **Parámetros Fisicoquímicos:** Conjunto de características físicas y químicas del agua que permiten evaluar su calidad. Incluyen parámetros como el pH,

conductividad, oxígeno disuelto, turbidez y temperatura, los cuales son indicadores del estado ambiental y calidad del agua (Portal & Zambrano, 2021).

- c. **Medición In Situ:** Técnica de recolección de datos directamente en el lugar de estudio. Las mediciones in situ implican la toma de muestras y el registro de parámetros fisicoquímicos del agua, lo que proporciona información de referencia local para compararla con datos satelitales (Guajardo, Barbosa, & Sánchez, 2021).
- d. **Imágenes Satelitales:** Fotografías de la superficie terrestre captadas por sensores en satélites. Estas imágenes permiten obtener datos sobre grandes extensiones geográficas y se utilizan en esta investigación para monitorear los cambios en los parámetros fisicoquímicos desde una perspectiva remota (Portal & Zambrano, 2021).
- e. **Calidad del Agua:** Medida de la condición del agua en función de sus características fisicoquímicas y su aptitud para diversos usos, como consumo humano, recreación o vida acuática. La calidad del agua se evalúa mediante la comparación entre datos de teledetección y mediciones in situ para determinar su estado y posibles variaciones (Huamán, Lucen, Paredes, & Alfaro, 2020).

2.4. Formulación de hipótesis.

2.4.1. Hipótesis general.

Existe similitudes comparativas en los parámetros fisicoquímicos del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ.

2.4.2. Hipótesis específica.

- a) Existe similitudes comparativas en el parámetro de la temperatura del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ.
- b) Existe similitudes comparativas en el parámetro del pH del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ.

- c) Existe similitudes comparativas del parámetro de conductividad eléctrica del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ.
- d) Existe similitudes comparativas en el parámetro del oxígeno disuelto del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ.

2.5. Identificación de Variables.

- Variables Dependientes: Parámetros Fisicoquímicos
- Variable Independiente: Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.

Tabla 2. Definición Operacional de Variables e indicadores.

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión y Unidad	Indicadores	Instrumentos
Variable Dependiente: Parámetros Físicoquímicos	Los parámetros físicoquímicos son indicadores cuantitativos que describen las propiedades físicas y químicas del agua, permitiendo evaluar su calidad y estado ambiental. Estos comprenden variables como la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, la turbidez, el oxígeno disuelto, los sólidos disueltos totales y otros compuestos químicos presentes en el cuerpo de agua. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017),	Se medirán mediante muestreos in situ y análisis de imágenes obtenidas por teledetección, registrando valores específicos de cada parámetro en diferentes puntos del lago a lo largo del tiempo.	Temperatura(°C), PH, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto	Temperatura media del agua, niveles de nitrógeno y fósforo.	Multiparámetro, Oxímetro, software de análisis de datos (p.ej., ENVI, QGIS para teledetección).
Variable Independientes: Técnicas de Teledetección Y Mediciones In Situ	Las técnicas de teledetección y mediciones in situ son métodos complementarios para evaluar la calidad del agua. La teledetección obtiene información mediante sensores satelitales que registran la radiación reflejada, mientras que las mediciones in situ recogen datos directamente en campo con instrumentos especializados, permitiendo validar y comparar los resultados obtenidos por vía remota (Chuvienco, 2020; APHA, 2017.).	Se implementarán técnicas de teledetección para captar imágenes satelitales y aéreas del Lago Junín, las cuales serán analizadas para extraer datos sobre su cobertura, temperatura superficial y otros parámetros relevantes.	Técnicas de Teledetección - Mediciones In Situ	-Corrección radiométrica y atmosférica -Resolución espacial Muestreo de campo Instrumentación y calibración Registro de datos físicos y químicos	Satélites de observación (Landsat 8/9), software de procesamiento de imágenes

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación.

Investigación de tipo aplicada, ya que se enfocará en resolver un problema específico relacionado con el monitoreo y la evaluación de la calidad del agua del Lago Junín mediante técnicas de teledetección y mediciones in situ.

3.2. Nivel de investigación.

El nivel de investigación es comparativo – descriptivo.

Es descriptivo porque caracteriza los parámetros fisicoquímicos del agua del Lago Junín (pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto,) obtenidos mediante ambas metodologías. Y es comparativo porque busca identificar las diferencias y semejanzas entre los valores obtenidos mediante técnicas de teledetección y las medidas in situ, evaluando la correspondencia entre los métodos y su precisión para el monitoreo ambiental.

De acuerdo con Sampieri et al. (2022), los estudios comparativos permiten analizar dos o más conjuntos de datos para establecer similitudes, diferencias o niveles de concordancia entre ellos, lo cual se ajusta plenamente al enfoque del presente trabajo.

3.3. Métodos de investigación.

Se empleará el método científico comparativo, mediante el cual se analizarán y contrastarán los datos de teledetección con los obtenidos en los análisis en campo para identificar la correlación y precisión entre estos enfoques de monitoreo.

3.4. Diseño de investigación.

La investigación seguirá un diseño no experimental, transversal y descriptivo-comparativo, debido a que “no se manipulan las variables y la recolección de datos es un momento y tiempo único” (Hernandez, 2018), los datos de teledetección y de campo serán recolectados en momentos específicos.

3.5. Población y muestra.

La población de estudio está constituida por el Lago Junín, considerado como el principal cuerpo de agua natural de la región Junín. En la muestra incluye 8 puntos de muestreo representativos del lago, La ubicación de los ocho puntos de muestreo fue diseñada conforme a los lineamientos establecidos en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA), de uso obligatorio para monitorear cuerpos de agua superficiales en Perú. Este protocolo exige que en cuerpos lénticos (lagos, embalses) se seleccionen estaciones que representen entradas de agua, zonas de descarga, sectores centrales y zonas con baja influencia antropogénica para garantizar representatividad espacial.

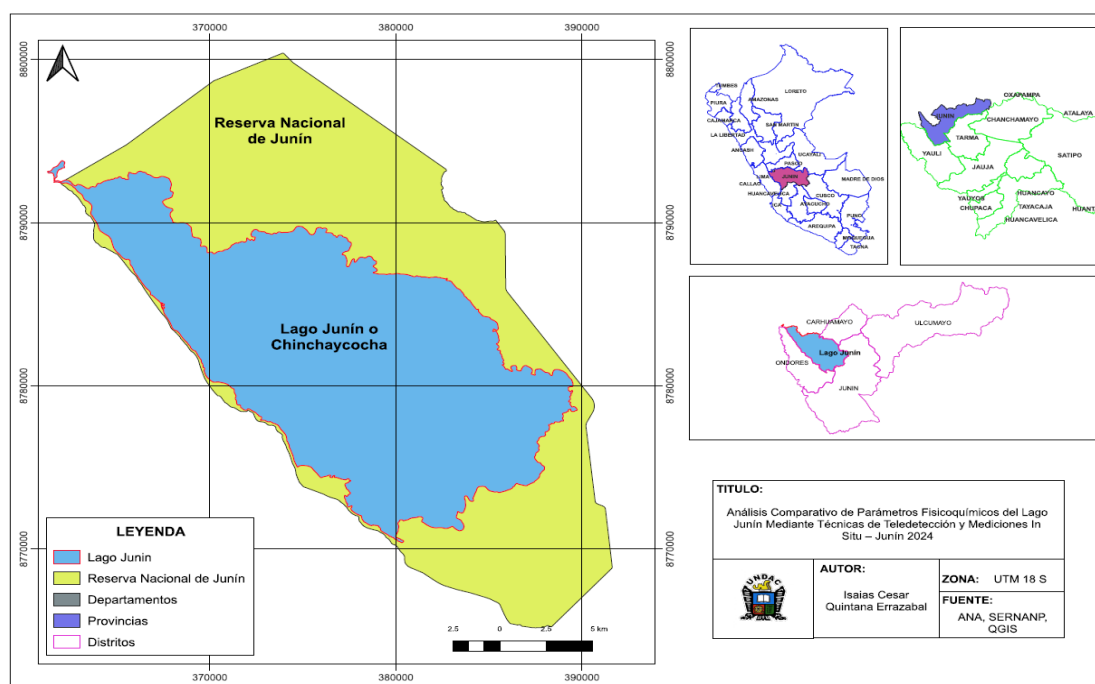
Asimismo, estipula parámetros fisicoquímicos mínimos, procedimientos de muestreo, preservación, control de calidad y manejo de duplicados. Al adoptar estas recomendaciones, se asegura que los puntos muestreados permitan una comparación.

Tabla 3. Coordenadas de Puntos de Muestreo.

Punto de Muestreo	Coordenadas UTM – WGS 84 (Zona 18L)	
	Este	Norte
LJUN-01	384564	8784167
LJUN-02	380292	8786766
LJUN-03	375602	8786542
LJUN-04	370196	8785459
LJUN-05	370796	8782821
LJUN-06	374609	8779717
LJUN-07	378526	8775495
LJUN-08	385576	8779572

Nota. Elaboración propia

Figura 1. Mapa de ubicación del Lago Junín.



Nota. Elaboración propia

Figura 2. Mapa de Ubicación de Puntos de Muestreo.



Nota. Adaptado de Google Earth

3.6. Técnicas e instrumento de recolección de datos.

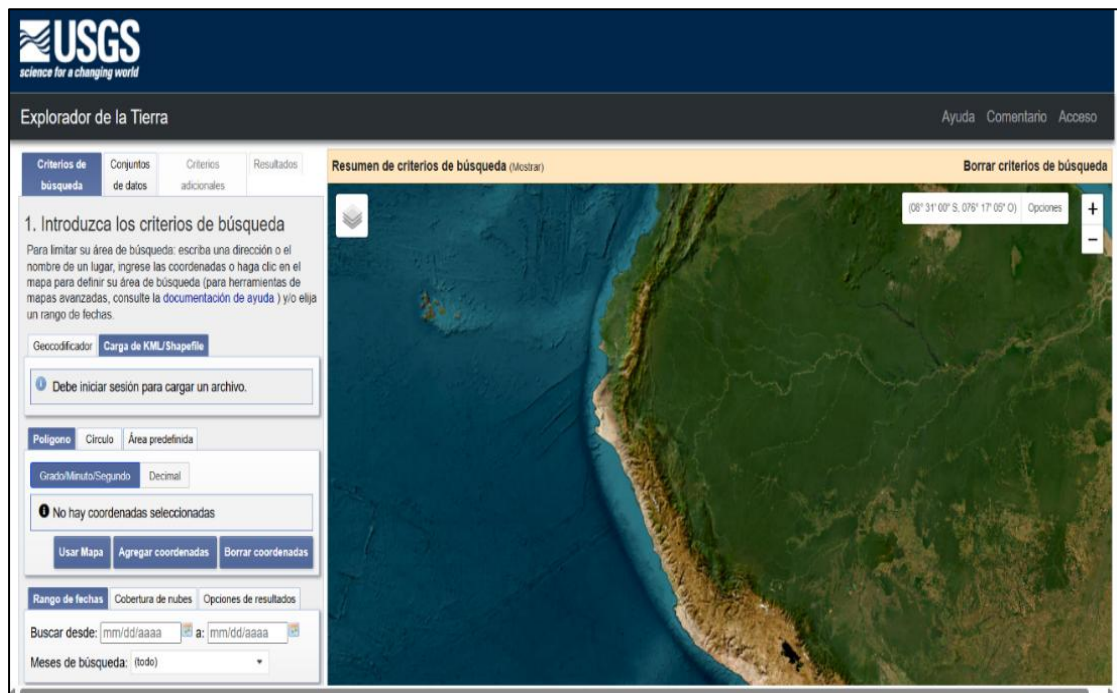
La recolección de datos en esta investigación se llevó a cabo mediante una combinación de técnicas de teledetección y muestreo directo in situ, con el objetivo de garantizar una evaluación integral de los parámetros fisicoquímicos del Lago Junín.

3.6.1. Técnicas de recolección de datos.

- **Teledetección:** Se emplearon imágenes satelitales de mediana y alta resolución, para la descarga de la zona de estudio en este caso el lago de Junín, se consideró el archivo KMZ/SHP, el cual se trabajó con el software ENVI y QGIS, realizando una conversión de archivo Shapefile a KMZ. De esta manera se ingresó a uno de los servidores gratuitos existentes para la descarga de imágenes Landsat 8/9 (OLI/TIRS), Se usaron bandas espectrales específicas para cada parámetro, en especial; en la presente investigación se utilizó el Servicio Geológico de los Estados Unidos:

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

Figura 3. Servidor del Servicio Geológico de los Estados Unidos.



Fuente: Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, 2025)

- **Muestreo in situ:** La toma de datos se realizó en tres campañas de monitoreo (03/03, 13/03 y 23/03 de 2025) en 8 puntos georreferenciados del Lago Junín, que fueron seleccionados en base a criterios como accesibilidad, representatividad de la zona y niveles de contaminación previamente identificados. El monitoreo de agua se realizó tres veces cada 10 días durante un mes, para capturar variaciones temporales.

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos

Para teledetección:

- **Imágenes satelitales:** Se emplearon imágenes satelitales Landsat 8/9 (OLI/TIRS) correspondientes a las fechas de campo. Se usaron bandas espectrales específicas para cada parámetro, en especial:

Banda 10 TIRS: Estimación de temperatura superficial.

Bandas 2, 3, 4, 5, 6, 7 (azul, verde, rojo,, NIR (infrarrojo cercano), SWIR 1, SWIR2): Cálculo de índices ópticos.

- **Software de análisis:** ENVI y QGIS. ENVI permitirá realizar el procesamiento avanzado de imágenes satelitales, aplicando técnicas como la clasificación espectral, el análisis multitemporal y el cálculo de índices espectrales relacionados con parámetros fisicoquímicos del agua. Por su parte, QGIS se empleó para la georreferenciación, elaboración de mapas temáticos e integración de datos vectoriales y ráster, facilitando la comparación espacial con los datos obtenidos in situ.
- **Corrección radiométrica y atmosférica:** Para asegurar la precisión espectral de las imágenes Landsat 8 y 9, se aplicarán dos etapas fundamentales de preprocesamiento: la conversión de radiancia a reflectancia TOA (top-of-atmosphere) y la corrección atmosférica mediante el modelo FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) basado en MODTRAN y realizado en el software ENVI aplicando sensores multispectrales. Asimismo, se aplicó el modelo FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes), que se basa en el modelo de transferencia radiativa MODTRAN. Este procedimiento corrige la reflectancia superficial considerando efectos atmosféricos como la absorción de gases, dispersión de aerosoles y vapor de agua. FLAASH genera como salida la reflectancia aparente de superficie (psurface), corregida para su análisis espectral fiable.
- **Extracción de parámetros:** A partir de las imágenes procesadas, se generaron índices como el de Temperatura, pH, Oxígeno Disuelto (OD) y Conductividad Eléctrica (CE) utilizando software como QGIS.
- **Mapeo y zonificación:** Los parámetros obtenidos se integraron en mapas temáticos georreferenciados que identifiquen las variaciones espaciales y temporales de la calidad del agua en el Lago Junín.

Para muestreo in situ:

- **Equipo multiparámetro (HANNA HI 991300):** Un instrumento portátil diseñado para medir simultáneamente pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (TDS) y temperatura en campo. Este equipo es ideal para evaluaciones rápidas de la calidad del agua en tiempo real.

Figura 4. Equipo Multiparámetro.



Nota. Equipo multiparámetro modelo HANNA HI 991300

- **Oxímetro (EXTECH SDL150):** Equipo portátil utilizado en la medición del oxígeno disuelto (OD) en el agua.

Figura 5. Equipo Oxímetro.



Nota. Equipo oxímetro modelo EXTECH SDL150

- **GPS portátil submétrico (CHCNAV LT700):** Para georreferenciación precisión de los puntos de muestreo y correlacionarlos con las imágenes satelitales.

Figura 6. Equipo GPS.



Nota. Equipo GPS submétrico modelo CHCNAV LT700

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.

En la presente investigación no se incluye este apartado, dado que no se ha diseñado un cuestionario o instrumento propio que requiera ser sometido a validación de contenido por jueces expertos ni a pruebas estadísticas de confiabilidad.

3.8. Técnicas de procedimiento y análisis de datos.

El procesamiento y análisis de los datos recolectados en esta investigación se llevó a cabo mediante un enfoque sistemático que combina herramientas estadísticas, software de análisis geoespacial y técnicas de modelado para garantizar resultados confiables y detallados.

3.8.1. Procesamiento de datos:

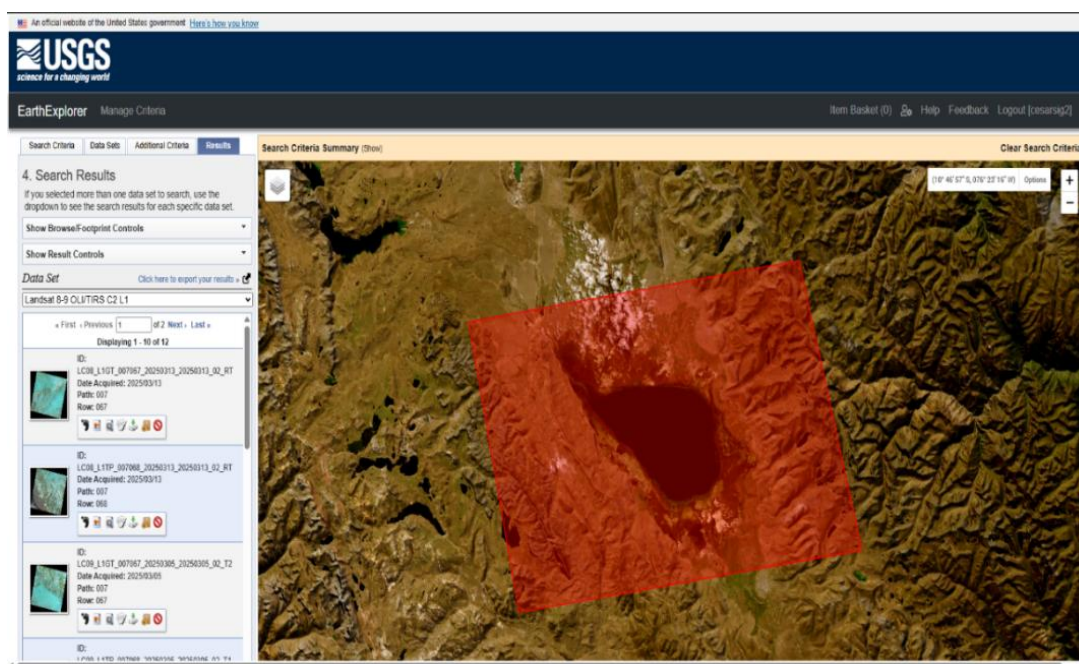
Teledetección

Primero se realizó una selección de las imágenes Landsat 8/9 que presentaban mayor reflectancia y que estaban libres de nubosidad, con el fin de permitir el análisis de los parámetros. Luego, se procesaron las imágenes para la corrección radiométrica y atmosférica, aplicando la combinación de bandas y la fórmula específica para cada parámetro seleccionado. Asimismo, se

realizaron monitoreos in situ y se analizaron las imágenes Landsat 8/9, con el propósito de evaluar la efectividad entre ambas variables.

- ✓ **Descarga de Imagen Landsat 8/9:** Haciendo uso del explorador del Servicio Geológico de los Estados Unidos se realizó la descarga de las imágenes Landsat 8/9.

Figura 7. Descarga de imagen Landsat 8/9.



