

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

TESIS:

**CORRELACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS IMÁGENES
SATELITALES CON LOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS DEL AGUA DE LA
LAGUNA SAN NICOLÁS, CAJAMARCA 2022**

Para optar el Grado Académico de

DOCTOR EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Presentada por:

M.Cs. MAURO EDILBERTO CRUZADO RAMIREZ

Asesor:

Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA


Cajamarca, Perú

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Mauro Edilberto Cruzado Ramirez
DNI: 26685750
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias. Programa de Doctorado en Ciencias, Mención: Gestión Ambiental y Recursos Naturales
2. Asesor: Dr. Jimmy Frank Oblitas Cruz
3. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☐ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☒ Doctor
4. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
Correlación de los resultados de las imágenes satelitales con los análisis físico químicos del agua de la laguna San Nicolás, Cajamarca 2022
6. Fecha de evaluación: **25/12/2024**
7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **18%**
9. Código Documento: **1:3121826115**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ **APROBADO** ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **12 / 12 / 2025**

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>
 <hr style="width: 20%; margin: auto;"/> <div style="text-align: center;">Dr. Jimmy Frank Oblitas Cruz DNI: 40043738</div>

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2025 by
MAURO EDILBERTO CRUZADO RAMIREZ
Todos los derechos reservados



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD

Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS


ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS


MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES


Siendo las 16.05 horas, del día 15 de mayo del año dos mil veinticinco, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. MARCIAL HIDELSO MENDO VELÁSQUEZ**, **Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA**, **Dr. WILFREDO POMA ROJAS** y en calidad de Asesor, el **Dr. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ**, actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y el Reglamento del Programa de Doctorado de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se inició la SUSTENTACIÓN de la tesis titulada: **CORRELACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS IMÁGENES SATELITALES CON LOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS DEL AGUA DE LA LAGUNA SAN NICOLÁS, CAJAMARCA 2022**, presentada por el **Maestro en Ciencias Mención: Administración, MAURO EDILBERTO CRUZADO RAMIREZ**.


Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBAR con la calificación de DIECISIETE (17) la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Maestro en Ciencias Mención: Administración, MAURO EDILBERTO CRUZADO RAMIREZ**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **DOCTOR EN CIENCIAS**, Mención **GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES** de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias,

Siendo las 17.0 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Dr. Jimmy Frank Oblitas Cruz
Asesor


.....
Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez
Jurado Evaluador


.....
Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Jurado Evaluador


.....
Dr. Wilfredo Poma Rojas
Jurado Evaluador

Dedicatoria

A mi madre Felicitas
Ramirez Sánchez por su
apoyo incondicional y
porque nunca dudó que
podría lograr mis metas.

Gracias.

A mis hijos Kathya, Kenick y
Tayel porque son la bendición
más grande que Dios me ha
dado.

A mi familia, por su confianza
y por hacerme sentir un
miembro especial de nuestro
hogar.

Gracias por todo.

Doctorando: Mauro Edilberto Cruzado Ramírez

Agradecimientos

A todos mis docentes del doctorado en
gestión ambiental y recursos naturales
por sus sabias enseñanzas y por
orientarnos a la conservación del
planeta.

Un agradecimiento especial a mi asesor
Dr. Jimmy Oblitas Cruz por su
contribución en el desarrollo del
presente trabajo de investigación.

Epígrafe

Donde no hay amor, pon amor y sacarás amor

San Juan de la Cruz

Tabla de Contenidos

Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Epígrafe	vii
Tabla de Contenidos	viii
Lista de tablas y figuras	ix
Lista de abreviaciones	xii
Resumen	xiii
Abstract	xiv
 CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	 1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes de la Investigación	3
2.2. Bases Teóricas	10
2.3. Definición de Términos Básicos	22
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1. Ubicación	25
3.2. Materiales y Equipos	31
3.3. Metodología de la Investigación	32
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1. Obtención del Plano Topográfico de la Zona de Estudio	43
4.2. Resultados de Laboratorio de las Muestras Tomadas en Campo	45
4.3. Obtención de las imágenes Satelitales	47
4.4. Resultados del Análisis de Temperatura a las Imágenes Satelitales	54
4.5. Resultado del Análisis de Potencial de Hidrógeno (pH) a las Imágenes Satelitales	56
4.6. Resultados del Análisis de Turbidez a las Imágenes Satelitales	58
4.7. Resultados del Análisis de Oxígeno Disuelto a las Imágenes Satelitales	60
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXOS	70

Lista de tablas y figuras

Lista de Tablas

Tabla 1: Rutas de acceso desde la ciudad de Cajamarca a la laguna San Nicolás.

Tabla 2: Coordenadas UTM y Geográficas, de los puntos de muestreo de la laguna San Nicolás.

Tabla 3: Principales parámetros geomorfológicos.

Tabla 4: Condiciones climatológicas de la zona de estudio.

Tabla 5: Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de agua.

Tabla 6: Parámetros y sus modelos matemáticos

Tabla 7: Otros Parámetros y sus modelos matemáticos

Tabla 8: Coordenadas UTM del perímetro de la laguna San Nicolás.

Tabla 9: Fecha de obtención de las imágenes satelitales y de las muestras en campo en los puntos
de muestreo de la laguna San Nicolás

Tabla 10: Resultado del análisis en campo de las muestras tomadas con equipo multiparámetro
HANNA

Tabla 11: Resultado del análisis de laboratorio de los parámetros observados en la laguna San
Nicolás

Tabla 12: Comparación de los resultados de temperatura.

Tabla 13: Comparación de los resultados de potencial de hidrógeno (pH).

Tabla 14: Comparación de los resultados de turbidez de las aguas de la laguna San Nicolás.

Tabla 15: Comparación de los resultados de oxígeno disuelto de las aguas de la laguna San
Nicolás.

Lista de figuras

Figura 1: Representación del terreno en modo vectorial y ráster.

Figura 2: Serie histórica de satélites Landsat.

Figura 3: Mapa de ubicación departamental de la laguna San Nicolás.

Figura 4: Mapa de ubicación provincial de la laguna San Nicolás.

Figura 5: Mapa de ubicación distrital de la laguna San Nicolás.

Figura 6: Puntos de muestreo en la Laguna San Nicolás.

Figura 7: Diagrama de flujo del procedimiento para la obtención de las imágenes satelitales.

Figura 8: Diagrama de flujo para el análisis de temperatura del agua en una imagen satelital.

Figura 9: Diagrama de flujo para encontrar los parámetros de calidad del agua de pH, Turbidez y Oxígeno disuelto en una imagen satelital Landsat 8.

Figura 10: Plano perimétrico de la laguna San Nicolás.

Figura 11: Características de la Imagen satelital Landsat 8 de la Laguna San Nicolás de fecha 22/11/2022.

Figura 12: Características de las bandas de una Imagen satelital Landsat 8.

Figura 13: Ejemplo del código JavaScript que nos ofrece la página del GEE, para trabajar con una colección de imágenes.

Figura 14: Imagen satelital Landsat 8 de la Laguna San Nicolás de fecha 22/11/2022.

Figura 15: Imagen satelital Landsat 8 de la Laguna San Nicolás de fecha 30/11/2022.

Figura 16: Imagen satelital Landsat 8 de la Laguna San Nicolás de fecha 09/05/2023.

Figura 17: Imagen satelital Landsat 8 de la Laguna San Nicolás de fecha 23/04/2023.

Figura 18: Resultado del análisis de temperatura de la imagen satelital de la Laguna San Nicolás de fecha 22/11/2022 (30/11/2022).

Figura 19: Resultado del análisis de temperatura de la imagen satelital de la Laguna San Nicolás de fecha 09/05/2023 (23/04/2023).

Figura 20: Resultado del análisis de pH de la imagen satelital de la Laguna San Nicolás de fecha 22/11/2022 (30/11/2022).

Figura 21: Resultado del análisis de pH de la imagen satelital de la Laguna San Nicolás de fecha 09/05/2023 (23/04/2023).

Figura 22: Resultado del análisis de Turbidez a la imagen satelital de la Laguna San Nicolás de fecha 22/11/2022 (30/11/2022).

Figura 23: Resultado del análisis de Turbidez a la imagen satelital de la Laguna San Nicolás de fecha 09/05/2023 (23/04/2023).

Figura 24: Resultado del análisis de Oxígeno Disuelto a la imagen satelital de la Laguna San Nicolás de fecha 22/11/2022 (30/11/2022).

Figura 25: Resultado del análisis de Oxígeno Disuelto a la imagen satelital de la Laguna San Nicolás de fecha 09/05/2023 (23/04/2023).

Lista de abreviaciones/siglas

Página (Páginas)	p.(pp.)
Oxígeno disuelto	OD
Demanda biológica de oxígeno	DBO
Potencial de hidrógeno	pH
Unidad de Turbidez Nefelométrica	NTU
Metros/metro cuadrado	m m2
Kilómetros	Km
Minutos	Min
Mililitros	ml
Muestra 1	M1
Muestra 2	M2
Dirección regional de comercio exterior y turismo	DIRCETUR
Turismo rural comunitario	TRC
Agencia Espacial Europea	ESA
Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio	NASA
Servicio Geológico de los Estados Unidos	USGS
Google Earth Engine	GEE
World Geodetic System (Sistema Geodésico Mundial 1984)	WGS 84
European Petroleum Survey Group	EPSG
(Grupo Europeo de Estudios del Petroleo)	

Resumen

La presente tesis titulada “Correlación de los resultados de las imágenes satelitales con los análisis físico químicos del agua de la laguna San Nicolás, Cajamarca 2022”, fue desarrollada en la laguna en mención, la cual se encuentra ubicada entre los distritos de Namora y Jesús, provincia y departamento de Cajamarca. El objetivo es determinar la correlación existente y comparar su grado de similitud, para lo cual se analizaron imágenes satelitales Landsat 8 disponible en el geoservidor de la USGS, además se tomaron muestras y se analizaron in situ los indicadores de turbidez, oxígeno disuelto, pH y temperatura. La laguna San Nicolás tiene como afluentes el agua subterránea, por lo que se han tomado solo dos puntos de muestreo, uno en la orilla y otro al centro de la laguna, debidamente referenciados con coordenadas UTM.

Finalmente se llegó a la conclusión de que la diferencia de valores más alta de -5.18°C se encontró en el parámetro de temperatura, ya que debido a la alta cobertura de nubes en la zona de estudio se eligieron las imágenes satelitales más próximas y por otro lado la hora de toma de muestra in situ se hizo por la mañana y el satélite pasa por las tardes a las 15.22 horas aproximadamente, en relación al parámetro de pH se registraron una diferencia de valores bajos menores a 0.5, el parámetro de turbidez registró diferencia de valores menores a 1.51 NTU, finalmente el oxígeno disuelto arrojó diferencia de valores menores a 1.64 mg O₂/L. Por tanto, dadas las condiciones se concluye que las imágenes satelitales son efectivas para el monitoreo de la calidad del agua.

Palabras Clave: Imagen satelital, laguna, parámetros de calidad del agua.

Abstract

This thesis, entitled "Correlation of satellite image results with physical and chemical analyses of the water of San Nicolás Lagoon, Cajamarca, 2022," was developed at the aforementioned lagoon, located between the districts of Namora and Jesús, in the province and department of Cajamarca. The objective is to determine the existing correlation and compare their degree of similarity. Landsat 8 satellite images available on the USGS geoserver were analyzed. Samples were also taken and in situ analyses of turbidity, dissolved oxygen, pH, and temperature indicators were performed. San Nicolás Lagoon's tributaries are groundwater, so only two sampling points were taken: one on the shore and another in the center of the lagoon, duly referenced with UTM coordinates. Finally it was concluded that the highest difference in values of -5.18°C was found in the temperature parameter, since due to the high cloud cover in the study area the closest satellite images were chosen and on the other hand the time of in situ sampling was done in the morning and the satellite passes in the afternoon at approximately 3:22 p.m., in relation to the pH parameter a difference of low values less than 0.5 was recorded, the turbidity parameter registered a difference of values less than 1.51 NTU, finally dissolved oxygen showed a difference of values less than $1.64 \text{ mg O}_2 / \text{L}$. Therefore, given the conditions, it is concluded that satellite images are effective for monitoring water quality.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El análisis de la calidad del agua ha evolucionado en la actualidad ya que al disponer de imágenes satelitales gratuitas se pueden usar para este fin, reduciendo considerablemente los costos y el tiempo en la obtención de resultados.

Las imágenes Landsat ofrecidas gratuitamente en la internet a través del portal web <https://earthexplorer.usgs.gov>, es un programa conjunto de la NASA y del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), estas imágenes se pueden utilizar con gran efectividad para medir algunos parámetros que determinan la calidad de las masas de agua de ríos, lagos y lagunas.

El monitoreo de la calidad del agua es un aspecto importante para la salud de las especies acuáticas, para la población que vive alrededor y para los turistas que visitan este lugar, haciendo uso de la tecnología de las imágenes satelitales y usando programas para analizarlas como GEE, luego correlacionar este análisis en laboratorio para determinar la efectividad.

La Laguna San Nicolás en la actualidad es considerada un circuito turístico muy demandado por turistas locales y extranjeros, quienes la visitan constantemente, en consecuencia, dicha actividad sino es controlada puede afectar gravemente la salud del ecosistema, por lo que se hace necesario que las aguas de esta laguna sean constantemente monitoreadas.