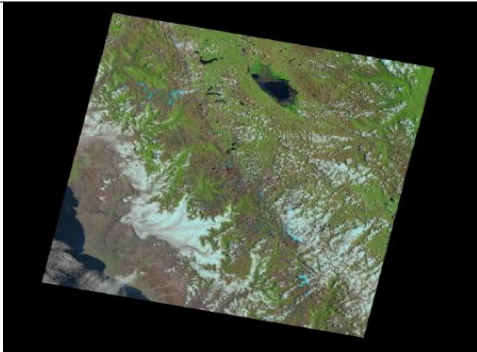
Fuente: Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, 2025)

Nota: En la figura 7 se presenta una visualización general del área de estudio, lo que permite identificar claramente la ubicación del lago, las zonas agrícolas, las montañas y otros cuerpos de agua.

Esta imagen ofrece una idea clara de la distribución espacial de los distintos tipos de cobertura terrestre. El lago se distingue como una masa de color oscuro, debido a la alta absorción de luz por parte del agua. La vegetación se representa en tonos verdes, mientras que las áreas con escasa o nula cobertura vegetal se observan en tonalidades marrones. En la parte sur de la imagen, las

zonas cubiertas por nieve o nubes se visualizan como regiones de color blanco brillante.

Tabla 4. Características de la imagen Landsat 8/9.

	
Atributo de conjunto de datos	Valor de atributo
Landsat Product Identifier L1	LC08_L1TP_007068_20250225_20250304_02_T1
Landsat Scene Identifier	LC80070682025056LGN00
Date Acquired	2025/13/05
Collection Category	T1
Collection Number	2
WRS Path	007
WRS Row	068
Nadir/Off Nadir	NADIR
Roll Angle	-0.001
Date Product Generated L1	2025/03/04
Land Cloud Cover	26.24
Scene Cloud Cover L1	25.18
Start Time	2025-02-25 15:10:32
Stop Time	2025-02-25 15:11:04
Station Identifier	LGN
Day/Night Indicator	DAY
Ground Control Points Model	330
Ground Control Points Version	5
Geometric RMSE Model	8.098
Geometric RMSE Model X	5.152
Geometric RMSE Model Y	6.248
Image Quality	9
Processing Software Version	LPGS_16.4.0
Sun Elevation L0RA	58.54706755
Sun Azimuth L0RA	88.05825329
TIRS SSM Model	FINAL
Data Type L1	OLI_TIRS_L1TP
Sensor Identifier	OLI_TIRS
Satellite	8

Panchromatic Lines	15441
Panchromatic Samples	15181
Reflective Lines	7721

Fuente: Servicio Geológico De Estados Unidos (USGS, 2025).

- ✓ **Conversión de radiancia a reflectancia TOA:** Los productos estándar Landsat 8/9 LDCM, suministrados por el USGS consisten en una serie cuantificada, calibrada y escalada de niveles digitales ND, los cuales representan los datos de una imagen multiespectral adquirida por ambos sensores: OLI Operational Land Imagen y el TIRS Thermal Infrared Sensor (USGS, 2025).

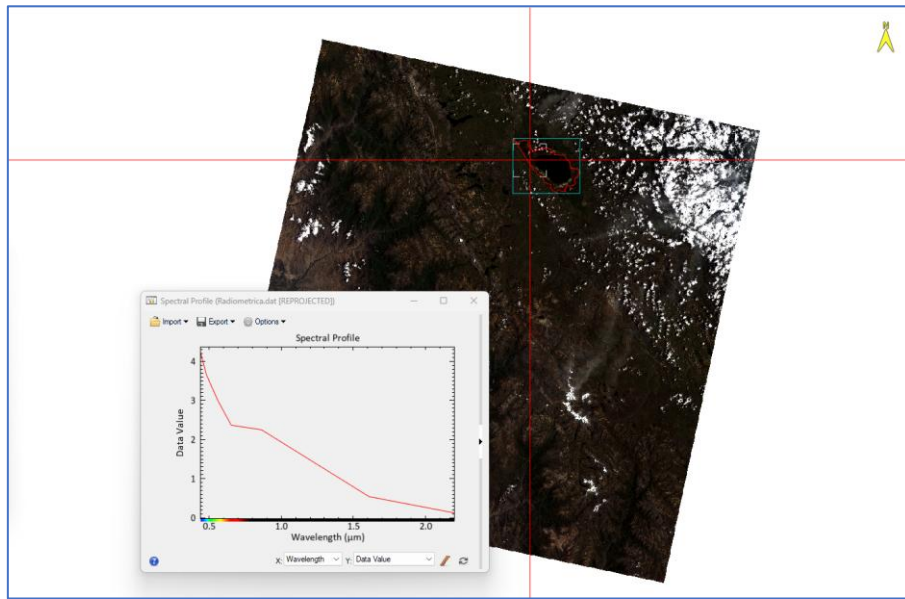
Para convertir la radiancia espectral a reflectancia en la cima de la atmósfera (TOA):

$$\rho_{TOA} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot L_{\lambda} \cdot d^2 \cdot \cos(\theta_s)}$$

Donde:

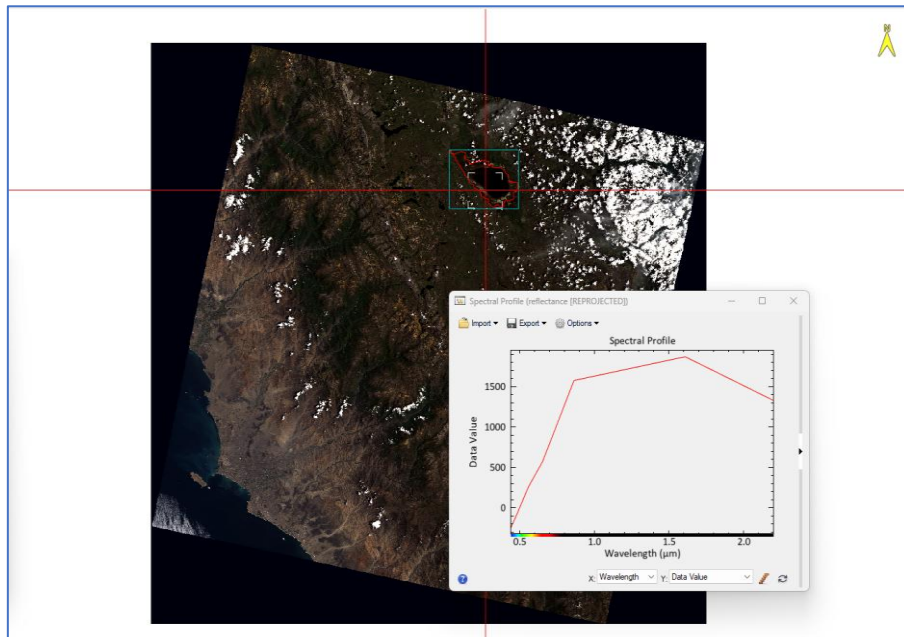
- ρ_{TOA} = Reflectancia en el tope de la atmósfera (TOA)
- L_{λ} = Radiancia espectral ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$)
- d = Distancia Tierra–Sol (en unidades astronómicas)
- $ESUN_{\lambda}$ = Irradiancia espectral solar media.
- θ_s = Ángulo cenital solar (grados)

Figura 8. Conversión de radiancia en el techo de la atmósfera (TOA).



En la figura 8 muestra la variación de la radiancia en diferentes longitudes de onda para el área seleccionada del lago. Se observa una disminución progresiva en los valores de radiancia a medida que aumenta la longitud de onda, lo cual es característico del comportamiento espectral del agua, ya que refleja muy poco en el rango del infrarrojo. Este patrón coincide con la firma espectral típica de cuerpos hídricos, lo que confirma que el área analizada corresponde efectivamente a una superficie de agua. En el gráfico, el eje X representa la longitud de onda (en micrómetros), abarcando desde el espectro visible (alrededor de $0.5 \mu\text{m}$) hasta el infrarrojo de onda corta ($\sim 2.2 \mu\text{m}$), mientras que el eje Y indica los valores de radiancia registrados por el sensor.

Figura 9. Conversión a reflectancia TOA.



En la figura 9 se muestra el perfil espectral en reflectancia superficial, obtenido tras aplicar la corrección atmosférica al producto radiométricamente calibrado. Aquí los valores son más altos y reales respecto a lo que verdaderamente refleja la superficie terrestre. El gráfico muestra un pico en las longitudes de onda del infrarrojo cercano ($\sim 0.8\text{-}1.0\ \mu\text{m}$), lo cual es típico de vegetación. La reflectancia disminuye en el infrarrojo de onda corta ($\sim 2.0\ \mu\text{m}$).

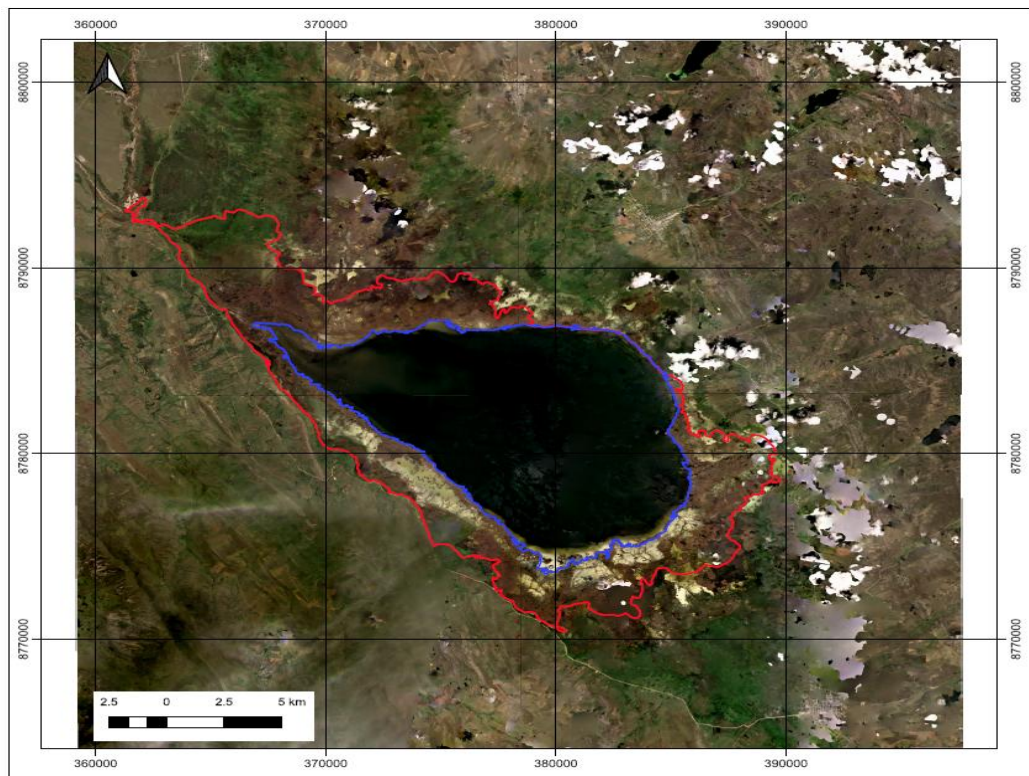
- ✓ **Índice NDWI (para delimitar cuerpos de agua):** Este índice permite segmentar el lago, eliminando píxeles no acuáticos antes del análisis espectral.

$$NDWI = \frac{\text{Banda Verde} - \text{Banda NIR}}{\text{Banda Verde} + \text{Banda NIR}}$$

Verde: Banda 3 (Landsat)

NIR: Banda 5 (Landsat)

Figura 10. Mapa del índice NDWI del Lago Junín – Marzo 2025.



Nota: Los valores del NDWI son positivos en las zonas cubiertas por agua, debido a la alta absorción del infrarrojo cercano por parte del agua. En contraste, los valores son negativos en superficies terrestres como suelo expuesto o vegetación. Esta propiedad del índice se utiliza como criterio para delimitar con precisión los bordes del lago y eliminar píxeles correspondientes a tierra en los análisis y predicciones espaciales.

Los valores positivos de NDWI (representados en tonos oscuros) indican la presencia de cuerpos de agua, mientras que los valores cercanos a cero o negativos corresponden a áreas con vegetación, suelo seco o zonas de transición entre tierra y agua. Se observa que la mayor concentración de agua se encuentra en la parte central y occidental del lago, mientras que las zonas noreste y sur presentan valores de NDWI más bajos, lo que podría

reflejar una disminución del nivel del agua o la presencia de vegetación acuática emergente.

- ✓ **Extracción de los datos de reflectancia para cada punto de muestro:** Para la extracción de los datos de reflectancia se emplearon modelos matemáticos que permitieron calcular cada parámetro físicoquímico, siguiendo la metodología propuesta por Díaz y Llave (2019). Con este propósito, se utilizó la herramienta Raster Calculator del software QGIS, mediante la cual se ingresaron los algoritmos correspondientes y se seleccionaron los rangos espectrales de las bandas 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10 y 11, con el fin de estimar los valores de temperatura (°C), pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto a partir de las imágenes satelitales.

$$CE = 316 + 3238 * B2 - 6869 * B3 + 5520 * B4 + 265 * B5$$

$$pH = 8.72 + 49 * B3 - 105 * B4 + 86 * B5 - 44 * B6$$

$$OD = 28.9 - 345 * B1 - 182 * B3 + 495 * B4 - 348 * B5 + 415 * B7$$

$$Temperatura = 225.0 + 0.65 * B10 - 0.43 * B11$$

Datos in situ:

- ✓ **Análisis estadístico descriptivo:** Media, desviación estándar, valor mínimo y máximo para cada parámetro y punto. Verificación de datos atípicos mediante Boxplot y desviaciones estándar.
- ✓ **Validación:** Se verificarán inconsistencias, valores atípicos y errores de medición mediante métodos estadísticos descriptivos, como gráficos de dispersión y análisis de desviación estándar.

3.8.2. Análisis de datos:

- ✓ **Análisis descriptivo:** Los datos recolectados (teledetección e in situ) serán analizados mediante estadísticas descriptivas como medias, medianas, desviaciones estándar y coeficientes de variación para describir las características principales de los parámetros fisicoquímicos. Se generarán gráficos y tablas comparativas para visualizar tendencias temporales y espaciales.
- ✓ **Correlación:** Se usó la correlación de Spearman por ser una medida no paramétrica, ideal cuando no se asume distribución normal de los datos. Evalúa la relación monótona entre dos variables.

$$p = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)}$$

Donde:

- d_i : Diferencia entre los rangos de cada par de observaciones.
- n : Número total de observaciones.

El resultado indica si la correlación positiva es fuerte o muy fuerte.

- ✓ **Análisis geoespacial:** Los mapas temáticos generados a partir de las imágenes satelitales se integrarán con los datos georreferenciados in situ mediante herramientas SIG (QGIS) para identificar patrones espaciales en la calidad del agua. Se realizarán análisis de interpolación espacial, como Kriging o Inverse Distance Weighting (IDW), para estimar parámetros en áreas no muestreadas del lago.
- ✓ **Modelo predictivo:** Se empleó regresión lineal multivariable para estimar los parámetros fisicoquímicos a partir de bandas espectrales específicas del satélite (por ejemplo, B2, B3, B5, B10):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_n \cdot X_n + E$$

Donde:

- Y: Parámetro fisicoquímico (ej. temperatura, OD, pH).
- B_1 : Coeficientes de cada variable predictora
- X_n : Reflectancias por banda.
- ϵ : Término de error.

El modelo se ajustó usando los valores emparejados in situ - Landsat, validando mediante:

- R^2 (Coeficiente de determinación)
- RMSE (Error Cuadrático Medio)
- Test de Bland-Altman para precisión.

- ✓ **Comparación de métodos:** Se aplicó la **correlación de Spearman** y análisis de dispersión entre datos in situ y Landsat. Adicionalmente, se consideró el test de Bland-Altman, útil para evaluar la concordancia entre dos métodos distintos.

Los parámetros se evaluaron con:

- Concordancia por intervalo de error aceptable.
- Análisis gráfico de dispersión y línea de tendencia.
- Diferencia promedio absoluta (DAE).

- ✓ **Herramientas de análisis:**
 - **Software estadístico:** Para el procesamiento y análisis de datos, se utilizó principalmente Microsoft Excel, permitiendo realizar cálculos estadísticos básicos, gráficos comparativos y análisis descriptivo de los parámetros fisicoquímicos obtenidos tanto por teledetección como por mediciones in situ.

- **Software utilizado:** QGIS, ENVI y Google Earth Pro para procesamiento geoespacial y mapeo.

3.9. Tratamiento estadístico.

Se realizó con el propósito de comparar cuantitativamente los parámetros fisicoquímicos del Lago Junín obtenidos mediante técnicas de teledetección y mediciones in situ. Inicialmente, se aplicaron estadísticas descriptivas como media, desviación estándar, valor mínimo, máximo y coeficiente de variación para caracterizar la distribución de los datos. Posteriormente, se utilizó la correlación de Spearman (ρ) para determinar la fuerza y dirección de la relación entre los valores obtenidos por ambos métodos, obteniéndose coeficientes de correlación elevados para temperatura y conductividad eléctrica. Asimismo, se desarrollaron modelos de regresión lineal múltiple para estimar parámetros a partir de reflectancias satelitales, evaluando su ajuste mediante el coeficiente de determinación (R^2) y el error cuadrático medio (RMSE). Finalmente, se aplicaron gráficos de dispersión y el análisis Test de Bland-Altman para validar la concordancia entre métodos. De este modo, el tratamiento estadístico permitirá interpretar con rigor la efectividad de la teledetección en comparación con las mediciones directas, proporcionando una base sólida para las conclusiones del estudio.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.

La investigación cumplirá con los principios éticos de respeto al ambiente y a la comunidad, minimizando cualquier impacto en el Lago Junín y sus alrededores durante la recolección de muestras. Además, se manejarán todos los datos con confidencialidad y se procurará que los resultados beneficien tanto a la comunidad científica como a las autoridades locales responsables de la conservación del lago.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo.