Por otro lado, es necesario poder determinar la efectividad del análisis de las imágenes satelitales en correlación al análisis de laboratorio de los parámetros de pH, temperatura, turbidez y oxígeno disuelto, para lo cual se visitó la laguna en mención en dos oportunidades para recoger muestras que luego serán analizadas en el laboratorio regional del agua y comparadas con los resultados que arroje el análisis de las imágenes satelitales, siendo esta última la manera más rápida y económica para tener monitoreada las aguas de dicha laguna.

Los resultados obtenidos se pueden comparar con los ECAS y se puede determinar el grado de contaminación que sufre dicha laguna y servirá para la población aledaña y para los turistas que visitan a diario este centro turístico. En este trabajo se busca el siguiente objetivo general:

- Determinar la correlación que existe entre los resultados de las imágenes satelitales con los análisis físico químicos del agua de la laguna San Nicolás.

Objetivos específicos:

- Determinar el área comprendida del espejo de agua de la laguna San Nicolás.
- Analizar in situ y en laboratorio las muestras del agua tomadas en dos puntos de muestreo de la laguna San Nicolás.
- Analizar las imágenes satelitales Landsat 8 en dos puntos de muestreo de la laguna San Nicolás.
- Comparar la efectividad del análisis de las imágenes satelitales con los resultados de laboratorio en relación a los parámetros turbidez, oxígeno disuelto, temperatura y pH.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Vera, et al. (2021), en el artículo científico titulado “Detección de la calidad del agua mediante imágenes satelitales: Revisión Sistemática de la literatura con análisis cuantitativo”, realizan una revisión sistemática de literatura referente a la calidad del agua y el uso de las imágenes satelitales, para lo cual los investigadores responden a preguntas y subpreguntas referentes al tema. Un aspecto importante es que se ha encontrado trabajos con imágenes satelitales referentes a la presencia de microplástico en el agua. Finalmente concluye que este es un método eficiente de trabajo que proporciona ventajas de tiempo y costo, comparado con el análisis en campo y son diversos los trabajos referentes al tema, siendo los parámetros más investigados clorofila-a, sólidos totales en suspensión y microplástico.

Pedrerros, et al.(2021) en el artículo científico titulado “Aplicación de Google Earth Engine para obtener la temperatura superficial a largo plazo de pequeños lagos. Caso: Lagunas de San Pedro, Chile. Sensores remotos”, fue realizado en la ciudad de San Pedro de la Paz, región de Biobío, centro sur de Chile. obtuvo los datos de temperatura de la Dirección de Recursos Hídricos de Chile, desde 1988 a 2016, tomados diariamente a las 9 a.m. y 6 p.m. Luego ha contrastado esta información con las imágenes satelitales Landsat, analizadas desde la plataforma del Google Earth Engine, para lo cual se usaron seis métodos que permiten calcular la temperatura como la ecuación de transferencia radiativa (M1, para Landsat 7), dos algoritmos de ventana dividida (M2 y M3, para Landsat 8), dos métodos de enfoque (M4 y M5, Para Landsat 8), algoritmo de ventana doble (M6, para Landsat 7). Se concluye que cuando los instrumentos están calibrados, cualquiera de los seis métodos es eficaz, pero recomiendan los métodos M1 y M6 porque sus resultados se acercan más a la realidad. Finalmente recomiendan que mediante

este método se puede construir una base de datos por teledetección de todos los cuerpos de agua de Latinoamérica.

Morales & Soria(2021) en el artículo científico titulado “Estudio de las fluctuaciones del nivel del agua en la laguna de Gallocanta (Aragón, España) mediante imágenes satelitales Sentinel 2”, tienen como objetivo analizar las fluctuaciones del nivel del agua durante un periodo de cinco años, los datos han sido tomados en diferentes épocas del año, para el análisis ha utilizado imágenes satelitales Sentinel 2 de la Unión Europea y el software SNAP, no ha realizado muestreo de campo, aunque sugiere que sería importante hacerlo. El estudio concluye que hay una amplia variación ya que en los meses de mayo y junio se dan las máximas avenidas y las mínimas en los meses de enero y febrero. Por otro lado, indica que este trabajo de escritorio es eficaz sin tener la necesidad de ir al lugar de estudio.

Ermida, et al.(2020) en el trabajo titulado “Código de fuente abierta de Google Earth Engine para la estimación de la temperatura de la superficie terrestre de la serie Landsat”, fue desarrollado en forma conjunta con profesionales de universidades de Portugal y Alemania. En esta investigación los autores proporcionan códigos de computadora (scripts) que sirve para determinar la temperatura de la superficie terrestre desde el análisis de las imágenes satelitales Landsat 4, 5, 7 y 8, para lo cual se utiliza el programa Google Earth Engine (GEE). El objetivo del trabajo es proporcionar un repositorio de código con todos los scripts de GEE que son necesarios para determinar la temperatura de la superficie terrestre a partir de imágenes Landsat. El código está disponible en la plataforma de GEE y está escrito en lenguaje de programación Javascript. Se concluye que estos scripts están disponibles en la plataforma de GEE y permiten analizar grandes cantidades de datos y proporcionan una dirección para poder ubicarlo fácilmente.

https://code.earthengine.google.com/?accept_repo=users/sofiaermida/landsat_smw_lst.

Finalmente, al validar los scripts arrojó una precisión de 0.5k para Landsat 5, -0.1k para Landsat 7 y 0.2k para Landsat 8.

Veneros, et al. (2020), en su trabajo de investigación “Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua”, se encargaron de revisar bibliografías como tesis y artículos científicos que contengan aplicaciones de las imágenes satelitales y los VANT (vehículos aéreos no tripulados) en los estudios ambientales de cobertura vegetal y cuerpo de agua. Se pudo determinar que en las imágenes satelitales se usó resoluciones espaciales menores a diez metros, mientras que en los VANT las resoluciones fueron mayor a diez centímetros. Se encontró diez trabajos referentes a este tema presentando un resumen de cada uno de ellos. Finalmente se encontraron diez aplicaciones de las imágenes satelitales como son cobertura boscosa, expansión urbana, índice de vegetación de proporciones estandarizadas, cambio de coberturas vegetales, deforestación, distribución espacial del agua, monitoreo del agua, distribución espacial del agua, monitoreo del agua, dinámica lagunar, parámetros de calidad de agua y los umbrales del índice de nieve de diferencia normalizada. Por otro lado, con los VANT se pudo encontrar también diez aplicaciones abundancia vegetal, dinámica de la población de plantas, conservación ecológica, vegetación acuática, mapeo de vegetación, calidad del agua, dinámica fluvial, flujo de ríos, mapas batimétricos de un lago y variaciones vegetales acuáticas. Los estudios encontrados datan desde los años 2015 hasta 2019.