El trabajo de campo se desarrolló en el lago Junín, considerando como población el lago de Junín seleccionando una muestra compuesta por 8 puntos de muestreo representativos, ubicados estratégicamente según criterios de incidencia de contaminación, accesibilidad y representatividad espacial, cuyas coordenadas UTM fueron registradas para asegurar la precisión geográfica. La recolección de datos se realizó mediante una combinación de técnicas de teledetección y muestreo directo in situ: para la teledetección, se descargaron imágenes satelitales Landsat 8 y 9 (OLI/TIRS) con porcentajes bajos de nubosidad del Servicio Geológico de los Estados Unidos, procesadas con los softwares ENVI y QGIS, donde se aplicaron correcciones radiométricas y atmosféricas (modelo FLAASH) y se calcularon índices ópticos como NDWI para delimitar cuerpos de agua, así como algoritmos específicos para estimar parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica) a partir de la reflectancia de bandas espectrales; mientras que para el muestreo in situ se realizaron tres campañas de monitoreo (03/03, 13/03 y 23/03 de 2025) en los 8 puntos

seleccionados, realizando monitoreos cada 10 días durante un mes para captar variaciones temporales, y utilizando instrumentos como el equipo multiparámetro HANNA HI 991300 (para pH, CE, TDS y temperatura), oxímetro EXTECH SDL150 (para oxígeno disuelto), y GPS submétrico CHCNAV LT700 (para georreferenciación precisa). El procesamiento de datos incluyó la conversión de radiancia a reflectancia TOA, la aplicación de algoritmos matemáticos para la estimación de parámetros desde imágenes satelitales, y el análisis estadístico descriptivo (media, desviación estándar, valores extremos, boxplot) y de validación (detección de valores atípicos y errores de medición), integrando los datos obtenidos por ambos métodos en mapas temáticos georreferenciados mediante QGIS, y aplicando análisis de correlación de Spearman, interpolación espacial y modelos predictivos de regresión multivariable para comparar y validar la concordancia entre los resultados de teledetección y los datos in situ, garantizando así una evaluación integral, precisa y detallada de la calidad del agua en el Lago Junín.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

4.2.1. Identificación y mapeo de los parámetros fisicoquímicos mediante teledetección.

Tabla 5. Resultado del monitoreo con Landsat 8/9 en los puntos de muestro

Monitoreo Landsat 8/9					
Nº Estación	Punto de Monitoreo	Temperatura (°C)	pH	OD (Mg/L)	CE (uS/cm)
1	LJUN-01	13,01	7,89	6,89	303,473
	LJUN-02	12,94	7,74	6,81	312,018
	LJUN-03	12,33	8,07	7,45	318,861
	LJUN-04	13,06	7,84	6,81	307,662
	LJUN-05	13,09	7,89	6,82	304,716
	LJUN-06	13,06	7,85	6,81	305,198
	LJUN-07	13,07	7,88	6,56	307,076
	LJUN-08	12,97	7,79	6,82	302,772
2	LJUN-01	13,19	7,89	6,83	297,008
	LJUN-02	13,19	7,88	6,80	295,726
	LJUN-03	13,19	7,97	6,59	302,232
	LJUN-04	13,19	7,93	6,80	299,117
	LJUN-05	13,19	7,98	6,62	302,198
	LJUN-06	13,19	7,94	6,75	296,922
	LJUN-07	13,20	7,89	6,63	298,401
	LJUN-08	13,18	7,91	6,76	297,225
3	LJUN-01	13,19	7,89	6,68	299,908
	LJUN-02	13,19	7,87	6,78	297,783
	LJUN-03	13,19	7,87	6,77	300,418
	LJUN-04	13,19	7,88	6,36	317,313
	LJUN-05	13,19	7,96	6,48	305,699
	LJUN-06	13,20	7,91	6,78	299,164
	LJUN-07	13,20	7,86	6,85	295,835
	LJUN-08	13,19	7,88	6,75	298,561

Nota: CE= Conductividad Eléctrica, OD= Oxígeno Disuelto

El análisis de la temperatura superficial del Lago Junín en las 3 estaciones de monitoreo varía de 12,33 °C - 13,2°C. Se muestra poca variación especialmente en los primeros que están por debajo de 13 °C. (ver anexo 3,4 y 5).

En cuanto al pH, se observó una variabilidad espacial moderada, con valores que se mantuvieron en rangos neutros a ligeramente alcalinos. Las estaciones 2 y 3 presentaron zonas con tendencia hacia la alcalinidad, mientras que en la estación 1 predominó una mayor proporción de valores cercanos a la neutralidad. (Ver Anexos 6, 7 y 8).

Los valores de oxígeno disuelto (OD) fueron consistentes en las tres estaciones de monitoreo, indicando un ambiente acuático adecuadamente oxigenado, sin presencia evidente de zonas con déficit crítico de oxígeno. Estos resultados reflejan una buena calidad del agua desde el punto de vista de oxigenación. (Ver Anexos 9, 10 y 11).

Por último, la conductividad eléctrica (CE) presentó una variabilidad moderada entre las tres estaciones. En la estación 1 se registraron los valores más altos, posiblemente asociados a una mayor concentración de solutos disueltos, producto de descargas puntuales o menor recarga hídrica. En la estación 2 se observó una ligera disminución, mientras que en la estación 3 los valores fueron más homogéneos, aunque se detectaron anomalías en puntos como LJUN6, donde las conductividades fueron significativamente más bajas. (Ver Anexos 12, 13 y 14).

4.2.2. Caracterización in situ de parámetros fisicoquímicos

Tabla 6. Monitoreo in situ en los puntos de muestro

MONITOREO IN SITU							
N° Estación	Punto de Monitoreo	Fecha	Hora	Temperatura (°C)	PH	OD (Mg/L)	CE (uS/cm)
1	LJUN-01	03/03/2025	11:40	12,7	7,64	6,7	312,3
	LJUN-02	03/03/2025	8:45	12,6	7,84	6,4	304,2
	LJUN-03	03/03/2025	7:20	12,5	8,05	7,4	314,9
	LJUN-04	03/03/2025	8:24	12,8	8,08	6,9	327,8
	LJUN-05	03/03/2025	9:01	12,6	7,86	7,5	298,4
	LJUN-06	03/03/2025	9:44	12,7	7,97	7,4	315,8
	LJUN-07	03/03/2025	10:33	13,4	7,99	7,3	311,7
	LJUN-08	03/03/2025	10:12	13,4	7,72	6,4	320,7
2	LJUN-01	13/03/2025	9:57	12,6	8,06	6,9	293,1
	LJUN-02	13/03/2025	9:28	13,0	8,04	7,2	289,5
	LJUN-03	13/03/2025	9:00	13,0	8,12	6,9	306,5
	LJUN-04	13/03/2025	8:30	11,7	8,12	7,3	316,7
	LJUN-05	13/03/2025	7:58	13,0	8,15	5,8	305,2
	LJUN-06	13/03/2025	7:27	13,2	8,12	6,7	298,6
	LJUN-07	13/03/2025	11:09	13,8	7,60	5,8	308,4
	LJUN-08	13/03/2025	10:29	13,5	6,90	6,1	297,7
3	LJUN-01	23/03/2025	9:57	13,5	8,02	6,8	311,7
	LJUN-02	23/03/2025	9:28	13,3	7,93	6,9	287,9
	LJUN-03	23/03/2025	8:56	13,4	8,05	6,8	298,7
	LJUN-04	23/03/2025	8:21	13,3	7,80	6,3	320,6
	LJUN-05	23/03/2025	7:46	13,4	7,86	6,6	314,3
	LJUN-06	23/03/2025	7:21	13,7	8,15	7,0	264,3
	LJUN-07	23/03/2025	10:32	13,6	7,99	6,5	311,4
	LJUN-08	23/03/2025	11:05	13,4	7,40	6,6	302,1

Nota: CE= Conductividad Eléctrica, OD= Oxígeno Disuelto

La temperatura del monitoreo In Situ muestra variaciones más marcadas. El análisis de la temperatura superficial del Lago Junín en las 3 estaciones de monitoreo varía de 12,5 °C - 13,6°C. La mayor variación se observó en la tercera estación de monitoreo el cual tuvo un incremento generalizado, los valores estimados variaron de 13.3°C - 13.7 °C, siendo este el monitoreo con temperaturas más elevadas en términos generales.

En cuanto al parámetro de pH medido in situ que varía entre 6,9 y 8,15. Asimismo el OD varía entre 5,8 y 7,5 mg/l, mostrando una dispersión moderada, de igual manera los resultados del parámetro de CE se encuentran en el rango de ~264 a ~330 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4.1.1. Comparación y precisión entre métodos (in situ vs. Landsat)

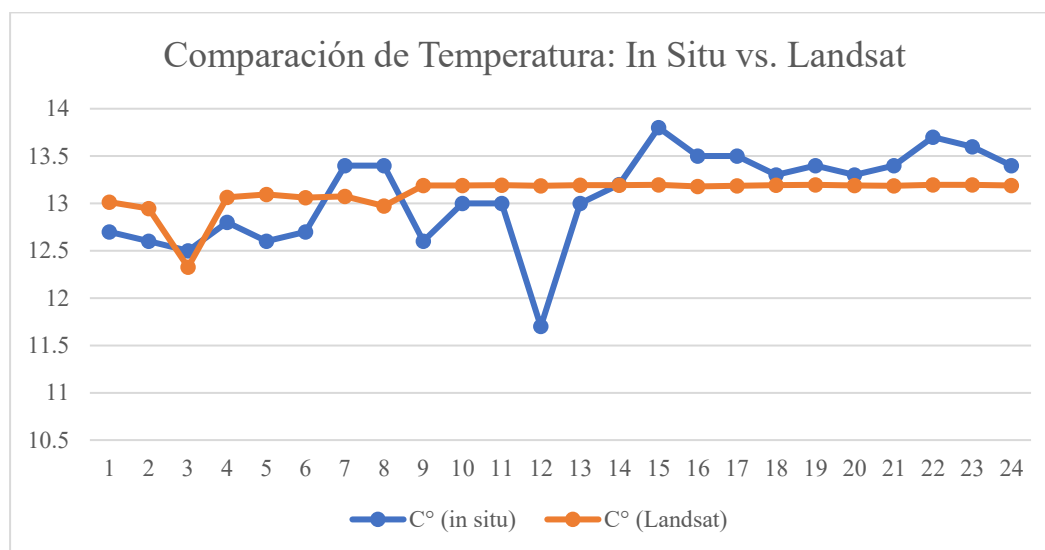
Comparación del parámetro de Temperatura

Tabla 7. Comparación del parámetro temperatura (datos in situ y Landsat)

Temperatura °C				
Fecha	Punto de Monitoreo	°C (in situ)	°C (Landsat)	Error Absoluto
03/03/2025	1	12,7	13,01	0,315
03/03/2025	2	12,6	12,94	0,344
03/03/2025	3	12,5	12,33	0,174
03/03/2025	4	12,8	13,06	0,263
03/03/2025	5	12,6	13,09	0,493
03/03/2025	6	12,7	13,06	0,360
03/03/2025	7	13,4	13,07	0,327
03/03/2025	8	13,4	12,97	0,426
13/03/2025	1	12,6	13,19	0,590
13/03/2025	2	13,0	13,19	0,190
13/03/2025	3	13,0	13,19	0,192
13/03/2025	4	11,7	13,19	1,485
13/03/2025	5	13,0	13,19	0,194
13/03/2025	6	13,2	13,19	0,006
13/03/2025	7	13,8	13,20	0,605
13/03/2025	8	13,5	13,18	0,321
23/03/2025	1	13,5	13,19	0,313
23/03/2025	2	13,3	13,19	0,106
23/03/2025	3	13,4	13,19	0,206
23/03/2025	4	13,3	13,19	0,111
23/03/2025	5	13,4	13,19	0,214
23/03/2025	6	13,7	13,20	0,505
23/03/2025	7	13,6	13,20	0,404
23/03/2025	8	13,4	13,19	0,210
Error promedio				0,348
Desviación Estándar				0,286

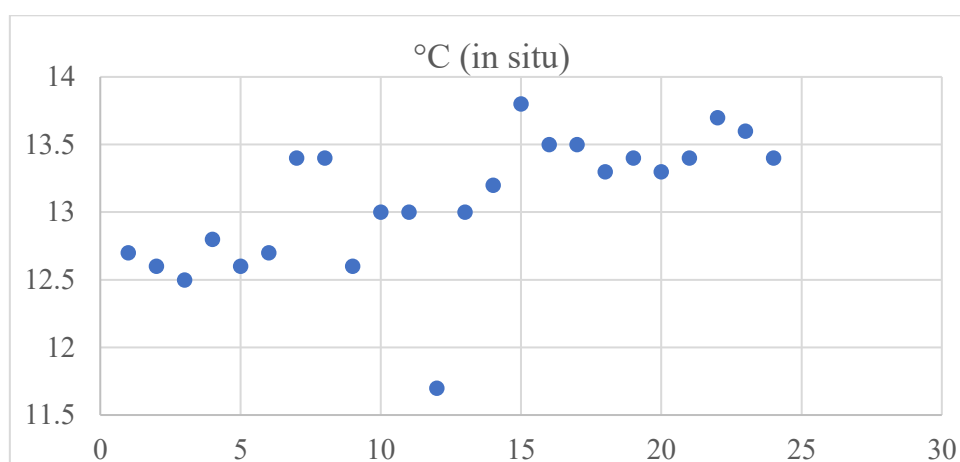
En la tabla 7 se muestra que la estimación satelital de temperatura es bastante precisa en comparación con las mediciones in situ. El mayor error es 1,485 ocurre en el punto 4 del 13/03/2025, lo que podría indicar una anomalía local o un error de lectura. En general, los errores están por debajo de 0,6 °C, verificándose que existe gran relación entre el cálculo matemático y los datos de campo.

Figura 11. Comparación de temperatura: Medición in situ vs. Landsat



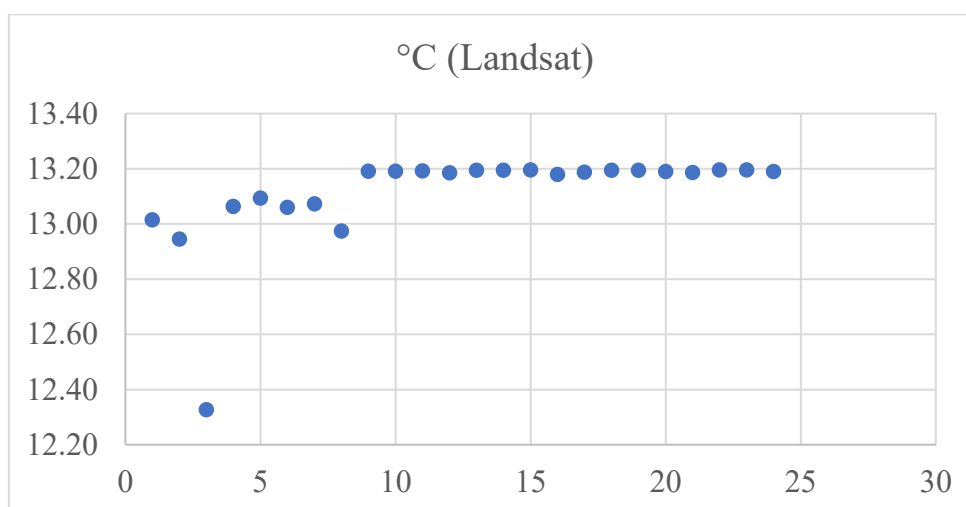
En la figura 11 la temperatura In Situ muestra variaciones más marcadas, mientras que la temperatura Landsat es mucho más estable. Hay varios puntos donde las líneas se separan claramente (por ejemplo, en el punto 12), lo que indica diferencias entre la medición directa y la satelital. Sin embargo, en general, las temperaturas estimadas por Landsat se mantienen bastante cercanas a las mediciones in situ, con algunas excepciones.

Figura 12. Dispersión de temperatura en in situ



Los puntos están más dispersos, especialmente entre 12,0 °C y 13,8 °C. Hay un pico alrededor del punto 15 (13,8 °C), que se alinea con el mayor valor observado en la tabla. La temperatura In Situ tiene mayor variabilidad entre puntos de monitoreo, lo cual es normal ya que depende de factores locales como microclimas, sombra, viento.

Figura 13. Dispersión de temperatura en Landsat



La mayoría de los puntos están concentrados alrededor de 13,19 -13,20 °C, con muy poca variación. Solo unos pocos puntos (especialmente los primeros) están por debajo de 13 °C. Landsat proporciona datos muy uniformes, lo que puede deberse a la resolución espacial del satélite o a la suavización de datos al procesar imágenes térmicas.

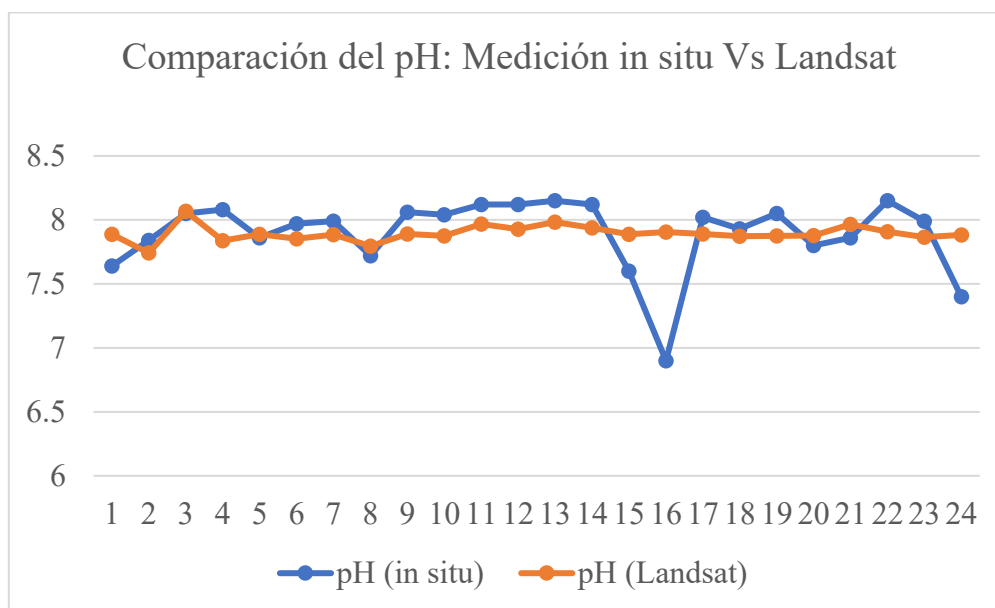
Comparación del parámetro de pH.

Tabla 8. Comparación del parámetro pH (datos in situ y Landsat)

Potencial de hidrógeno (pH)				
Fecha	Punto de Monitoreo	pH (in situ)	pH (Landsat)	Error Absoluto
03/03/2025	1	7,64	7,89	0,248
03/03/2025	2	7,84	7,74	0,098
03/03/2025	3	8,05	8,07	0,017
03/03/2025	4	8,08	7,84	0,242
03/03/2025	5	7,86	7,89	0,027
03/03/2025	6	7,97	7,85	0,117
03/03/2025	7	7,99	7,88	0,106
03/03/2025	8	7,72	7,79	0,075
13/03/2025	1	8,06	7,89	0,169
13/03/2025	2	8,04	7,88	0,164
13/03/2025	3	8,12	7,97	0,151
13/03/2025	4	8,12	7,93	0,192
13/03/2025	5	8,15	7,98	0,167
13/03/2025	6	8,12	7,94	0,183
13/03/2025	7	7,60	7,89	0,288
13/03/2025	8	6,9	7,91	1,005
23/03/2025	1	8,02	7,89	0,130
23/03/2025	2	7,93	7,87	0,059
23/03/2025	3	8,05	7,87	0,175
23/03/2025	4	7,8	7,88	0,077
23/03/2025	5	7,86	7,96	0,104
23/03/2025	6	8,15	7,91	0,241
23/03/2025	7	7,99	7,86	0,125
23/03/2025	8	7,4	7,88	0,482
Error promedio				0,193
Desviación Estándar				0,199

La tabla 8 resume los valores de pH medidos en campo y estimados por teledetección. El error promedio fue de 0,193 unidades de pH, con una desviación estándar de 0,199, indicando una buena concordancia general. El mayor error se presentó en el punto LJUN-08 del 13/03/2025, donde la diferencia alcanzó 1,005 unidades. Este valor atípico podría deberse a un vertido localizado, una alteración puntual en las condiciones del agua o un posible error de medición en campo. En general, se observa que el modelo Landsat tiende a subestimar el pH cuando los valores reales son altos, y a sobreestimarlos cuando el pH es bajo, como se evidencia también en ese mismo punto, donde el valor in situ fue de 6,9 y la estimación satelital alcanzó 7,91.