Peña & Suárez (2020), su trabajo de investigación titulado “Evaluación de la calidad del agua del embalse Rapel entre 1975 y 2016 utilizando índices espectrales”, lo realizaron en el lago artificial Rapel – Chile y tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua haciendo uso de las imágenes satelitales Landsat en un periodo de 1995 a 2016. El procedimiento fue seleccionar los

periodos en los cuales las precipitaciones totales anuales sean equivalentes al promedio de los años 1969 a 2016. La segunda preselección fue adquirir las imágenes satelitales entre enero y febrero de cada año y que estén libres de errores radiométricos, siendo la resolución espacial de estas imágenes de 30 y 60 metros y fueron descargadas del Geoservidor Earth Data de la NASA. Por otro lado, se utilizó el programa ENVI 5.3 y el modelo de transferencia radiativa MODTRAN para el análisis. Los parámetros analizados son densidad algal, materia en suspensión y materia orgánica disuelta coloreada. Finalmente, los resultados arrojaron un deterioro de la calidad del agua debido a las actividades mineras cercanas, que favorecen brotes microalgales tolerantes a dicho compuesto.

Noyola, et al. (2019) en el trabajo titulado “Evaluación del origen y distribución espacial de la composición química en un lago tipo rift, utilizando modelación estadística multivariada, hidrogeoquímica y teledetección”. realizada en el lago Chapala, estado de Jalisco, país de México, afirman que es un lago rift porque es la consecuencia de la divergencia de dos fallas tectónicas y presenta actividad sísmica y magmática, se utilizó una metodología de técnicas estadísticas multivariadas y el análisis de imágenes satelitales Landsat 7 para encontrar una relación entre la calidad del agua y los factores antropogénicos del lugar. Concluye que hay contaminación porque se alimenta de las aguas del río Leymar y de las aguas contaminadas del área urbana a su alrededor.

Tavares, et al. (2019) en el trabajo de investigación “Comparación de métodos para estimar la temperatura del agua en la superficie del lago utilizando imágenes Landsat 7 ETM+ y MODIS: estudio de caso de un gran lago subtropical poco profundo en el sur de Brasil. (Brasil)”. realizado en el lago Mangueira, ubicado en la costa del río Grande do Sul, en la frontera de Brazil y Uruguay, siendo un lago subtropical y poco profundo. El objetivo fue evaluar la

temperatura del lago en diferentes periodos, para lo cual se usó dos sensores térmicos MODIS y Landsat 7. Para el análisis se utilizó la ecuación de transferencia radiativa y los parámetros de la calculadora de parámetros de corrección atmosférica de la NASA. Los resultados arrojaron que ambas imágenes satelitales son muy precisas para determinar la temperatura y recomiendan que se apliquen pruebas similares con imágenes Landsat en diferentes lagos.

Callisaya (2018) en su trabajo “Análisis de la clorofila-a en el agua con técnicas de teledetección en el lago Titicaca (lago menor)”. determinó la concentración de la clorofila-a en el lago Titicaca del lado de Bolivia, para lo cual se tomaron muestras in situ el mismo día que el satélite Landsat 8 pasaría por ese lugar. La metodología sería por un lado llevar las muestras de agua al laboratorio para analizar el fósforo total, y el procesamiento de imágenes satelitales bajadas del servidor USGS para analizar la clorofila mediante firmas espectrales en los cuerpos de agua. Las muestras de agua se tomaron en nueve puntos diferentes referenciados con coordenadas UTM. Por otro lado, en cada punto se tomó cinco firmas espectrales, obteniendo 45 firmas espectrales a analizar, para lo cual se utilizó el programa ENVI 5.3, el cual también se usó para la corrección atmosférica de las imágenes satelitales. Para el trabajo en campo se usó el espectroradiómetro para las medidas radiométricas (firmas espectrales), medidas de la clorofila fitoplactónica con la sonda fluorométrica, mediciones de transparencia de agua con el disco de Secchi, las muestras de agua fueron recogidas en botella de Niskin. El índice de estado trófico se determinó usando la fórmula de Carlson para los parámetros de transparencia de agua, fósforo total y clorofila-a. Los resultados obtenidos fueron que el análisis de las firmas espectrales realizadas con la radiometría orbital y la radiometría de campo tuvieron una diferencia del 1%, por lo que el autor recomienda el uso de imágenes satelitales del Landsat 8 (sensor OLIS) por su gran efectividad; Por otro lado, se determinó que la concentración de la clorofila-a está en el

litoral del lago; también se concluyó que la concentración fitoplactónica se encuentra en la desembocadura de los ríos, finalmente las concentraciones de fósforo total encontradas indican un alto nivel de nutrientes.

Briceño, et al. (2018) en el trabajo de investigación titulado “Determinación de calidad de agua en el Lago Vichuquén, con imágenes de satélite Landsat 8, sensor OLI, año 2016, Chile”, realizado en el lago Vichuquén que se encuentra ubicado en la comuna de Vichuquén, provincia de Curicó, región del Maule, Chile. determinaron 18 puntos de muestreo escogidas según las siguientes características donde existen descargas de ríos y quebradas, sectores con influencia de actividad turística, lugares con descarga de aguas servidas y áreas que no muestran señales de eutrofización. Por otro lado, se tomaron muestras a una profundidad de 0 y 0.8 metros en las fechas 16 de febrero y 23 de mayo, coincidiendo con el paso del satélite Landsat 8 por esos lugares. Para la recolección de muestras de campo in situ de clorofila-a se usó botella de Van Dorn de 8,2 l. Para los datos de turbidez se utilizó el disco de Secchi. Se usó metodologías de detección de los parámetros de calidad de agua con el uso combinado de sensores ópticos y modelos regresión lineal múltiple, pero el autor recomienda incrementar el número de muestras para obtener un mejor valor del coeficiente de determinación R^2 . Finalmente se llega a la conclusión que estado trófico del lago es diferente en verano y en otoño, siendo eutrófico y mesotrófico respectivamente, esto debido a las plantaciones forestales de pino radiata y eucalipto, las actividades agrícolas y las áreas urbanas circundantes al lago.

Ruiz, et al. (2016) en la obra “Comparación de las recuperaciones de Modis y Landsat-8 de clorofila-a y temperatura del agua sobre el lago Titicaca”. realizado con el trabajo conjunto de profesionales de la Universidad de Valencia (España) y de la Universidad Mayor de San Andrés UMSA (La Paz, Bolivia), evaluaron la concentración de la clorofila-a y la variación de la

temperatura en el lago Titicaca usando para ello imágenes del sensor MODIS y Landsat 8, se hizo correcciones atmosféricas a las imágenes satelitales para obtener mejores resultados, para el análisis se usaron algoritmos específicos. Finalmente se concluye que la combinación de ambos sensores es más efectiva para este tipo de estudios, permitiendo monitorear las tendencias de eutrofización y temperatura del lago en mención.