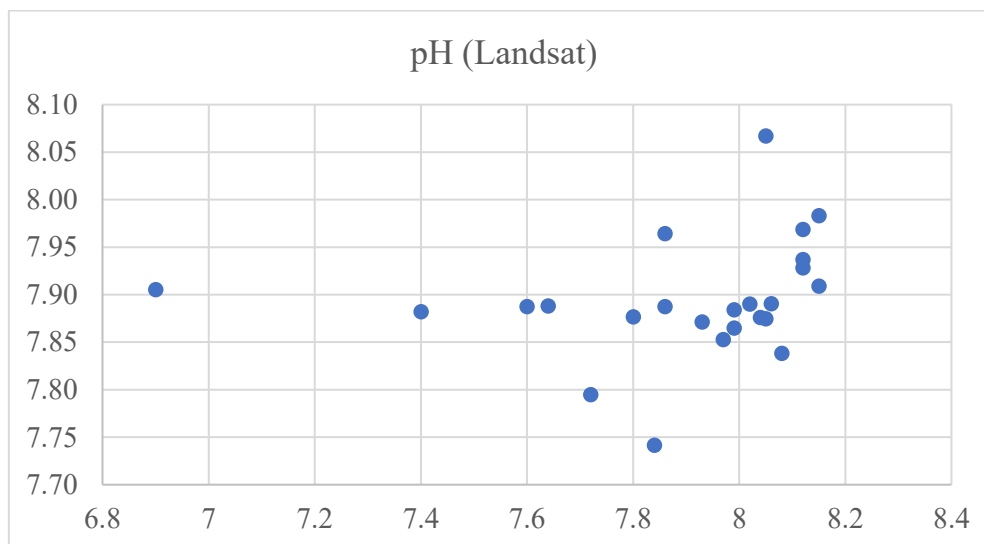
Figura 14. Comparación del pH: Medición in situ y Landsat



El pH medido in situ presentó una mayor variabilidad, destacándose un descenso marcado en el punto 16, donde se registró el valor más bajo de toda la serie (pH = 6,9). En contraste, los valores estimados mediante Landsat mostraron una distribución más constante y homogénea, con oscilaciones leves entre 7,8 y 8,0. Si bien ambas metodologías siguieron una tendencia general similar, se observó que el modelo

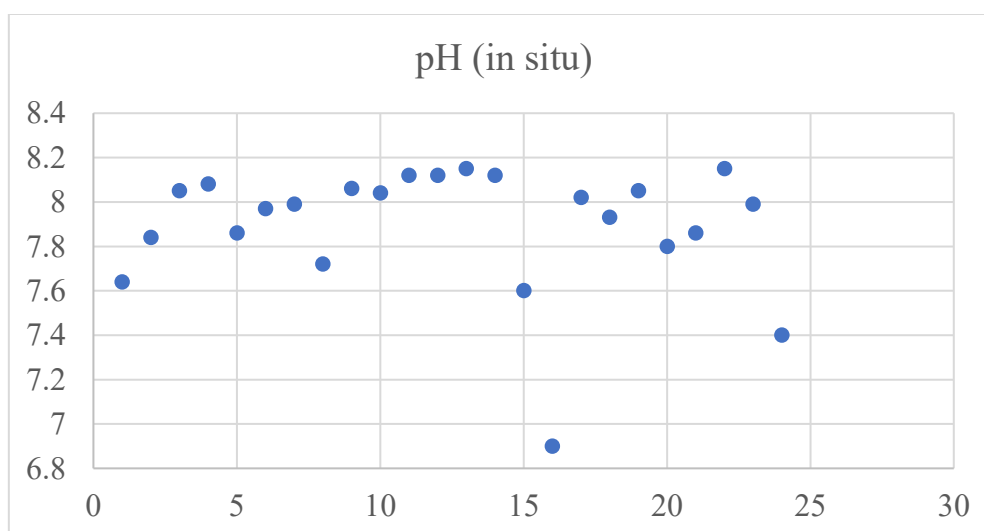
satelital no captó adecuadamente los valores extremos, como el descenso registrado en el punto 16.

Figura 15. Dispersión de pH en Landsat



En la figura 15 el pH se concentra entre 7,75 y 8,05, mostrando poca dispersión. Refleja poca variabilidad, lo cual es coherente con la naturaleza satelital (promedios espaciales).

Figura 16. Dispersión de pH in situ



En la figura 16 se observa mayor dispersión. Se obtienen valores desde 6,9 hasta 8,2, evidenciando variaciones puntuales reales o anomalías (como en el punto 16).

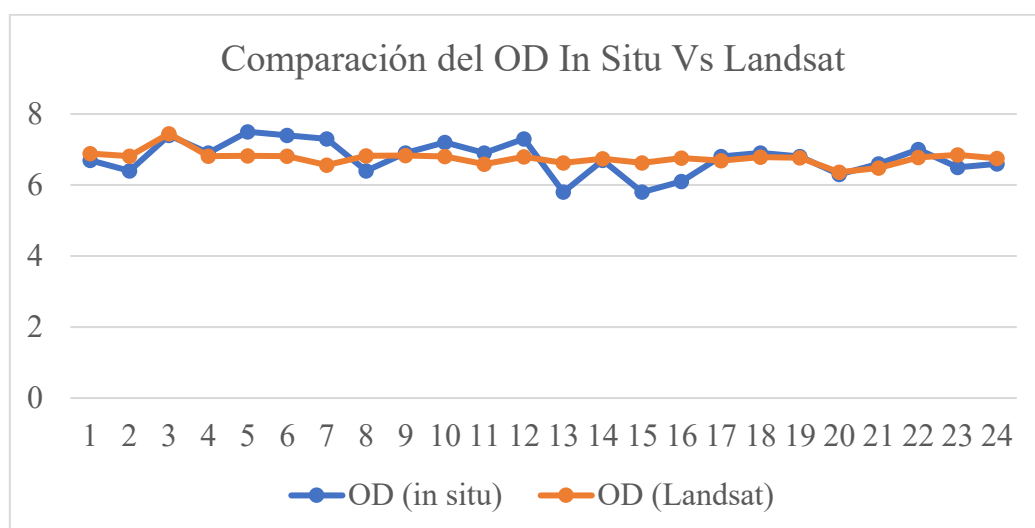
Comparación del parámetro de Oxígeno Disuelto

Tabla 9. Comparación del parámetro OD (datos in situ y Landsat)

OXIGENO DISUELTO				
Fecha	Punto de Monitoreo	OD (in situ)	OD (Landsat)	Error Absoluto
03/03/2025	1	6,7	6,89	0,187
03/03/2025	2	6,4	6,81	0,413
03/03/2025	3	7,4	7,45	0,047
03/03/2025	4	6,9	6,81	0,088
03/03/2025	5	7,5	6,82	0,676
03/03/2025	6	7,4	6,81	0,589
03/03/2025	7	7,3	6,56	0,737
03/03/2025	8	6,4	6,82	0,419
13/03/2025	1	6,9	6,83	0,070
13/03/2025	2	7,2	6,80	0,397
13/03/2025	3	6,9	6,59	0,312
13/03/2025	4	7,3	6,80	0,504
13/03/2025	5	5,8	6,62	0,823
13/03/2025	6	6,7	6,75	0,046
13/03/2025	7	5,8	6,63	0,827
13/03/2025	8	6,1	6,76	0,662
23/03/2025	1	6,8	6,68	0,117
23/03/2025	2	6,9	6,78	0,116
23/03/2025	3	6,8	6,77	0,034
23/03/2025	4	6,3	6,36	0,061
23/03/2025	5	6,6	6,48	0,120
23/03/2025	6	7	6,78	0,221
23/03/2025	7	6,5	6,85	0,353
23/03/2025	8	6,6	6,75	0,153
Error promedio				0,33
Desviación Estándar				0,26768

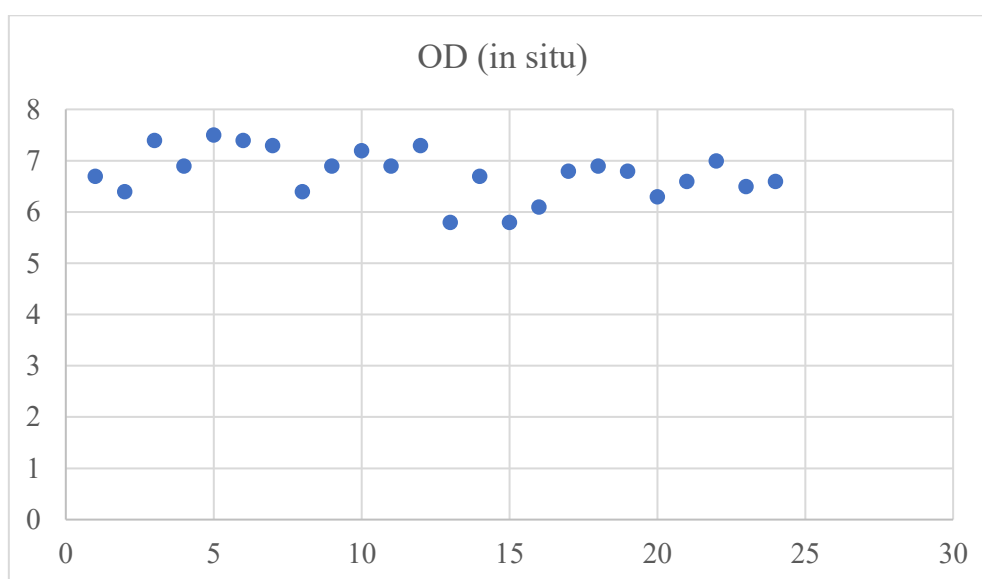
El OD estimado por Landsat tiene una buena correlación con los datos in situ, con un error promedio aceptable (0,33 mg/l). Sin embargo, en valores bajos de OD, tiende a sobrestimarse, lo que sugiere que, en cuerpos de agua con baja oxigenación, el modelo puede requerir ajustes o calibración adicional.

Figura 17. Comparación del OD: Medición in situ y Landsat



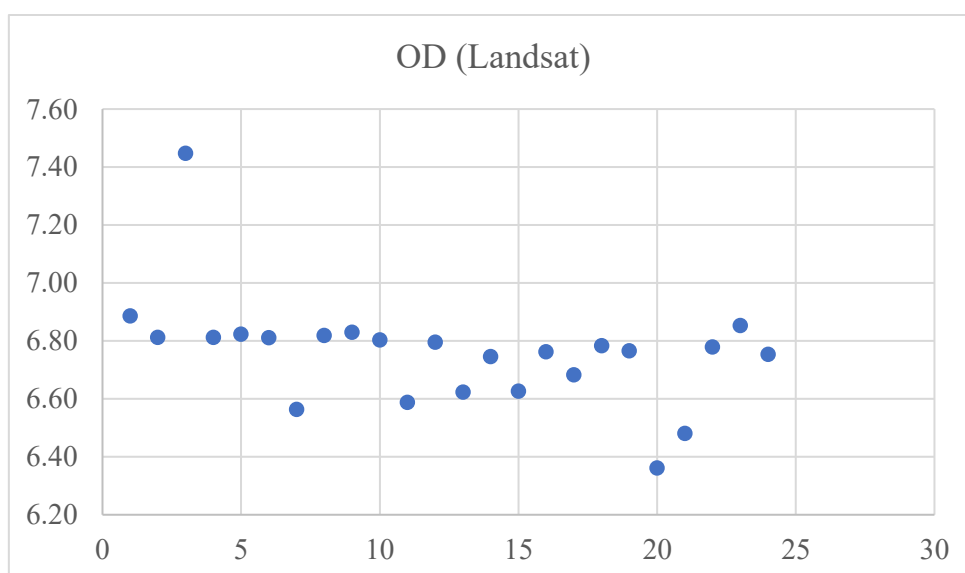
En la Figura 17, los valores de oxígeno disuelto (OD) medidas in situ mostraron una mayor variabilidad, destacándose un descenso significativo en los puntos 13 y 15, donde se registraron los valores más bajos (5,8 mg/L). En contraste, las estimaciones obtenidas mediante Landsat presentaron una distribución más homogénea, con valores que oscilaron ligeramente entre 6,36 y 7,45 mg/L. Aunque ambas metodologías siguieron una tendencia general similar, el modelo satelital no logró reflejar con precisión los valores extremos, como los descensos observados en los puntos 13 y 15.

Figura 18. Dispersión de OD en in situ



En la Figura 18 se presentan los valores de oxígeno disuelto medidas in situ, distribuidos según los puntos de monitoreo. Si bien se observa cierta variabilidad entre puntos, la mayoría de los valores se concentraron en el rango de 6,0 a 7,5 mg/L, lo que indica una distribución relativamente estable. No se identificó una tendencia creciente o decreciente clara en función del número de punto de estudio.

Figura 19. Dispersión de OD en Landsat



En la Figura 19, las concentraciones de oxígeno disuelto estimadas mediante imágenes satelitales se ubicaron mayoritariamente en el rango de 6,6 a 7,0 mg/L, lo

cual es coherente con el comportamiento observado en la figura anterior. Aunque no se evidenció una tendencia espacial claramente definida, los valores presentaron una menor dispersión, lo que sugiere que las estimaciones satelitales fueron menos variables que las mediciones in situ. Si bien se registraron algunas discrepancias puntuales, en términos generales el método satelital se mostró consistente y confiable para el monitoreo ambiental del lago a gran escala.

Comparación del parámetro de Conductividad Eléctrica

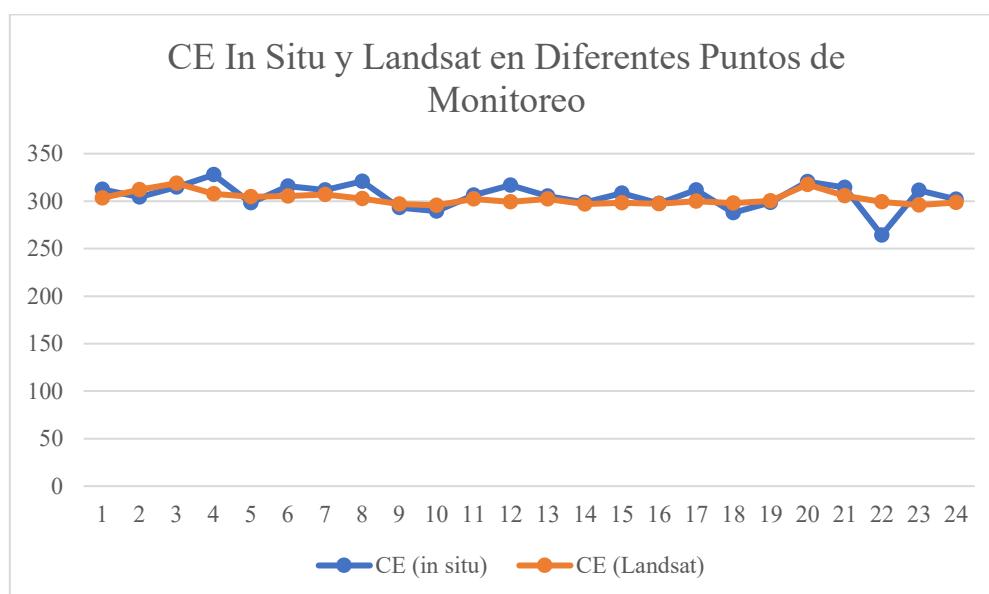
Tabla 10. Comparación del parámetro CE (datos in situ y Landsat)

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA				
Fecha	Punto de Monitoreo	CE (in situ)	CE (Landsat)	Error Absoluto
03/03/2025	1	312,3	303,472595	8,827
03/03/2025	2	304,2	312,018433	7,818
03/03/2025	3	314,9	318,860779	3,961
03/03/2025	4	327,8	307,662476	20,138
03/03/2025	5	298,4	304,716309	6,316
03/03/2025	6	315,8	305,198273	10,602
03/03/2025	7	311,7	307,076355	4,624
03/03/2025	8	320,7	302,772186	17,928
13/03/2025	1	293,1	297,008453	3,908
13/03/2025	2	289,5	295,726227	6,226
13/03/2025	3	306,5	302,231537	4,268
13/03/2025	4	316,7	299,117157	17,583
13/03/2025	5	305,2	302,198456	3,002
13/03/2025	6	298,6	296,922455	1,678
13/03/2025	7	308,4	298,401337	9,999
13/03/2025	8	297,7	297,22522	0,475
23/03/2025	1	311,7	299,908142	11,792
23/03/2025	2	287,9	297,782959	9,883
23/03/2025	3	298,7	300,41806	1,718

23/03/2025	4	320,6	317,313232	3,287
23/03/2025	5	314,3	305,698883	8,601
23/03/2025	6	264,3	299,163513	34,864
23/03/2025	7	311,4	295,834625	15,565
23/03/2025	8	302,1	298,560669	3,539
Error promedio				9,025047292
Desviación Estándar				7,770253056

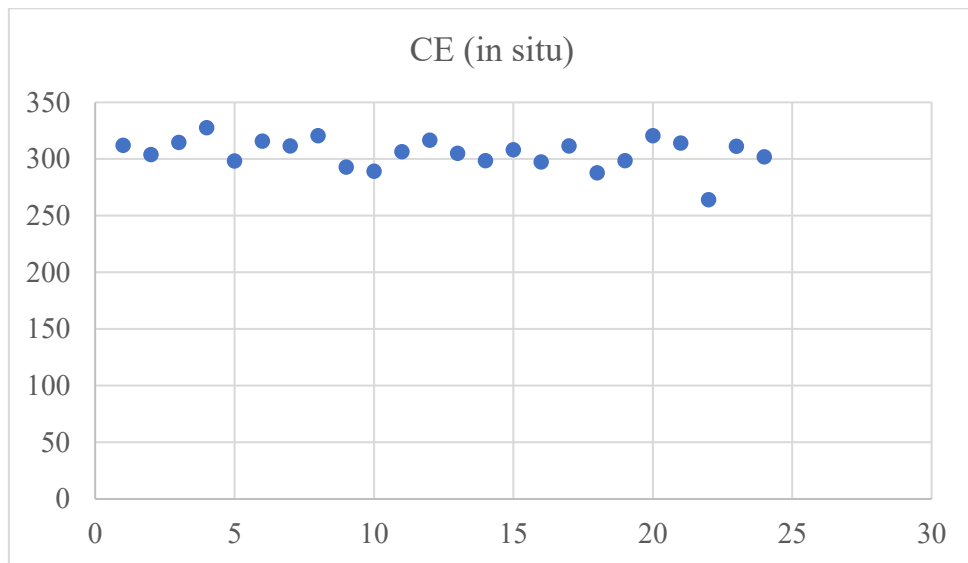
En la tabla 10 contiene mediciones de CE (in situ) y CE (Landsat), junto con el error absoluto entre ambas. Se calcula también el promedio del error (9,03) y su desviación estándar (7,77), lo que sugiere cierta variabilidad entre las mediciones reales y las satelitales.

Figura 20. Comportamiento de la CE: Medición in situ y Landsat



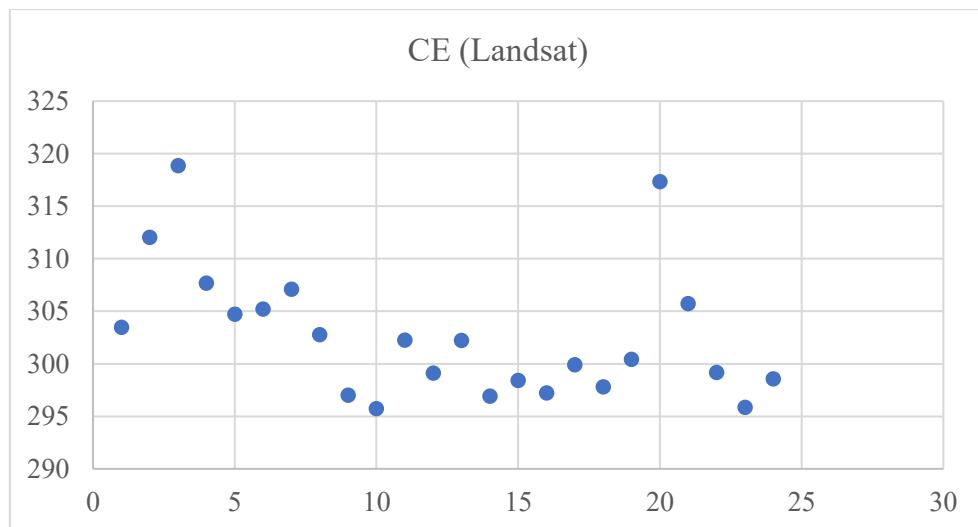
En la figura 20 se muestra la comparación entre CE (in situ) y CE (Landsat). Ambas líneas siguen una tendencia similar, pero hay puntos donde se separan, indicando discrepancias. Con respecto a la CE (Landsat) refleja una variabilidad menor.

Figura 21. Dispersión de CE en in situ



Se logra observar que las mediciones in situ están en el rango de ~ 265 a ~ 320 $\mu\text{S/cm}$. Hay cierta dispersión, pero en general no hay valores atípicos muy extremos.

Figura 22. Dispersión de CE en Landsat



En la figura 22 la CE (Landsat) tiene una menor variabilidad (rango más estrecho, ~ 295 a ~ 320). Esto sugiere que las mediciones satelitales podrían estar suavizando las variaciones reales del campo.

Por lo tanto, la correlación entre los valores de conductividad eléctrica (CE) obtenidos mediante mediciones in situ y aquellos estimados por imágenes Landsat fue

buena, aunque se presentaron algunos errores puntuales importantes, como un caso específico con una diferencia de 34.864 $\mu\text{S}/\text{cm}$, posiblemente atribuible a un valor atípico. Estos resultados indican que la estimación satelital puede ser una herramienta útil para el monitoreo ambiental, pero no reemplaza completamente a las mediciones directas, especialmente en zonas con alta variabilidad en las condiciones fisicoquímicas del agua. Por otro lado, la desviación estándar relativamente baja (7,77 $\mu\text{S}/\text{cm}$) sugiere que, en promedio, las diferencias entre ambos métodos no son excesivas, aunque en situaciones específicas podrían ser relevantes según el nivel de precisión requerido para el análisis o gestión ambiental.

Para evaluar la precisión de las mediciones obtenidas de las dos fuentes de datos (in situ y satelitales), se usó la correlación de rho spearman (ρ) debido a su robusticidad frente a otros estadísticos de correlación. A continuación, en la tabla 10 se evidencian los valores de p para oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura y pH.

4.3. Prueba de hipótesis.

Tabla 11. Matriz de p-valores (significancia) - in situ vs. Landsat 8/9

P	Datos Landsat			
	Oxígeno Disuelto (OD)	Conductividad Eléctrica (CE)	Temperatura (C°)	pH
Datos In situ	Oxígeno Disuelto (OD)	0.109		
	Conductividad Eléctrica (CE)	0.001		
	Temperatura (C°)		0.001	
	pH			0.048

Fuente: Datos in situ y landsat trabajados en Microsoft Excel

4.3.1. Interpretación de la temperatura:

El valor de $p = 0.001$, al ser menor a 0.05, confirma que existe una relación significativa entre la temperatura medida en campo y los valores estimados mediante el sensor térmico del satélite Landsat. Este hallazgo es coherente, dado que la teledetección térmica ha demostrado gran eficacia en la estimación de la temperatura superficial de cuerpos de agua.

La radiación térmica captada por los sensores satelitales permite estimar la energía emitida por la superficie, la cual se relaciona directamente con su temperatura. Si bien esta medición representa únicamente la temperatura superficial y no la del volumen total del cuerpo de agua, los resultados muestran que existe una correspondencia significativa con los valores medidos in situ. No obstante, pueden presentarse discrepancias menores debido a la hora de adquisición de la imagen, condiciones atmosféricas, nubosidad o diferencias de profundidad. En general, este resultado valida el uso de imágenes Landsat como una herramienta confiable para el monitoreo térmico ambiental.

4.3.2. pH

El valor $p = 0.048$, ligeramente inferior a 0.05, indica que existe una correlación significativa, entre los valores de pH obtenidos en campo y los estimados mediante Landsat. Esto sugiere que, aunque los sensores satelitales no miden directamente el pH, pueden detectar cambios la concentración de materia orgánica disuelta o la coloración del agua, la turbidez, penetración de luz, que indirectamente influyen en el pH.

Sin embargo, la magnitud de la relación es limitada, lo que evidencia que las estimaciones satelitales del pH requieren de modelos calibrados con datos locales y múltiples variables auxiliares para alcanzar un nivel de precisión adecuado. Aun así, el resultado demuestra un vínculo estadístico suficiente para considerar el uso de la

teledetección como apoyo en el monitoreo ambiental y la identificación de áreas con posibles variaciones en la calidad química del agua.

4.3.3. Conductividad Eléctrica (CE)

En este caso, el valor $p = 0.001$ es menor a 0.05, lo cual demuestra que sí existe una correlación estadísticamente significativa entre los valores de conductividad eléctrica obtenidos mediante medición in situ y aquellos estimados por el sensor Landsat. Esto significa que los cambios en la conductividad eléctrica del agua tienden a reflejarse también en las variaciones de la respuesta espectral registrada por el satélite. Esta relación se explica porque la conductividad eléctrica está directamente asociada a la cantidad de sales disueltas en el agua. Una mayor concentración de minerales y compuestos iónicos modifica las propiedades ópticas del cuerpo de agua, especialmente en las bandas del espectro visible e infrarrojo. Por tanto, los sensores satelitales pueden detectar dichas variaciones a través del análisis de reflectancia, permitiendo desarrollar modelos de estimación remota. Este resultado respalda el potencial uso de imágenes Landsat como herramienta complementaria para el monitoreo de calidad del agua, particularmente en zonas extensas donde el muestreo físico resulta costoso o limitado.

4.3.4. Oxígeno Disuelto (OD)

El valor de significancia bilateral ($p = 0.109$) indica que no existe una relación estadísticamente significativa entre los valores de oxígeno disuelto medidos in situ y los obtenidos mediante imágenes satelitales Landsat. Esto se debe a que el valor de p es mayor al umbral de 0.05, lo que significa que la posible correlación observada podría ser producto del azar y no de una relación real entre ambas mediciones. En términos prácticos, esto refleja que las imágenes satelitales Landsat no logran captar de manera adecuada las variaciones del oxígeno disuelto presentes en el agua. El oxígeno disuelto depende principalmente de factores como la temperatura, la

turbulencia, turbidez, la presencia de materia orgánica y clorofila-a, elementos que no pueden ser directamente observados por sensores ópticos o térmicos. Por tanto, el uso de teledetección para estimar este parámetro resulta limitado y requiere de modelos más complejos o del uso de sensores específicos con mayor sensibilidad espectral.

4.4. Discusión de resultados.

El análisis comparativo de los parámetros fisicoquímicos del Lago Junín mediante técnicas de teledetección y mediciones in situ permitió identificar el grado de relación entre los valores estimados por imágenes satelitales y los obtenidos en campo, aportando evidencia relevante sobre la viabilidad del uso de sensores remotos en el monitoreo de la calidad del agua. Los resultados muestran que la temperatura ($p = 0.001$) y la conductividad eléctrica ($p = 0.001$) presentan una correlación significativa, mientras que el pH ($p = 0.048$) muestra una correlación débil y el oxígeno disuelto ($p = 0.109$) carece de significancia estadística. Este comportamiento refleja diferencias en la sensibilidad espectral de cada parámetro y la complejidad de los procesos que intervienen en su dinámica dentro del ecosistema lacustre.

En relación con la temperatura del agua, los resultados coinciden con los hallazgos de Díaz et al. (2019), quienes demostraron que la reflectancia térmica obtenida mediante el satélite Landsat 8 presenta una alta correlación ($R^2 = 0.9718$) con las mediciones in situ en el Lago Chinchaycocha, validando la capacidad del sensor TIRS para representar con precisión las variaciones térmicas superficiales. Este resultado también es consistente con lo expuesto por Estrada y Macahuachi (2023) en la laguna Yarinacocha, donde las imágenes de Sentinel-2A mostraron una elevada exactitud en la estimación de sólidos suspendidos totales y temperatura. De este modo, la teledetección se confirma como una herramienta confiable para evaluar gradientes térmicos y procesos de mezcla vertical en cuerpos de agua extensos como el Lago Junín,

lo que resulta crucial para comprender los procesos de oxigenación y productividad primaria.

Respecto a la conductividad eléctrica, la correlación significativa hallada en este estudio refuerza lo reportado por Portal y Zambrano (2021) en la laguna San Nicolás, donde los patrones de reflectancia se asociaron con variaciones en la concentración de sólidos disueltos y sales minerales, indicadores directos de la conductividad. Asimismo, Aguirre y Quispe (2024) observaron una correspondencia positiva entre las estimaciones por teledetección y las mediciones in situ en las lagunas La Grande y Gemelas, lo cual demuestra que la reflectancia de las bandas visible e infrarroja del Landsat 9 puede emplearse como proxy confiable para parámetros relacionados con la salinidad. En el contexto del Lago Junín, estos resultados adquieren especial relevancia, ya que permiten monitorear de manera remota las zonas con potencial acumulación de minerales o descargas antrópicas, contribuyendo a la gestión ambiental y la detección temprana de procesos de eutrofización.

En el caso del pH, si bien se obtuvo una relación débil entre los datos de campo y los estimados mediante imágenes Landsat, este comportamiento puede explicarse por la naturaleza indirecta de la variable, ya que el pH no posee una respuesta espectral propia sino que se vincula a otras características ópticas del agua, como la turbidez o la materia orgánica disuelta. Orbegoso y Blas (2023), en su estudio sobre la laguna de Conache, evidenciaron variaciones espaciales del pH asociadas a descargas agrícolas y urbanas, confirmando que este parámetro puede detectarse parcialmente mediante teledetección cuando se integra con análisis multiespectrales. Del mismo modo, Zuta y Palma (2023) demostraron que modelos de regresión entre la reflectancia y la concentración de contaminantes permiten estimar parámetros químicos y microbiológicos, aunque con limitaciones de precisión. Esto coincide con lo observado

en el Lago Junín, donde las variaciones del pH reflejan procesos locales de fotosíntesis, mineralización y aportes externos, los cuales no siempre son captados por los sensores satelitales de resolución media.

Por su parte, el oxígeno disuelto presentó una correlación no significativa, lo que concuerda con lo reportado por diversos autores que sostienen que la estimación de este parámetro mediante teledetección aún presenta desafíos metodológicos. En el Lago Junín, las variaciones del oxígeno están influenciadas por factores como la temperatura, la radiación solar, la actividad biológica y la turbulencia superficial. Estudios como el de Mamani (2024) en el Lago Chinchaycocha demostraron que la disminución del oxígeno se relaciona con la carga de nutrientes y metales pesados provenientes de descargas mineras y domésticas, variables que la teledetección no puede captar directamente sin modelos atmosféricos o bioópticos complementarios. En este sentido, los resultados coinciden con las observaciones de Salas et al. (2020), quienes destacan que la caracterización de contaminantes y su efecto sobre la calidad del agua requiere aún del apoyo de mediciones directas de laboratorio.

En un contexto comparativo, los hallazgos del presente estudio se alinean con la tendencia observada en investigaciones recientes que destacan la complementariedad entre teledetección y monitoreo in situ. Tanto Aguirre y Quispe (2024) como Estrada y Macahuachi (2023) resaltan que la combinación de datos espectrales y mediciones directas permite generar modelos de alta precisión para parámetros fisicoquímicos, optimizando los costos y tiempos de monitoreo. Asimismo, Portal y Zambrano (2021) y Orbegoso y Blas (2023) coinciden en que el uso de sensores Landsat 8 y 9 constituye una alternativa eficiente para evaluar el estado ambiental de lagunas andinas y detectar patrones de contaminación asociados a la actividad humana.

De esta forma, los resultados obtenidos en el Lago Junín demuestran que la teledetección, pese a sus limitaciones en variables complejas como el oxígeno disuelto o el pH, representa una herramienta útil y aplicable para la vigilancia ambiental continua, sobre todo en zonas de difícil acceso. La correlación significativa encontrada en la temperatura y la conductividad eléctrica confirma que los sensores satelitales pueden ser utilizados con fiabilidad para evaluar la calidad del agua en ecosistemas altoandinos, siempre que se acompañen de una calibración periódica con datos de campo.

CONCLUSIONES

El análisis comparativo permitió determinar que las técnicas de teledetección presentan un alto potencial para estimar ciertos parámetros fisicoquímicos, como la temperatura y la conductividad eléctrica, mostrando correlaciones significativas con los datos in situ. Sin embargo, variables como el oxígeno disuelto y el pH presentan limitaciones de representatividad, requiriendo la integración de modelos empíricos y calibraciones locales. De este modo, la combinación de mediciones in situ y teledetección se consolida como una estrategia eficiente y complementaria para el monitoreo ambiental del Lago Junín, favoreciendo la gestión sostenible de sus recursos hídricos.

En relación con la temperatura del Lago Junín, el análisis comparativo entre los datos obtenidos mediante técnicas de teledetección y las mediciones in situ evidenció una correlación estadísticamente significativa ($p = 0.001$), lo que demuestra que las imágenes Landsat son efectivas para estimar la temperatura superficial del agua. Esto confirma que la teledetección constituye una herramienta confiable para el monitoreo térmico de cuerpos lacustres, especialmente útil para detectar variaciones espaciales y temporales asociadas a procesos climáticos o impactos ambientales, reduciendo la dependencia de muestreos extensivos en campo.

En cuanto al pH del Lago Junín, los resultados mostraron una correlación significativa pero débil ($p = 0.048$) entre los valores in situ y los estimados mediante teledetección. Esto sugiere que, aunque los sensores Landsat no miden directamente el pH, pueden detectar variaciones indirectas asociadas a factores como la turbidez, la materia orgánica o la coloración del agua. Por ello, se recomienda aplicar modelos de calibración locales que integren datos espectrales y mediciones directas, para mejorar la precisión de las estimaciones de pH a nivel satelital.

Respecto a la conductividad eléctrica, se identificó una correlación estadísticamente significativa ($p = 0.001$) entre las mediciones in situ y los valores derivados de Landsat. Este resultado indica que las técnicas de teledetección son una alternativa eficiente para estimar la conductividad del agua, debido a que las variaciones en la concentración de sales disueltas modifican la reflectancia espectral. En consecuencia, la teledetección puede emplearse como herramienta de apoyo para el monitoreo continuo y regional de la calidad del agua en el Lago Junín.

En el caso del oxígeno disuelto, los valores obtenidos ($p = 0.109$) evidenciaron que no existe una correlación significativa entre las mediciones satelitales y las realizadas in situ. Esto demuestra que la teledetección no permite estimar de forma confiable este parámetro, ya que su concentración depende de factores locales como la fotosíntesis, la mezcla del agua y la actividad biológica, los cuales no son detectables por sensores ópticos o térmicos. Por tanto, se recomienda continuar utilizando mediciones directas en campo para este parámetro específico.

RECOMENDACIONES

Utilizar imágenes satelitales multiespectrales o hiperespectrales con alta resolución temporal para captar variaciones estacionales y eventos puntuales. Incorporar técnicas de procesamiento digital de imágenes como índices espectrales específicos para parámetros fisicoquímicos (por ejemplo, índice de clorofila, turbidez). Además, validar los mapas generados con datos históricos y considerar la integración de modelos hidrológicos para interpretar los cambios espaciales y temporales

Realizar muestreos sistemáticos en diferentes puntos y profundidades del lago para obtener representatividad espacial y temporal. Emplear equipos portátiles calibrados para medir parámetros clave como pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad y turbidez. Complementar con análisis de laboratorio para parámetros como nutrientes y metales pesados. Registrar condiciones ambientales durante el muestreo para contextualizar los resultados.

Aplicar métodos estadísticos de comparación como el coeficiente de correlación, error cuadrático medio (RMSE) y análisis de regresión para cuantificar la concordancia entre ambos conjuntos de datos. Realizar validaciones cruzadas con diferentes fechas y condiciones. Ajustar los algoritmos de teledetección según los resultados para mejorar la precisión y desarrollar modelos de calibración específicos para el Lago Junín.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). (2022). Water quality criteria: Aquatic life criteria table. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/wqc>
- Aguirre Plasencia, V. D., & Quispe Colorado, Z. L. (s. f.). Estimación de parámetros fisicoquímicos mediante teledetección en las lagunas “La Grande” y “Gemelas” de Alto Perú. Universidad Privada del Norte. Repositorio UPN. Recuperado de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/41262>
- American Public Health Association. (2021). Standard methods for the examination of water and wastewater (24th ed.). APHA, AWWA, WEF.
- Ayala, C., & Herrera, M. (Julio-Diciembre de 2019). Monitoreo de la calidad del agua del lago Chinchaycocha, mediante técnicas de teledetección espacial (Vol. 2). Perú: Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad. <https://doi.org/https://doi.org/10.46380/rias.v2i2.46>
- Caballero, I., Roman, A., Tovar, A., & Navarro, G. (2022). Water quality monitoring with Sentinel-2 and Landsat-8 satellites during the 2021 volcanic eruption in La Palma (Canary Islands). *Science of The Total Environment*, 822.
- Cusiche, L., & Miranda, G. (2019). Contaminación por aguas residuales e indicadores de calidad en la reserva nacional ‘Lago Junín’, Perú (Vol. 10). Perú: Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. https://www.academia.edu/86862873/Contaminaci%C3%B3n_por_aguas_residuales_e_indicadores_de_calidad_en_la_reserva_nacional_Lago_Jun%C3%ADn_Per%C3%BA?utm_source=chatgpt.com#loswp-work-container
- Demetillo, M., Navarro, A., Knowles, K., Fields, K., Geddes, J., Nowlan, C., Janz, S., Judd, L., Saadi, J., Sun, K., McDolad, B., Diskin, G., & Pusede, S. (2020). Observing Nitrogen

Dioxide Air Pollution Inequality Using High-Spatial-Resolution Remote Sensing Measurements in Houston, Texas. *Anthropogenic Impacts on the Atmosphere*, 54(16), 9882 - 9895. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/acs.est.0c01864>

Díaz Loyola, J., & Llave Barturen, C. (2019). Estimación de los parámetros de calidad de agua y su relación con la reflectividad de la superficie del satélite Landsat 8 en el Lago Chinchaycocha – Junín [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/72629>

Estrada, L., & Macahuachi, D. (2023). Análisis del comportamiento espacial de la concentración de clorofila-a, solidos suspendidos totales y transparencia en la laguna Yarinacocha con imágenes satelitales, Ucayali 2022. [Tesis de pregrado - Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio Institucional: UNU. <https://hdl.handle.net/20.500.14621/6473>

Guajardo, R., Barbosa, F., & Sánchez, C. (2021). Cálculo de un índice de calidad del agua en un cuerpo de agua: estudio de caso lagunas Chacahua y Pastoría, Oaxaca. *RINDERESU*, 5(2). <http://www.rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/105>

Huamán, S., Lucen, M., Paredes, M., & Alfaro, D. (2020). Evaluation of the water quality of Laguna Marvilla in Pantanos de Villa (Lima – Peru). *South Sustainability*, 1(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.21142/SS-0102-2020-019>

Kalivas, D., Petropoulos, G., Dimitriou, E., & Markogianni, V. (2023). An Appraisal of the Potential of Landsat 8 in Estimating Chlorophyll-a, Ammonium Concentrations and Other Water Quality Indicators. *Static and Engineering*, 10(7), 328-344.