Han, et al. (2021) en el estudio “Validación de los datos satelitales de la concentración de Clorofila-a, temperatura superficial y coeficiente de atenuación difusa en el lago Titicaca”, el objetivo fue comparar los valores obtenidos de las imágenes satelitales con los datos tomados en campo de 30 estaciones de muestreo dentro del lago Titicaca, en relación a los parámetros de Clorofila-a, temperatura superficial y coeficiente de atenuación difusa, la hora que pasa el satélite por el lugar es 2 pm y las muestras en campo se tomaron con una diferencia de 2 horas. Los resultados obtenidos en relación a la Clorofila-a indica que el sensor VIRRS es el que arroja valores más exactos a diferencia del sensor MODIS ambos del satélite Landsat y en relación a la temperatura superficial del lago se confirma que los resultados de las imágenes satelitales son ligeramente menores a las tomadas in situ.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Información Territorial

La cartografía y los sistemas de información son conceptos en gran medida equivalentes en cuanto a conocimiento del territorio. La demanda de información territorial, debido a su carácter esencial en todo proceso de comprensión del territorio, aumenta de manera creciente y pone cada vez más de manifiesto que dicha información debería cumplir una serie de requisitos indispensables que, con las nuevas tecnologías, son cada vez más factibles de conseguir. La información territorial tiene unos parámetros determinados, enmarcados hoy día con tecnologías que utiliza la captura de información (basada en imágenes digitales), sistemas de información geográfica mixtos, la transmisión de datos a través de redes (locales, mundiales), la cooperación internacional, así como la normalización y armonización de la información a nivel global. Asimismo, y con un criterio lógico de captura, almacenamiento, tratamiento y recuperación posterior, la información territorial se puede dividir en Información Topográfica e Información Temática. La información topográfica se relaciona con la estructura fundamental de un territorio y se representa con las coordenadas (x,y,z) de cada punto, referidas a un sistema de proyección cartográfico concreto y según el elipsoide y datum elegido para el país determinado. Representarán la altimetría y planimetría de un territorio que, junto con la toponimia, definirán el mapa topográfico. (Arozarena Villar, et al., 2016, pp. 18-19)

2.2.2. Principios físicos de la teledetección

La teledetección es un conjunto de técnicas que nos ayudan a obtener información a distancia de un determinado objeto situado sobre la superficie terrestre. Esta información va más allá del alcance del ojo humano, y es obtenida mediante la interacción de los

principales elementos: sensor, objeto de estudio y flujo energético, este último también denominado Espectro Electromagnético. (Veneros, et al., 2020, p.100)

2.2.3. Codificación de sistemas de referencia

Debido al elevado número de distintos sistemas de referencia existentes, resulta fácil perderse en ellos a la hora de tener que trabajar con cartografía en distintos sistemas. Si bien es cierto que existe un esfuerzo integrador para tratar de homogeneizar el uso de sistemas de referencia, también existen esfuerzos para intentar facilitar la gestión de estos y que no resulte tan complejo combinar cartografía producida utilizando sistemas de coordenadas diferentes. Uno de los intentos más exitosos en este sentido es el desarrollado por el consorcio petrolífero European Petroleum Survey Group (EPSG), el cual, consciente de la necesidad de disponer de información acerca de los distintos sistemas de coordenadas y de que esta información fuera de fácil acceso y manejo, ha elaborado un esquema de codificación específico. Este esquema asocia a cada sistema de coordenadas un código (conocido como código EPSG) que la idéntica. Paralelamente, se han documentado en un formato común las características principales de todos estos sistemas, así como las formulaciones que permiten transformar coordenadas entre ellos. La laguna San Nicolás se encuentra en la zona 17M, WGS84(EPSG 32717). (Olaya, 2020, p. 41)

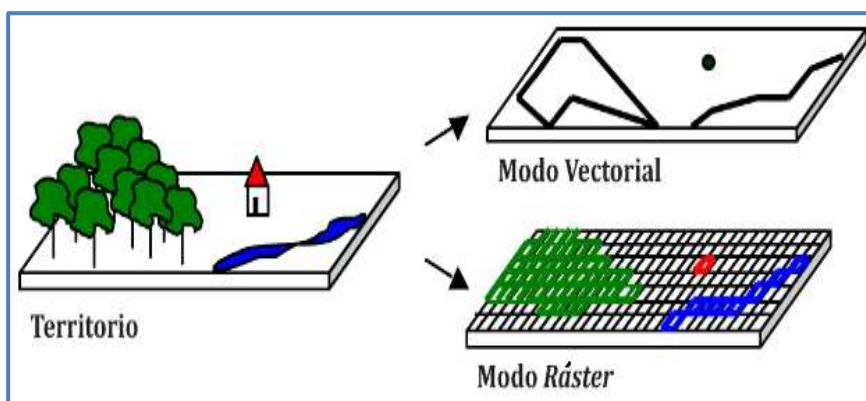
2.2.4. Tipos de datos

Los elementos de la superficie terrestre que conforman el mundo real, tales como ríos, edificaciones, bosques, etc., se denominan **objetos o entidades**, son estos elementos los que se van a almacenar y tratar junto con sus atributos (características propias que

describen a los objetos: nombre, tamaño, orientación, colores, etc.) los objetos ocupan una posición absoluta sobre la superficie de la tierra, definida por sus coordenadas, así como una posición relativa definida por la relación que tienen con el resto de los objetos. Tienen una forma geométrica y pueden ser representados por un punto (casa), una línea (río) o por un polígono (un bosque) los datos estadísticos alfanuméricos representan problemas de georreferenciación, sin embargo, los datos que se extraen de las dos principales fuentes de información geográfica (los mapas y las imágenes de satélite) son objetos espaciales y se pueden representar y almacenar en el ordenador por medio de dos modos distintos: vectorial o ráster. El modo vectorial proporciona información precisa sobre la forma, tamaño, localización y relaciones espaciales de un objeto; en esta estructura, un objeto tipo punto, Por ejemplo, una casa, se almacena como un punto definido por sus coordenadas. Un objeto Tipo línea, por ejemplo, un río, se almacena usando la geometría vectorial en la cual las líneas se definen por una magnitud, una dirección (y un sentido), un objeto tipo polígono como un bosque, es almacenado como una cadena de segmentos o arcos unidos. En el modo ráster los objetos de la superficie terrestre se describen con una o varias celdas encadenadas que no se superponen ni presentan espacios vacíos entre ellas. (Arozarena, et al., 2016, pp. 31 y 32)

Figura 1

Representación del terreno en modo vectorial y ráster.