Loayza, K., Castillejos, K., Mestas, R., & Quiliche, J. (2017). Estudio de la Teledetección y Caracterización Fisicoquímica del Humedal “El Cascajo”, Santa Rosa, Chancay- Lima, Perú. Chancay: Infinitum. <https://doi.org/https://doi.org/10.51431/infinitum.v7i1.61>

- Lopes, F. W. A., et al. (2022). Advances in technological research for online and in situ water quality monitoring — A review. *Sustainability*, 14(9), 5059. <https://doi.org/10.3390/su14095059>
- McKelvie, I. D. (2002). In-situ measurement of physicochemical water quality parameters. En F. R. Burden, I. McKelvie, U. Forstner & A. Guenther (Eds.), *Environmental Monitoring Handbook* (1.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- NASA. (2022). Landsat 9 Mission Overview. National Aeronautics and Space Administration. Recuperado de <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/>
- Nazirova, K., Alferyeva, Y., Lavrova, O., Shur, Y., Soloviev, D., Bocharova, T., & Stochkov, A. (2021). Comparison of In Situ and Remote-Sensing Methods to Determine Turbidity and Concentration of Suspended Matter in the Estuary Zone of the Mzymta River, Black Sea. *Remote Sens*, 13(1), 143. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs13010143>
- Neyra, A. (2023). Determinación de tres parámetros de la calidad del agua de la laguna Cashibococha mediante el uso de imágenes satelitales, Ucayali, 2023. [Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio Institucional: UNU. <https://repositorio.unu.edu.pe/404>
- Orbegoso, R., & Blas, J. (2023). Aplicación de la teledetección espectral usando landsat 8 para el monitoreo fisicoquímico del agua de la laguna de Conache – 2023. Trujillo. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_dad58d5c25e3a9eab024fd8a48ba0994/Details
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2023). Directrices para la calidad del agua potable (5.^a ed.). OMS. https://www.who.int/water_sanitation_health
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2023). Manual de vigilancia de la calidad del agua para consumo humano. OPS. <https://www.paho.org>

- Portal, R., & 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 titulación, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional: UPN. <https://hdl.handle.net/11537/28978>
- Quiceno, A. (2021). Análisis de algunas variables asociadas a la calidad del agua como aporte en la búsqueda tecnológica de sensores y su parametrización en el marco del proyecto IOT para el análisis de calidad del agua en el humedal Rio Blanco. Manizales.
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. (2019). Reserva Nacional de Junín: Informes y publicaciones. Ministerio del Ambiente. <https://www.gob.pe/institucion/sernanp/informes-publicaciones/1718889-reserva-nacional-de-junin>
- Salas, D., Hermoza, M., & Salas, D. (2020). Distribución de metales pesados y metaloides en aguas superficiales y sedimentos del río Crucero, Perú. *Revista Boliviana de Química*, 37(4), 185-193.
- Sefercik, U., Colkesen, I., Kavzoglu, T., Ozdogan, N., & Yusuf, M. (2024). Assessing the Physical and Chemical Characteristics of Marine Mucilage Utilizing In-Situ and Remote Sensing Data (Sentinel-1, -2, -3). *PFG - Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 92(2024), 415-430. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s41064-023-00254-y>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2022). *Caracterización climática de la región Junín*. SENAMHI. <https://www.senamhi.gob.pe>
- Tenesaca, K. Zarate, E. (2022). Caracterización geo-ambiental de lagunas del macizo del cajas mediante técnicas de teledetección. Cuenca. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11784>

U.S. Geological Survey. (2023). Landsat 8 (L8) Data Users Handbook (v.6.0). U.S. Department of the Interior. Recuperado de <https://landsat.usgs.gov/documents/landsat-8-data-users-handbook.pdf>

USGS. (2025). Servicio Geológico de los Estados Unidos. Misiones Landsa: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat>.

Zuta, F., & Palma, Y. (2023). Estudio de la evolución temporal de la concentración de coliformes fecales en aguas marinas usando imágenes satelitales en las inmediaciones de la Bahía Pucusana y la PTAR Chira, Lima – Perú. [Tesis de titulación, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Institucional: UPC. <https://core.ac.uk/download/pdf/581600828.pdf>

ANEXOS

Anexo N° 1. Instrumento de Recolección de datos

Anexo 1.1 Registro de Datos de campo

[illegible]

REGISTROS DE DATOS DE CAMPO

REALIZADO POR: Ismael Cesar Quintana Cruzabel

RESPONZABLE: Isabel Ceder Quintana Escobedo[illegible]

Anexo 1.3 Registro de Datos de campo

[illegible]

Anexo 1.4 Validación de registro de parámetros de campo

El Registro de Datos de Campo implementado en esta investigación (Anexo 16) fue validado conforme a los lineamientos establecidos en el *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales* (R.J. N° 010-2016-ANA, Anexo 1), garantizando la integridad y trazabilidad de la información recopilada durante los monitoreos en el Lago Junín, en el proyecto “Análisis Comparativo de Parámetros Fisicoquímicos del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ – Junín 2024”.

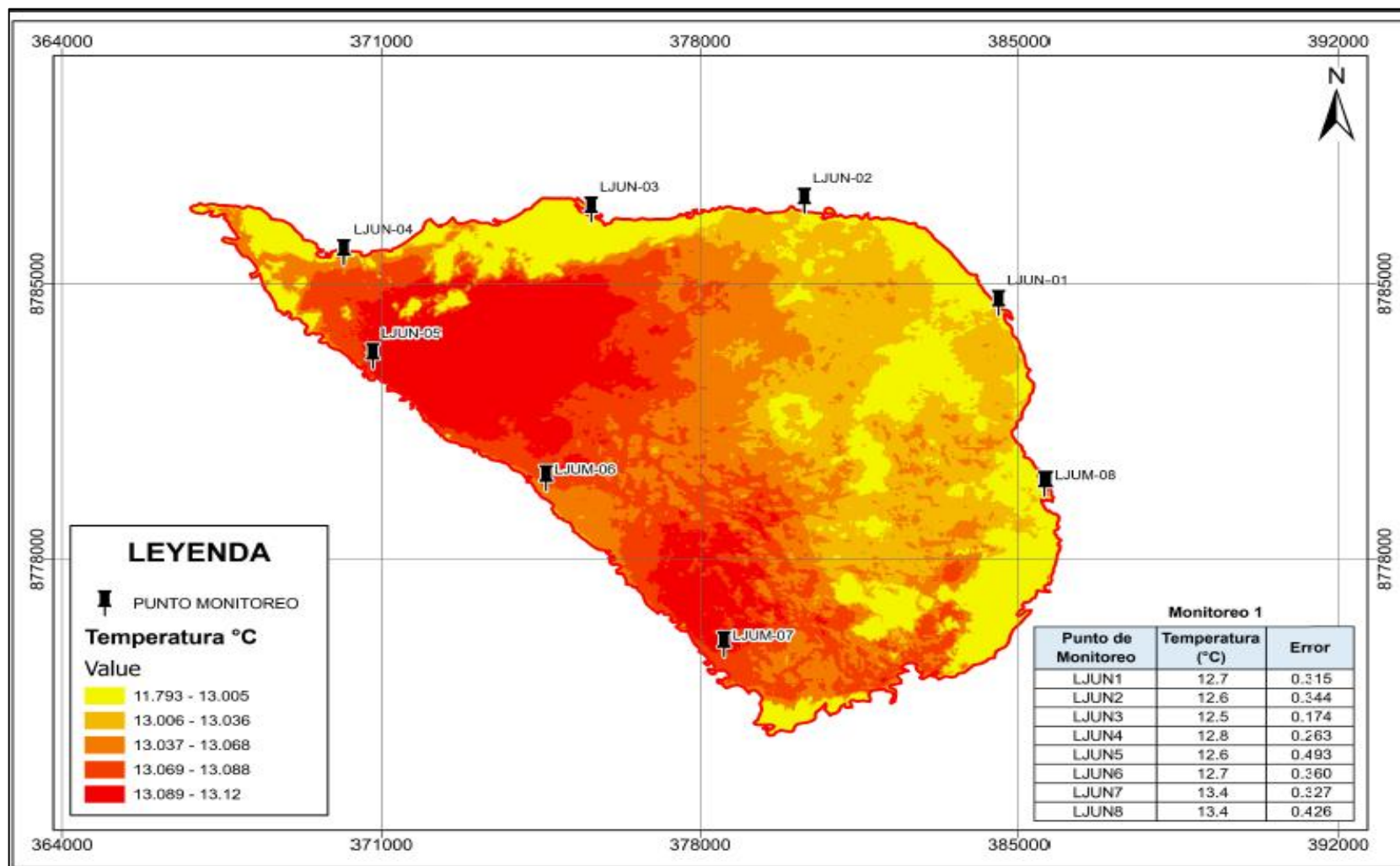
Esta estructura permite el control de la calidad de las mediciones, la identificación de posibles interferencias y la constatación del cumplimiento de los procedimientos técnicos de muestreo (*Anexo 1, R.J. N° 010-2016-ANA*)

La validación efectuada demuestra que el Anexo 16 (registros de parámetros de campo) cumple los criterios técnicos y normativos para asegurar la confiabilidad de los datos recolectados en campo, por lo que es considerado un instrumento válido para la presente investigación

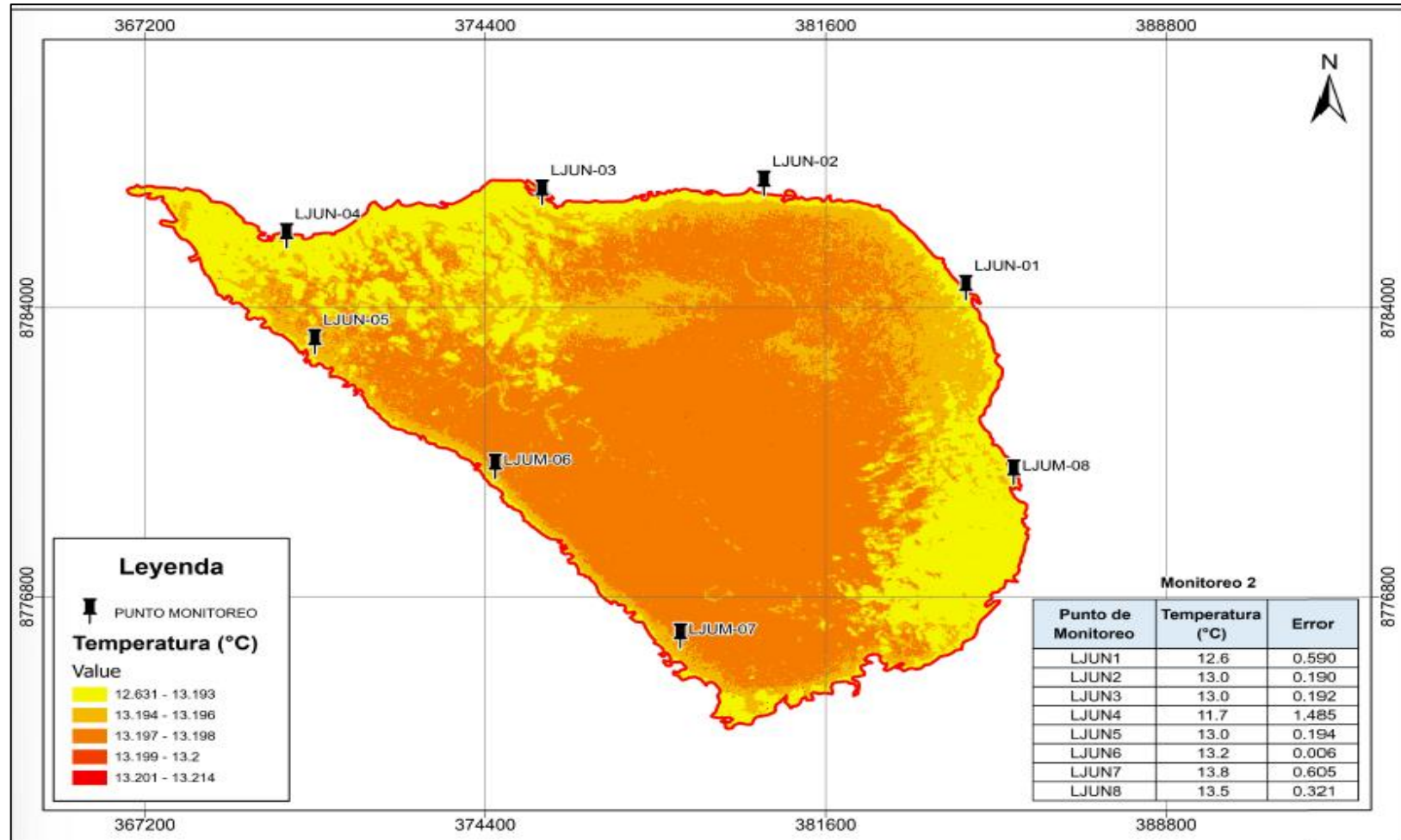
Anexo N°2. Matriz de Consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	Variables	Metodología
Problema General: ¿Qué similitudes comparativas hay en los parámetros fisicoquímicos del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ?	Objetivo General: Analizar comparativamente los parámetros fisicoquímicos del Lago Junín mediante técnicas de teledetección y mediciones In Situ.	Hipótesis General: Existe similitudes en los parámetros fisicoquímicos del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ.	Variable Dependiente: Parámetros Fisicoquímicos del Lago Junín	Enfoque: Cuantitativo
Problema Específicos: ¿Qué similitudes comparativas hay de temperatura del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ?	Objetivos específicos: Analizar comparativamente la temperatura del Lago Junín mediante técnicas de teledetección y mediciones In Situ.	Hipótesis específicas: Existe similitudes comparativas en el parámetro de la temperatura del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ.	Dimensión Temperatura(°C), PH, Conductividad	Diseño de investigación: Diseño no experimental, transversal y descriptivo-comparativo
¿Qué similitudes comparativas hay de pH del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ?	Analizar comparativamente el pH del Lago Junín mediante técnicas de teledetección y mediciones In Situ.	Existe similitudes comparativas en el parámetro del pH del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ.	Eléctrica, Oxígeno Disuelto	Tipo: Aplicada
¿Qué similitudes comparativas hay de conductividad eléctrica, del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ?	Analizar comparativamente la conductividad eléctrica del Lago Junín mediante técnicas de teledetección y mediciones In Situ.	Existe similitudes comparativas del parámetro de conductividad eléctrica del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ.	Variable Independiente: Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ	Población: Lago de Junin
¿Qué similitudes comparativas hay de oxígeno disuelto del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ?	Analizar comparativamente el oxígeno disuelto del Lago Junín mediante técnicas de teledetección y mediciones In Situ.	Existe similitudes comparativas en el parámetro del oxígeno disuelto del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ – Junín 2024.y Mediciones In Situ.	Dimensión Técnicas	Técnica de recolección de datos: Imágenes satelitales

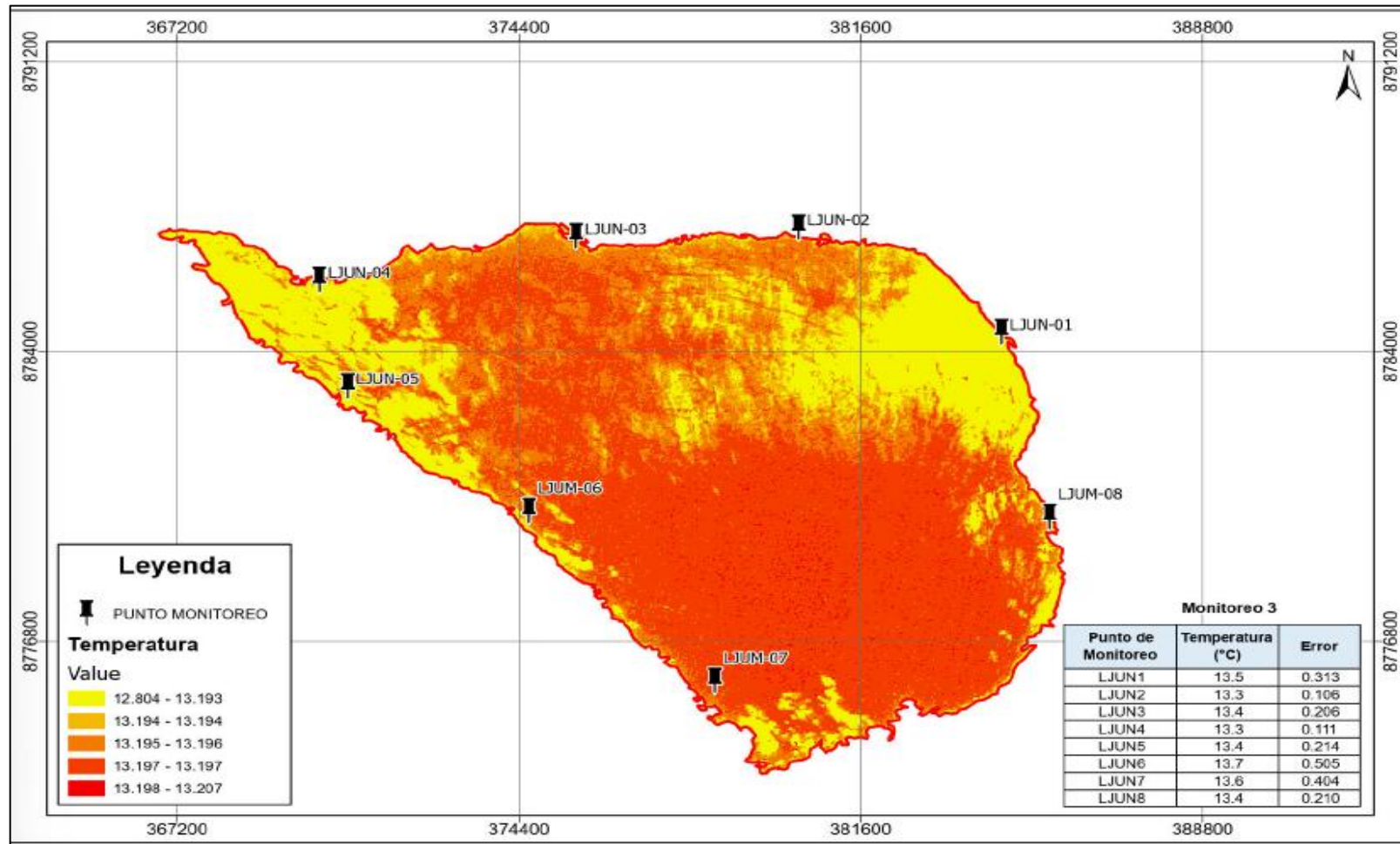
Anexo N°3. Mapa de temperatura – Estación 1