Nota. (Arozarena, et al., 2016, p. 32)

2.2.5. Captura de la información

Podemos citar como ciencias y técnicas más empleadas en el proceso de captura de información a la **Topografía** estudio de instrumentos y métodos para representar la superficie de la tierra. La **Fotogrametría** captura de información detallada de la superficie terrestre mediante la restitución (analítica o digital) de fotografías aéreas obtenidas a partir de un vuelo fotogramétrico. La **Teledetección** obtención de información digital del territorio topográfica y temática, mediante un sensor a distancia del objeto empleando técnicas de TDI (tratamiento digital de imágenes). En esta definición quedaría incluida la fotogrametría digital, si bien se ha empleado más dicho término para la información obtenida a partir de satélites artificiales, tanto activos (Radar), como pasivos (barredores multiespectrales). Los sistemas de captura de información a distancia son aquellos en los que el objeto del cual se quiere obtener información (carreteras, cultivos, núcleos de población, etc.) no se encuentran en contacto directo con el propio sistema de captura. (Arozarena et al., 2016, pp. 36-38)

2.2.6. El espectro electromagnético

Todos los cuerpos que emiten energía lo hacen en una sucesión de valores de λ_i en forma continua, emitiendo una mayor cantidad de energía para una determinada λ_i . Esta característica diferencia unas fuentes de emisión de otras. La diferencia se debe básicamente a la temperatura de emisión (Ley de Wien). La sucesión continua de valores λ_i de composición similar es lo que se conoce como espectro electromagnético. El espectro electromagnético se ordena en función de sus longitudes de onda λ_i (bandas), expresándose en micrómetros(μm) las “ondas cortas” (rayos γ , X) y en cm o m las “ondas largas”. Las de mayor longitud se emplean en telecomunicaciones (kilométricas). (Arozarena, et al., 2016, pp. 42 y 43)

2.2.7. Caracterización espectral

Todos los fenómenos de absorción y transmisión de energía se producen en el espectro “visible”, teniendo, no obstante, una pequeña reflectancia en comparación con el suelo y la vegetación. Si el agua se encuentra a escasa profundidad la reflectancia es mayor. El contenido de materias en suspensión aumenta la reflectancia especialmente en el azul y el verde el agua en la parte de “microondas” tiene una capacidad de retorno baja lo que implicará imágenes oscuras. En la caracterización espectral de la vegetación la reflectancia en la parte del espectro “óptico” Tiene unas zonas típicas de absorción de la energía (lo que implica menor reflectancia) por las siguientes causas: absorción debida a la clorofila (0,4 y 0,6 μm) y absorción por el H_2O (1,4-1,9 y 2,8 μm). El máximo de reflectancia se encuentra entre 0,7 y 1,4 μm debido a la estructura celular interna de la hoja siendo ello un indicador del vigor vegetativo y de su morfología. Por lo tanto, dicho intervalo nos ayudará a clasificar la vegetación. En cuanto a la zona del infrarrojo térmico

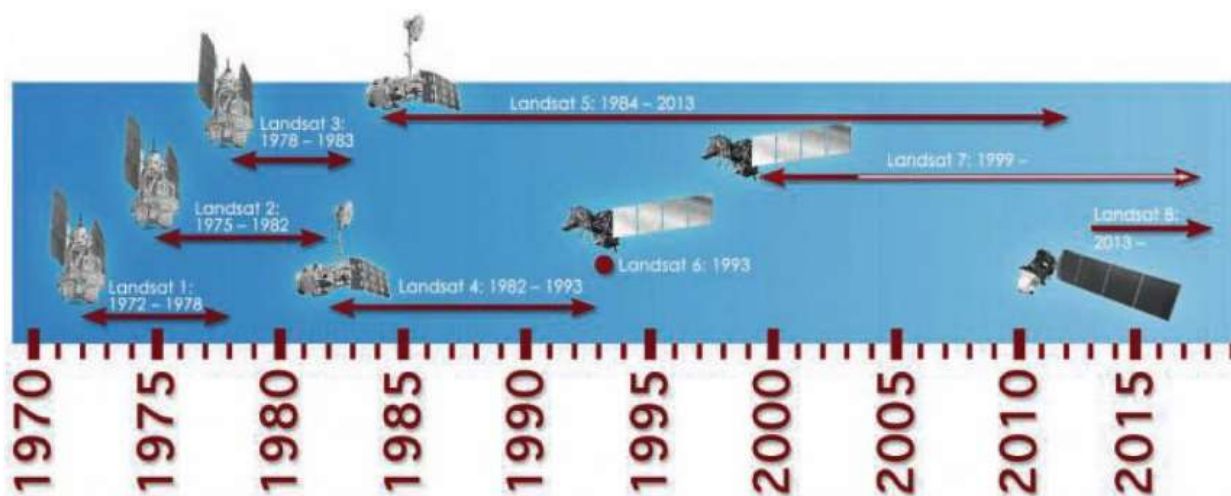
servirá para detectar cambios de temperatura en las superficies cubiertas de vegetación indicando dichas variaciones ciertas características de la vegetación, Como la evotranspiración, al liberar calor, implica una pérdida de temperatura. (Arozarena, et al., 2016, pp. 50 y 51)

2.2.8. El satélite Landsat 8

Fue lanzado el 11 de febrero del 2013. Este satélite cuenta con dos sensores a bordo: el OLI (con 9 bandas en el espectro óptico) y el TIRS (con dos bandas en el infrarrojo térmico). Teniendo en cuenta que la resolución espacial (de 15 m en la pancromática, 30 m en las bandas multiespectrales y 100 m en el IR térmico) es mucho más baja que la de otros sensores con aplicaciones medioambientales y bandas similares como el SPOT, IKONOS o QuickBird. El nuevo satélite de la serie Landsat (Landsat-8, hasta poco después de su lanzamiento, LDCM, Landsat Data Continuity Mission) seguirá siendo gestionado por la NASA y el USGS, con el compromiso de proporcionar sus imágenes gratuitamente con objetivos de investigación o educativos. Esto es muy importante porque proporciona acceso a unos datos muy familiares para los investigadores. El primer satélite Landsat 1 fue puesto en órbita el 23 de julio de 1972 y en febrero del 2013, el Landsat 8. Estos satélites han tomado imágenes de la superficie de la tierra de forma ininterrumpida y homogénea. (Rodríguez, et al., 2015, pp. 162-164)

Figura 2

Serie histórica de satélites Landsat.