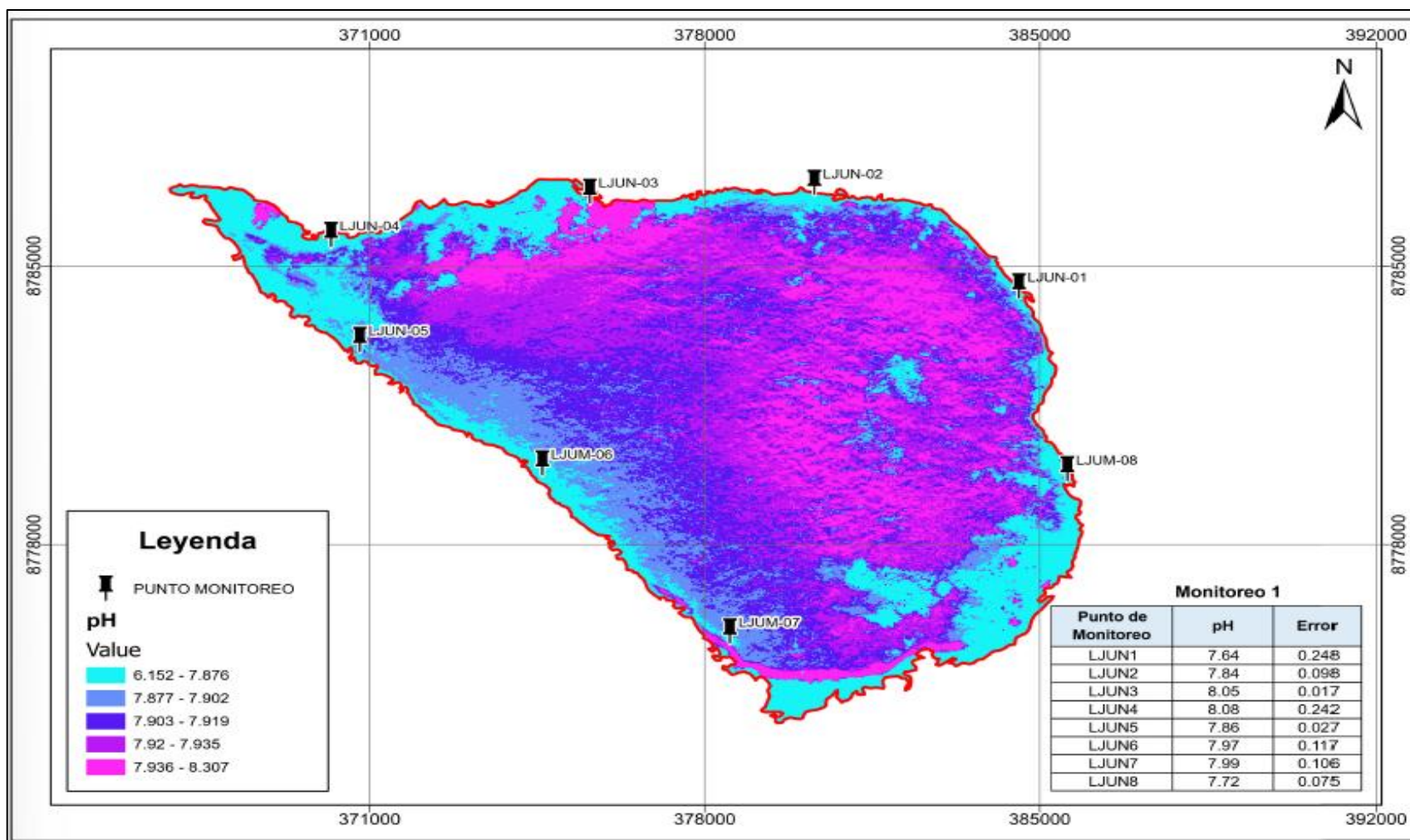
Anexo N°4. Mapa de temperatura – Estación 2



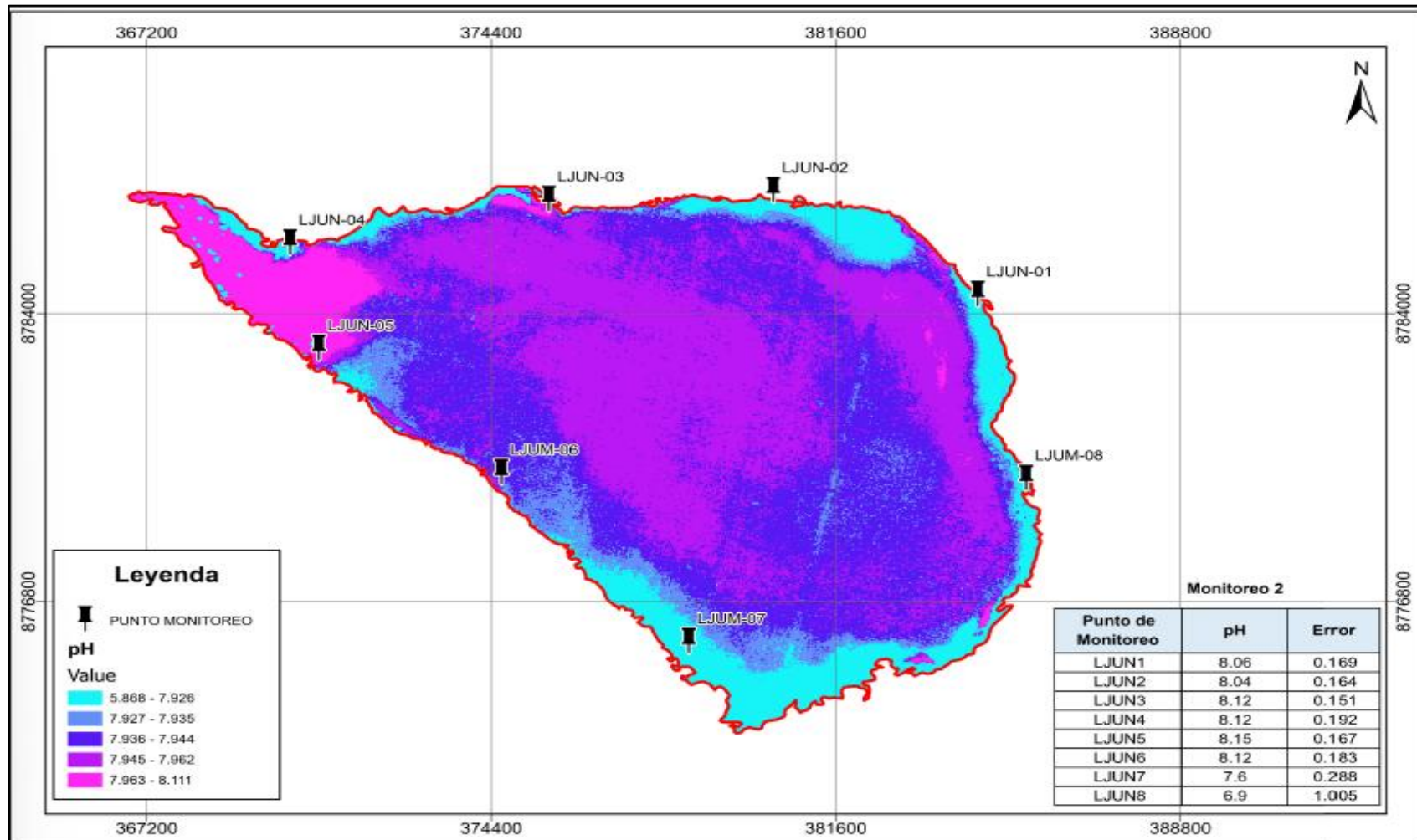
Anexo N°5. Mapa de temperatura – Estación 3



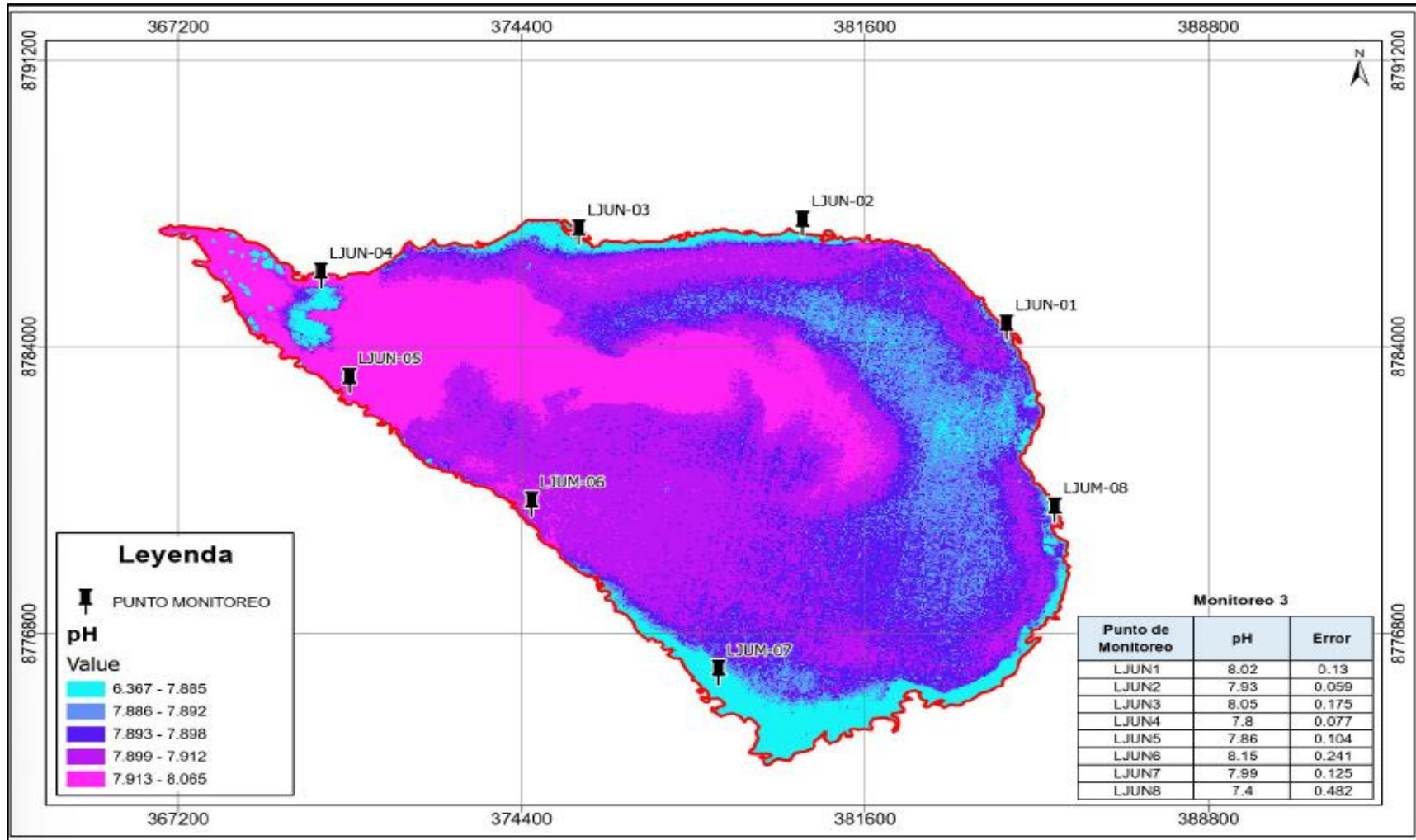
Anexo N°6. Mapa de pH- Estación 1



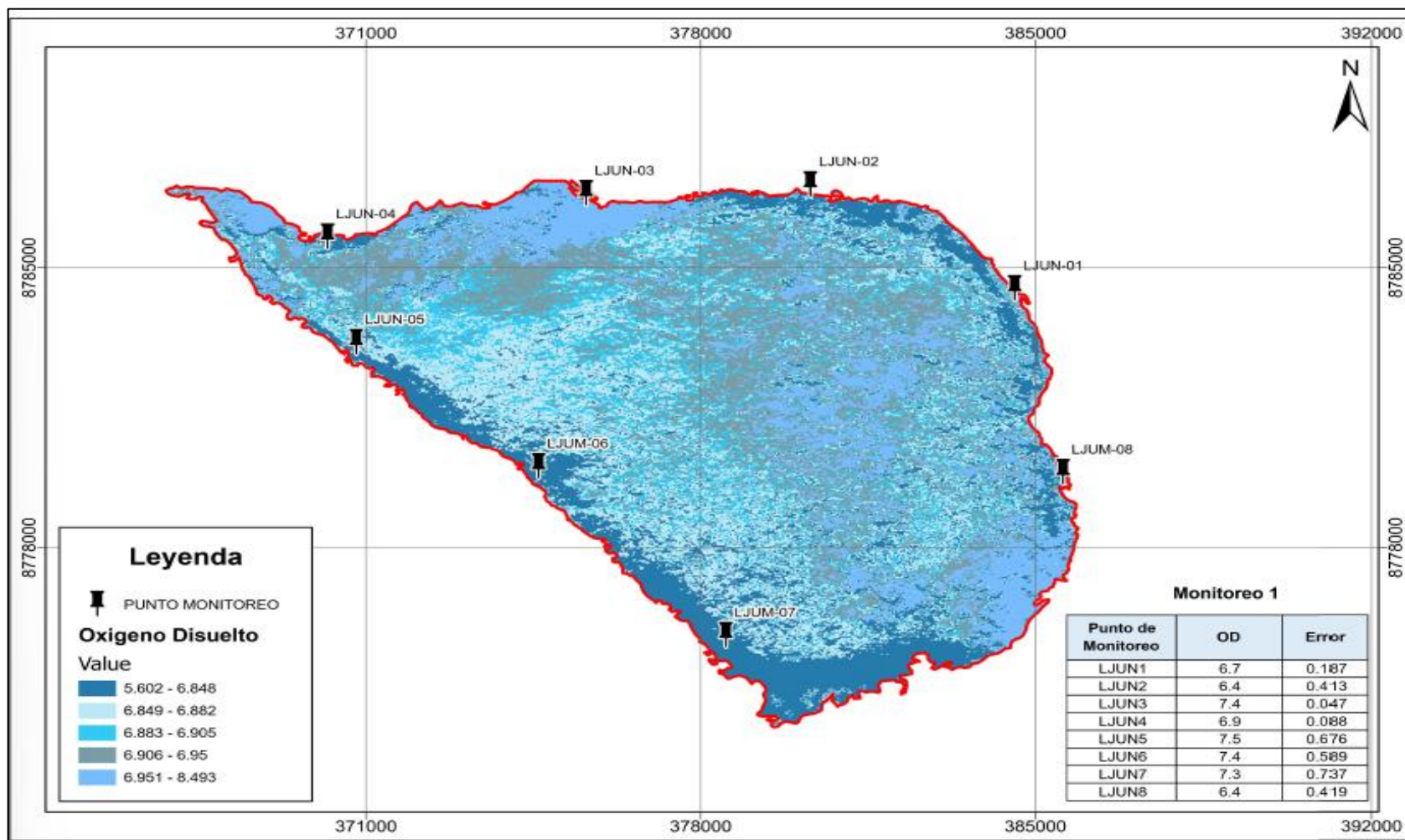
Anexo N°7. Mapa de pH – Estación 2



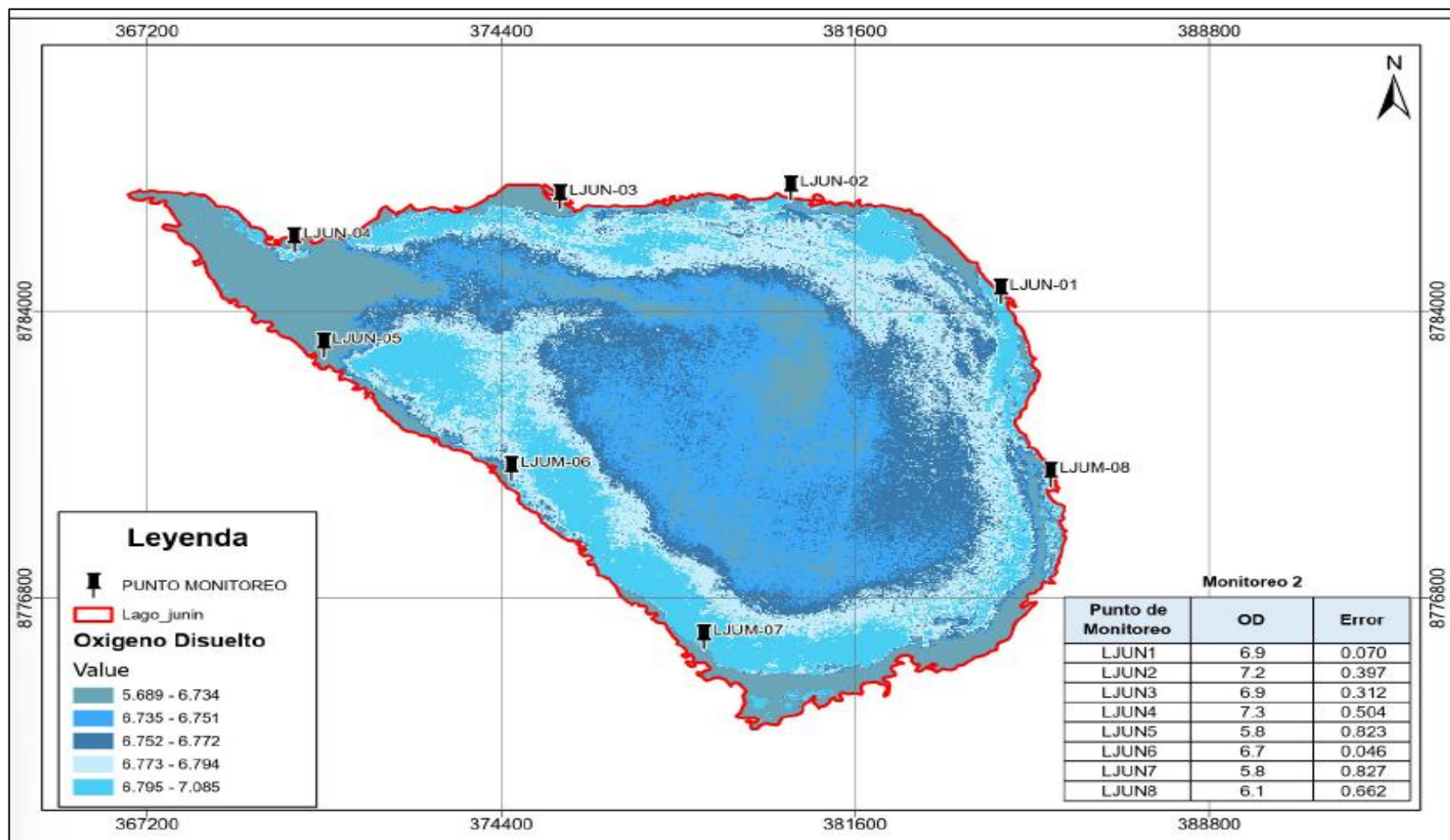
Anexo N°8: Mapa de pH – Estación 3



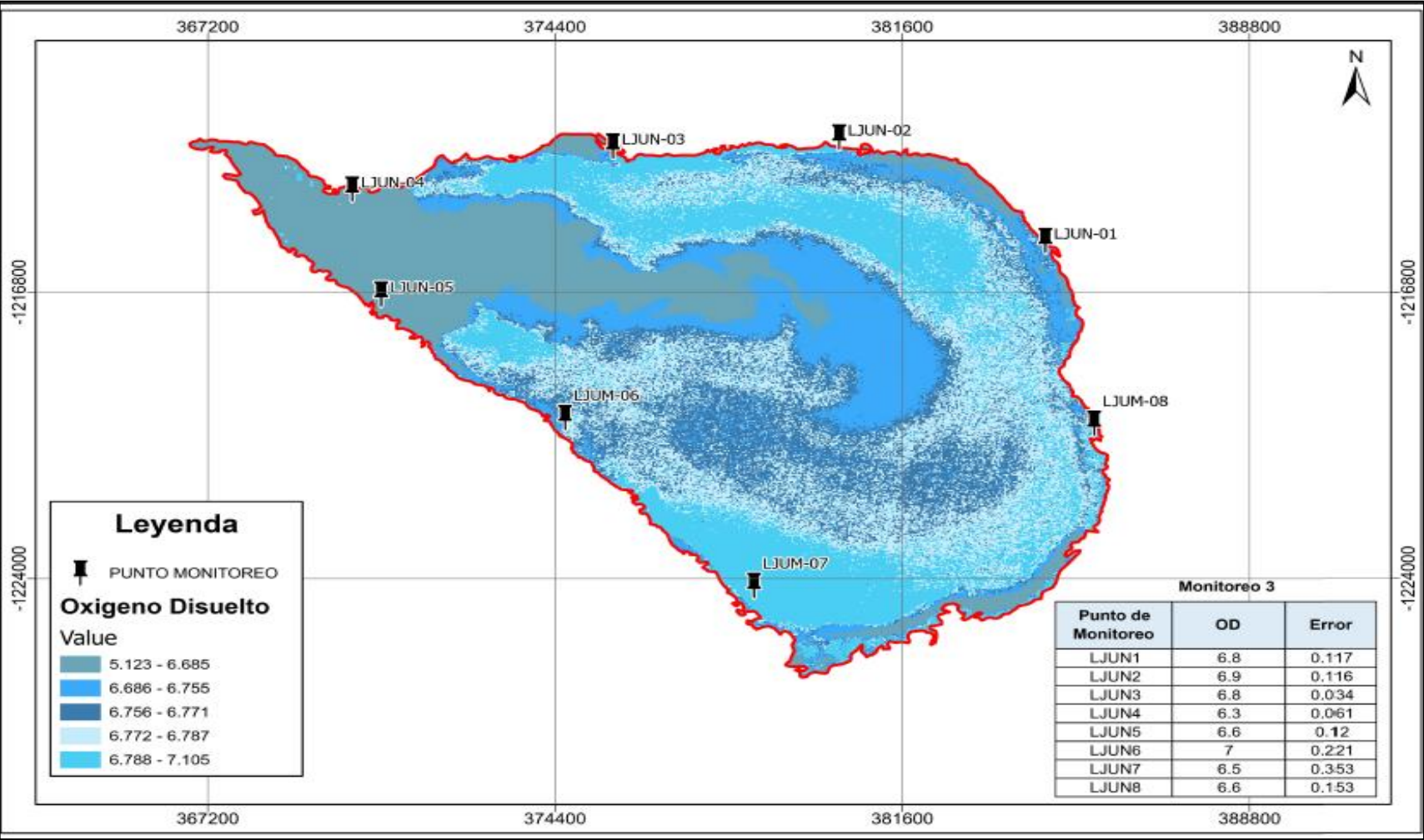
Anexo N°9. Mapa de Oxígeno disuelto (OD) - Estación 1



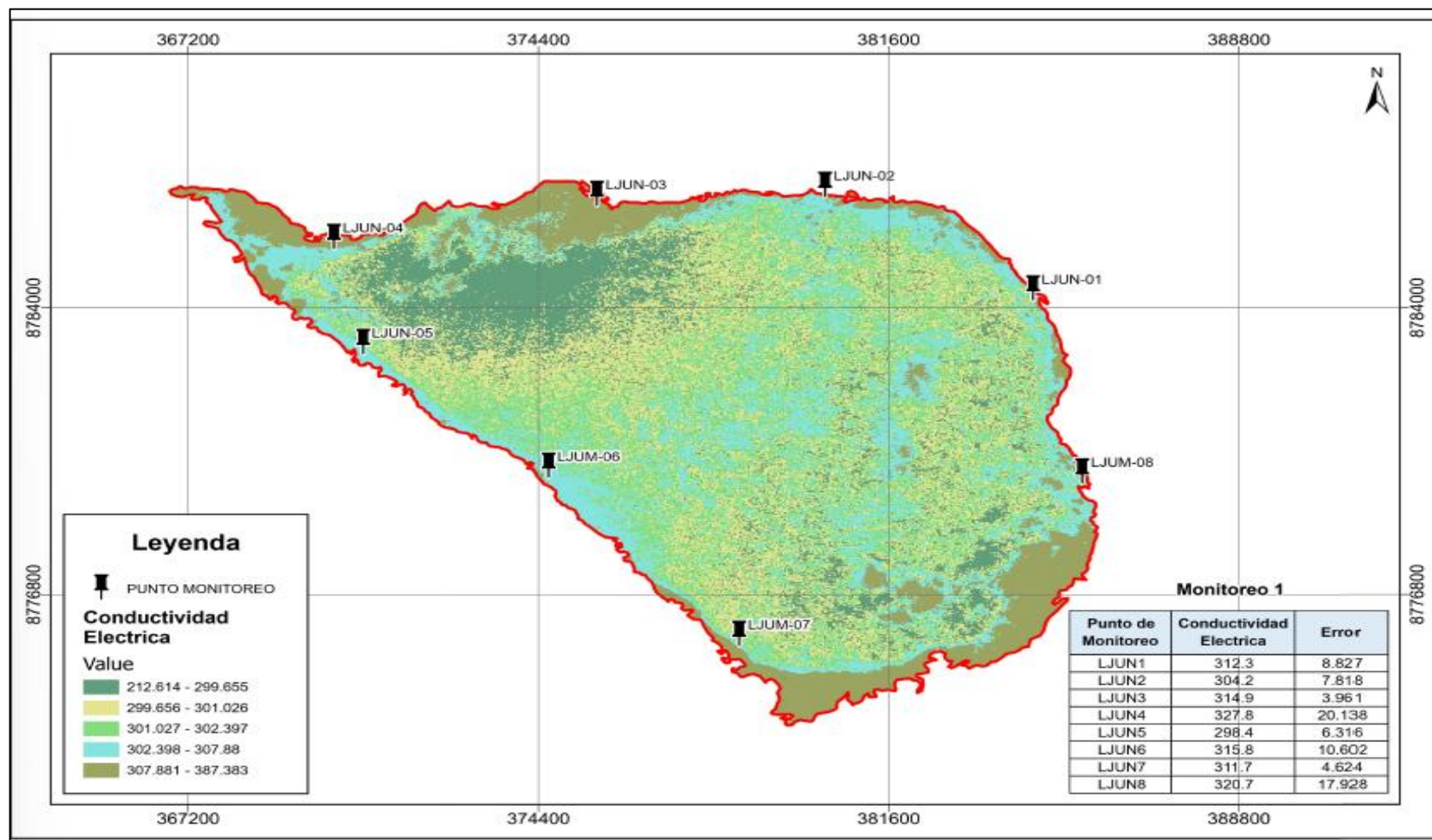
Anexo N°10. Mapa de Oxígeno disuelto (OD) – Estación 2



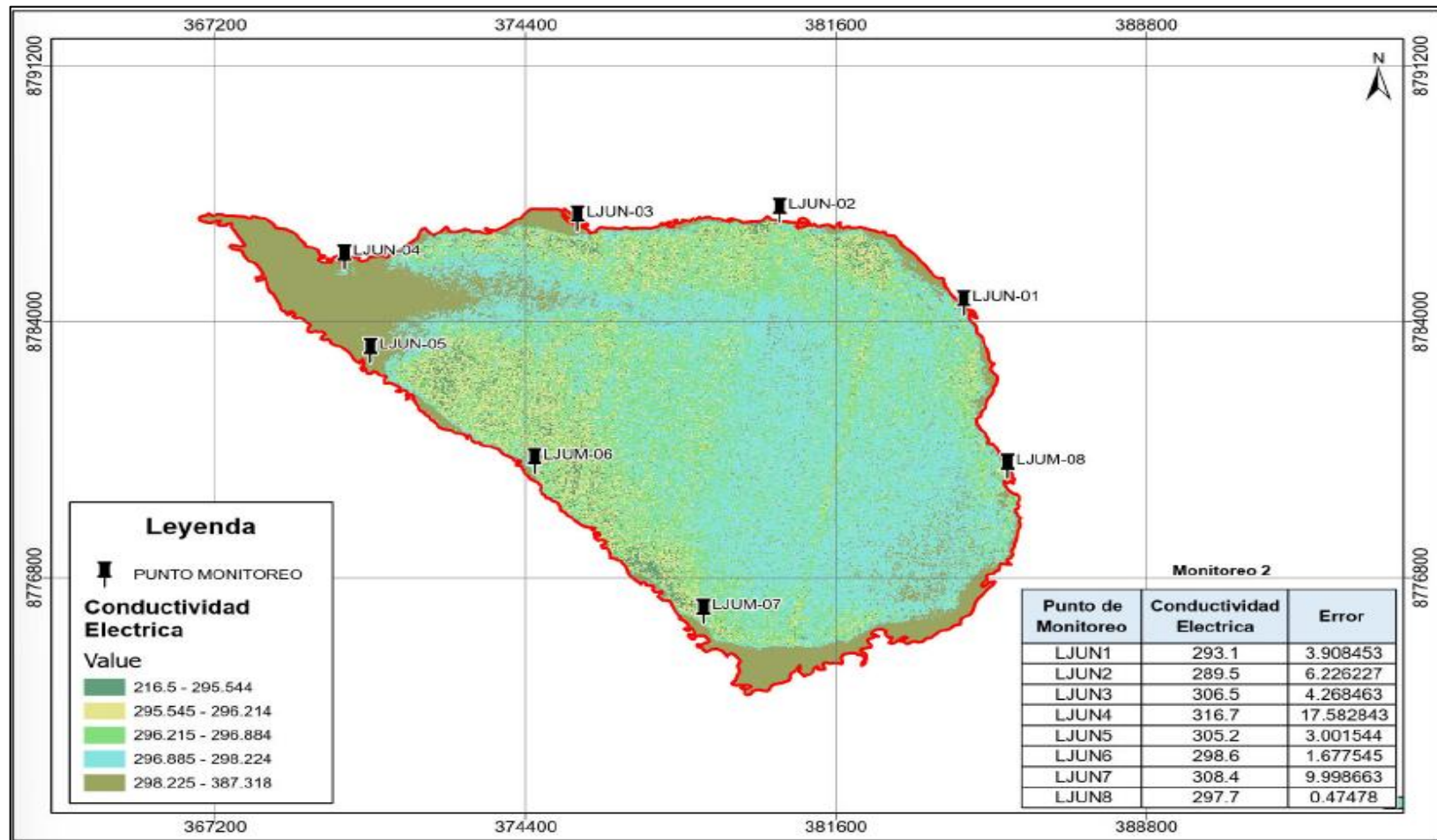
Anexo N°11. Mapa de Oxígeno disuelto (OD) – Estación 3



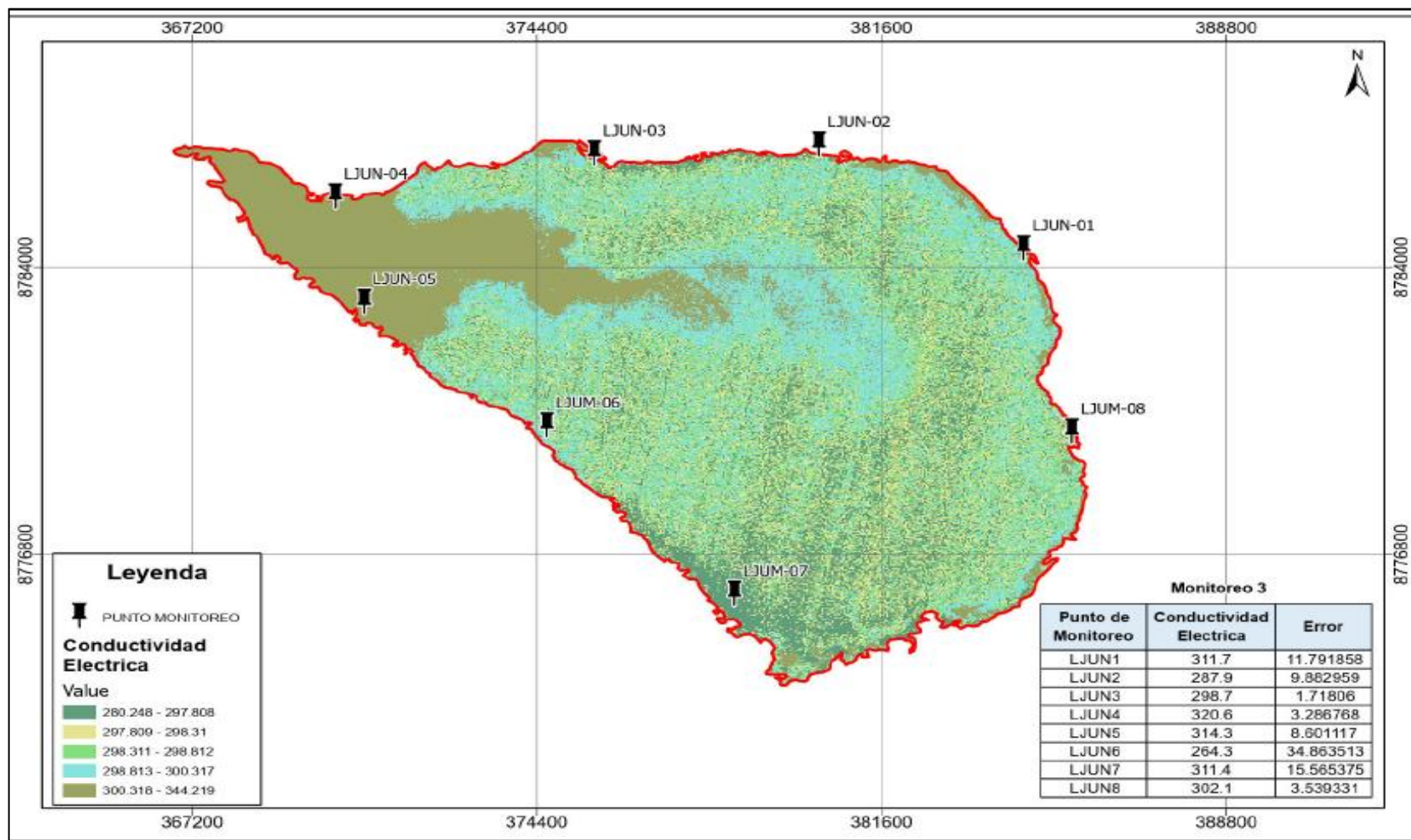
Anexo N°12. Conductividad eléctrica (CE)- Estación 1



Anexo N°13. Conductividad eléctrica (CE)– Estación 2



Anexo N°14. Conductividad eléctrica (CE)– Estación 3



Anexo N°15. Carta de aprobación por el SERNANP para realizar el monitoreo del lago Junín

	PERÚ	Ministerio del Ambiente	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado	DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS	RESERVA NACIONAL DE JUNÍN	 Firmado digitalmente por MEDRANO YANQUI Ronald Luis FAU DNI: 74296543 Cargo: Jefe de ANP - Reserva Nacional de Junín Módulo: Soy el autor del documento Fecha: 25.02.2025 10:05:06 -05:00
---	-------------	--------------------------------	--	---	----------------------------------	---

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

Junín, 25 de Febrero del 2025

CARTA N° 000003-2025-SERNANP/RNJUN-SGD

Señor (a)
QUINTANA ERRAZABAL ISAIAS CESAR
DNI No. 74296543
Anexo Buena Vista, JUNIN-CHANCHAMAYO-PERENE
cesarquintanaerrazabal@gmail.com
Presente. –

Asunto : Autorización para realizar investigación científica en ANP: "Análisis Comparativo de Parámetros Físicoquímicos del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ – Junín 2024", por el periodo de 04 meses.

Referencia : SOLICITUD S/N 03/02/2025 (3FEB2025)
Correo electrónico del 10 de febrero del 2025
Correo electrónico del 25 de febrero del 2025

Me dirijo a usted, para saludarla y felicitar su alto interés en desarrollar investigación en la Reserva Nacional de Junín, el cual se denomina "Análisis Comparativo de Parámetros Físicoquímicos del Lago Junín Mediante Técnicas de Teledetección y Mediciones In Situ – Junín 2024", por el periodo de 04 meses. Considerando el cumplimiento formal otorgamos autorización correspondiente mediante Resolución de Jefatura de ANP No. 000002-2025-SERNANP/RNJUN-SGD en cuatro (04) folios y el informe N° 000003-2025-SERNANP/RNJUN-SGD en nueve (09) folios, adjuntos al presente.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente.

Documento firmado digitalmente
RONALD LUIS MEDRANO YANQUI
JEFE DE ANP - RESERVA NACIONAL DE JUNIN

cc.: Archivo
RLMY/rmy

Nota.- Descargar la Resolución de Jefatura de ANP No. 000002-2025-SERNANP/RNJUN-SGD en cuatro (04) folios y el informe N° 000003-2025-SERNANP/RNJUN-SGD en nueve (09) folios, a través del siguiente link:
<https://archivosgd.sernanp.gob.pe/sgd-anexos/download/8a367fa7-6bbd-4539-87e2-1426eb317d2c>

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://sgd.sernanp.gob.pe/verificadoc-web/Inicio.do> e ingresando la siguiente clave: OVJE1DJ



Anexo N° 16. Panel Fotográfico

Imagen N° 1. Ubicación del Punto de Monitoreo



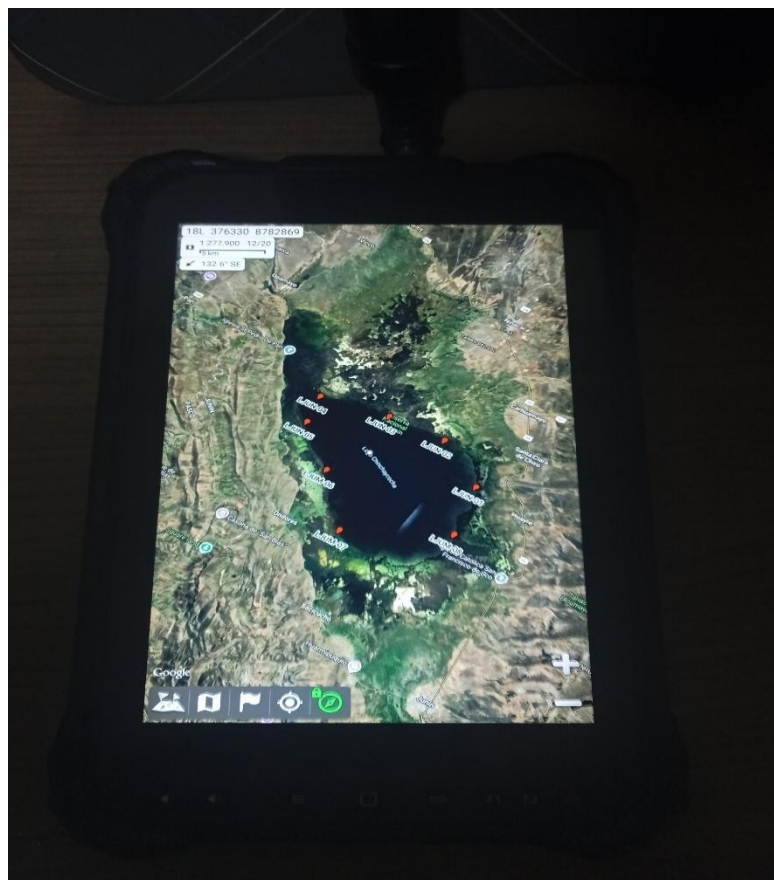
Imagen N° 2. Monitoreo de Oxímetro



Imagen N° 3. *Monitoreo con el Multiparámetro*



Imagen N° 3. *Ubicación de Puntos de monitoreo GPS Submétric*



Anexo N° 17: Constancia de calibración de equipo de campo

CONSTANCIA DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE CAMPO PARA AGUA

Laboratorio de Ingeniería Ambiental Oxapampa

responsable: Edson V. RAMOS PEÑALOZA

Fecha: 28/02/2025

Instrumentos calibrados:

Nombre del equipo	Modelo	Número de serie	Ubicación de calibración
Medidor de oxígeno disuelto (OD)	SDL150		Laboratorio
Equipo multiparámetro	HI991300		Laboratorio

Objetivo:

Verificar el correcto funcionamiento de los equipos

Procedimiento de calibración:

1. Medidor de oxígeno disuelto (OD) SDL150

- Se limpió y enjuagó el electrodo con agua destilada antes de calibrar y se verificó el contenido de sus soluciones,
- Se quitó el electrodo y se calibró a 0, luego a 21 al aire libre,
- Se ajustó hasta que la lectura coincidiera con lo indicado,
- Se registra y guarda la calibración en el equipo, para su uso

2. Equipo multiparámetro Hanna HI 991300

- Se verificaron los sensores de pH, conductividad, turbidez, entre otros, utilizando soluciones patrón.
- Se calibraron los sensores según las recomendaciones del fabricante y los estándares de calibración.
- Se ajustaron los valores y se registraron en el equipo.

Resultados de la calibración:

Equipo	Resultado	Observaciones
Medidor de oxígeno disuelto	Aceptable	
Equipo multiparámetro	Aceptable	

Todos los instrumentos calibrados cumplen con los estándares establecidos.



Edson V. Ramos
INGENIERO QUÍMICO
CIP N° 107649