Nota. NASA

2.2.9. Imágenes satelitales

Son conjuntos de datos rasterizados, lo cual significa que la imagen está comprimida en numerosos elementos conocidos como “píxeles” (picture elements) que cubren la totalidad de la escena. Los conjuntos de datos vectoriales, por el contrario, son mucho más abstractos y están compuestos por puntos, líneas y polígonos. Por la propia naturaleza del proceso digital, las imágenes obtenidas por los sensores son del tipo “ráster”. Los sensores electro – ópticos exploran la superficie del planeta midiendo la energía Electro Magnética(EM) reflejada por miles de áreas elementales terrestres, definidas con alta precisión. Estas áreas tienen una dimensión conocida como “distancia de muestreo de tierra” o GSD, la que se corresponde con la resolución espacial y las dimensiones del píxel. Por ejemplo, si un sensor tiene una GSD de 10 m, ello significa que en su franja de imagen mide la reflectancia sobre una superficie elemental de 10 x 10 m; si a la vez se trata de un sensor multiespectral, medirá la reflectancia en varias bandas

del espectro, pero siempre sobre la misma superficie. A cada píxel se le asigna un valor, o número digital, que depende del valor de su reflectancia, relacionándose así el píxel con la GSD. Durante el tratamiento de las imágenes, la computadora convierte el valor de la reflectancia de cada píxel en una escala de grises o de grado de brillo de un color. La escala de gris monocromática se utiliza para representar imágenes pancromáticas puesto que éstas se componen de valores de reflectancia en una sola banda del espectro. (Soria & Matar de Saquis, 2016, p. 45)

2.2.10. Interpretación de imágenes satelitales:

Hay que tener en cuenta que los valores espectrales son sólo una parte de la información contenida en las imágenes de satélites. Cada píxel contiene datos espaciales y espectrales, lo cual significa que se pueden identificar visualmente accidentes y objetos del terreno por su apariencia física. Las “formas” a analizar son prácticamente las mismas que aparecen en un aerofotograma convencional: un edificio se ve como un edificio y un campo arado se ve como un campo arado. En cuanto a la información espectral, la intensidad del color de la imagen aporta también un dato a analizar. Por ejemplo, si se ha elegido el color rojo para representar visualmente la reflectancia de un objeto en el IR cercano, la vegetación aparecerá de color rojo brillante gracias a su muy alta reflectancia en esa banda del espectro. Los programas informáticos de procesamiento de imágenes y algunos de cartografía, efectúan dicho análisis y tipificación con mucha mayor precisión que el ojo humano. (Soria & Matar de Saquis, 2016, p. 46)

2.2.11. El uso de la teledetección para evaluar la calidad del agua

La teledetección supone una herramienta de muchísimo alcance para la ecología acuática, pero en particular para, la biología acuática. La teledetección supone una herramienta

fantástica para entender la distribución a gran escala de los organismos presentes en la masa de agua, su movilidad, y el desarrollo temporal. Para llevar a cabo un estudio sobre la calidad del agua mediante teledetección debemos tener en cuenta las ventajas que esta técnica ofrece y todos los factores que intervienen en dicho proceso, como son los tipos de aguas existentes en la tierra, la interacción de la radiación solar con cada una de ellas, y los sensores y plataformas que se pueden utilizar. (Dominguez, et al., 2012, p. 8)

Presenta también otros problemas, como la resolución espacial demasiado poco detalla para el estudio de la mayoría de los ríos y el hecho de que casi todos los valores de radiancia se refieren solo al agua cercana a la superficie. Además, como muchos parámetros cualitativos del agua experimentan frecuentes cambios, la frecuencia de observación desde el satélite es insuficiente; en efecto, incluso las imágenes en tiempo real pueden no ser bastante reales para el caso de algunos contaminantes. Para poder analizar una foto satelital es necesario que tenga una buena resolución ya que el tamaño del pixel determina un resultado más certero, hay fotos satelitales cuyo tamaño del pixel es hasta de un metro y otras mayor a treinta metros; también es importante el tiempo en el que fue tomada la foto satelital ya que si hubo mucha nubosidad ésta se vuelve inservible y hay que utilizar algoritmos de corrección para recuperarla. (Meaden & Kapetsky, 2012, p. 76)

2.2.12. Google Earth Engine (GEE)

Es una plataforma desarrollada por Google que permite realizar procesamiento geoespaciales a gran escala, utilizando bases de datos con millones de estos. Uno de los principales intereses de esta plataforma es reducir el tiempo invertido en el preprocesamiento y facilitar los análisis realizados con información geoespacial. GEE

nace de la necesidad de aprovechar la big data al ofrecer una herramienta que pueda lidiar tecnológicamente con el manejo de enormes volúmenes de información, permitiendo entonces que los usuarios se concentren en la generación de resultados y nuevos desarrollos científicos. Para lograr este objetivo, se creó una infraestructura con tres elementos claves, que son los que permiten el funcionamiento de GEE: el catálogo de información, la capacidad computacional y las API. GEE recopiló la información geoespacial de diferentes fuentes alrededor del mundo y creó copias de esos datos en su propio data center, logrando así almacenar más de 20 petabytes (20 000 000 de gigabytes) de información en un solo lugar. De manera paralela al catálogo de información, GEE puso a disposición de la gente un conjunto de servidores para poder realizar rápida y eficazmente cálculos y computaciones sobre esos datos. En 2010, estos servidores tenían una capacidad más o menos equivalente a 10 000 computadores personales. El tercer componente clave para el funcionamiento de GEE son las API. Una API es una interfaz que permite la comunicación entre nosotros (los usuarios) y los servidores de Google, proporcionando el acceso y el uso de la capacidad computacional de Google para nuestros análisis. GEE ofrece dos API, una en Python y la otra en JavaScript. (Solórzano & Perilla, 2022, pp. 5-7)

2.2.13. La API de JavaScript del Google Earth Engine

Se accede vía internet mediante un explorador y es la más conocida, actualizada y amigable con los usuarios. Además, es la que contiene más documentación y ayuda disponible. Los datos pueden ser consultados directamente en la nube (no se requiere descargarlos para trabajar con ellos), lo que ahorra tiempo y espacio de almacenamiento para el usuario. Se pueden realizar fácilmente consultas de las colecciones de imágenes y

sus metadatos antes de decidir importarlos. Otra gran ventaja de la plataforma JavaScript radica en que los códigos se guardan en la sesión de cada usuario. Esto permite mantener un control de los códigos y automáticamente se genera un registro histórico (parecido al control de versiones de Git), lo cual facilita el seguimiento y comparación de cambios entre las versiones (y permite regresar a versiones anteriores). Además, se pueden generar repositorios compartidos para generar proyectos colaborativos. (Solórzano & Perilla, 2022, p. 8)

2.2.14. El monitoreo y el muestreo

El monitoreo de la calidad del agua es la recolección actual de la información en un grupo de sitios y a intervalos regulares con el fin de proveer datos que puedan ser utilizados para definir condiciones recientes y tendencias establecidas, entre otras. (Chapman, 1996, p. 23)

2.2.15. Lagos

Los lagos son masas de agua depositadas en las depresiones de los continentes e islas se alimentan por las aguas de escorrentía superficial (ríos, precipitaciones, deshielos) y subterránea (manantiales) pueden variar considerablemente en extensión y profundidad se denominan lagos a los de gran extensión y lagunas a los de pequeña extensión.

(Aragoneses & Sarzosa, 2020, p. 33)

2.2.16. Contaminación del agua

En la laguna San Nicolás se puede constatar que alrededor de ella hay varios restaurantes y viviendas, además existen terrenos de cultivo que usan fertilizantes nocivos para el agua.

Uno de estos procesos es la eutrofización, entendido como el aumento exacerbado de nutrientes en el cuerpo de agua, en gran medida como consecuencia de su arrastre desde

suelos artificialmente fertilizados dentro de la cuenca en que este se asienta. Esto ocasiona un explosivo crecimiento algal (eutrofia) y una mayor productividad en el ecosistema acuático, que lleva a una mayor acumulación de materia orgánica en la pirámide trófica, cuya posterior degradación consume el oxígeno disuelto en el agua, produciendo la anoxia del cuerpo de agua. Esta materia orgánica muerta a su vez, puede decantar y colmatar su lecho, o bien flotar o disolverse en la columna de agua, incrementando su turbidez y dificultando el paso de la luz, todo lo cual contribuye a degradar la homeostasis del cuerpo de agua. (Dominguez et al., 2012, p. 90)

2.2.17. Limnología mediante teledetección

La teledetección remota de las propiedades de una masa de agua se basa en la interacción de la radiación electromagnética con las moléculas de esta masa de agua, ya sean de agua misma, o de la materia diluida o suspendida en ella. Esta interacción, a su vez, depende de la energía de los fotones que componen la radiación electromagnética o, dicho de otro modo, de su longitud de onda, λ . Un fotón que interactúa con una molécula puede ser absorbido, dispersado o transmitido por ésta. Si el fotón es absorbido, la energía de la molécula se ve incrementada debido a la interacción con el fotón. Si el fotón es de baja energía, en el rango del infrarrojo lejano y microondas ($\lambda > 20 \mu\text{m}$), solo proporciona energía para transiciones entre niveles de rotación. Si el fotón tiene una energía correspondiente al infrarrojo entre $1 \mu\text{m}$ y $20 \mu\text{m}$, la energía que transmite causa transiciones entre los niveles de vibración. En el rango visible, el fotón aporta la energía suficiente para que los electrones de la molécula de agua realicen transiciones electrónicas. (Dominguez et al., 2012, p. 23)

2.2.18. Correlación entre variables:

La correlación hace referencia al grado de relación entre dos variables. El problema que se nos plantea es el de encontrar una medida que nos indique el grado de intensidad de la relación entre variables. En otras palabras, pretendemos hallar un valor que nos dé una medida del grado de ajuste de la curva a la nube de puntos. Una manera de obtener esa medida es calculando la varianza de los residuos o varianza residual. Una manera de obtener esa medida es calculando la varianza de los residuos o varianza residual: $S_{ry}^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^q (y_j - y_j^\circ)^2 n_j$. En efecto, cuantos mayores sean las diferencias entre los valores observados y los valores teóricos de la variable dependiente, menor será la intensidad de la relación entre variables. Se dará una dependencia funcional cuando todos los puntos de la nube caigan sobre la gráfica de la función ajustada, en cuyo caso la varianza residual será nula. (Vargas, 1995, p. 192)

2.3. Definición de Términos Básicos

Imagen Satelital. Una imagen satelital es el producto obtenido por un sensor instalado en un satélite artificial que capta la radiación electromagnética emitida o reflejada por un cuerpo. La información obtenida se procesa en una estación terrestre y se transforma en imágenes de formato digital. Esta representación visual de la zona está dada por las cantidades de energía reflejada o emitida por la superficie, y que forman una malla de celdas (píxeles). No todas las imágenes de satélites son de libre acceso al público. (Hernández Huerta et al., 2023, p 41)

Está confeccionada por matrices, en las que cada celda representa un píxel, las dimensiones de este píxel dependerá de la Resolución espacial del sensor. Los sensores

registran la radiación electromagnética que proviene de las distintas coberturas y las almacena en cada píxel, de acuerdo a los intervalos de longitudes de onda, en las que este programado el sensor para captar. (Bravo Morales, 2023, p 21)

Turbidez (Turbio). Determina la profundidad de penetración de la luz y con ello, el espesor de la zona fótica. Aunque hay especies de peces que se adaptan fácilmente a la turbidez del agua, hay otras que no. La turbidez está relacionada directamente con los sólidos suspendidos y puede ser de naturaleza orgánica. En general, en un cuerpo de agua en movimiento la turbidez siempre será mayor que la observada. (Cárdenas, 2022, p. 360)

pH: El pH de las aguas naturales tiende a estar cercano a la neutralidad al igual que el de las aguas residuales domésticas, algunos vertimientos industriales pueden tener valores extremos de pH. De cualquier modo, actualmente la neutralización de las aguas residuales industriales es un procedimiento simple, relativamente económico y de obligatorio cumplimiento. Por otro lado, el pH natural del agua de lluvia suele ser cercano a 5 sin que ello signifique una pérdida de su calidad. En general, el parámetro pH en el agua no es el mejor indicador de afectación antrópica o de calidad del agua considérese por ejemplo que los seres humanos consumen en su alimentación diaria numerosas bebidas naturales y artificiales cuyo pH es inferior a 3 sin que ello represente ningún riesgo para la salud. (Cárdenas, 2022, p. 355)

Temperatura: Varía en función de la profundidad de sus aguas. Los océanos poseen una primera capa de agua cuya profundidad es de 10 a 500 metros y cuya temperatura varía de 10 °C a 30 °C. A partir de los 500 metros, la temperatura es más fría, pudiendo llegar a temperaturas por debajo de los 0 °C. (Aragoneses et al., 2020, p. 26)

Oxígeno Disuelto (OD): Es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y que es

esencial para la vida en los cuerpos de agua (ríos, lagunas, embalses). El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de contaminación del agua y está relacionado con la capacidad del cuerpo de agua de ser soporte para la biota. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad, a pesar de que niveles altos de oxígeno están asociados a fenómenos de eutrofización donde la presencia de algas genera niveles de oxígeno por encima de los valores de saturación. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos la vida de numerosos organismos acuáticos se ve comprometida. Los niveles de oxígeno disuelto pueden variar de 0 – 18 miligramos por litro, el contenido está en función a la temperatura del agua, la presión atmosférica y el contenido de sales disueltas. (López, 2016, p. 72)

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

La laguna San Nicolás está dentro de la cuenca del río Cajamarquino, la cual se forma por el río Chonta y el río Mashcón, que se unen al río Condebamba, provincia de Cajabamba. Se localiza en el caserío San Nicolás, distrito de Namora y Jesús, provincia y departamento de Cajamarca.

Geográficamente se ubica entre las coordenadas UTM 794138 m Este y 9199288 m Norte; 792346 m Este y 9199627 m Norte; 793259 m Este y 9199607 m Norte; 793463m Este, 9199011 m Norte, comprendida en la Zona 17M, Dátum WGS - 84.

La distancia de la ciudad de Cajamarca hacia la zona de estudio es de 30 km. aproximadamente a una hora en vehículo, con una vía asfaltada hasta el distrito de Namora y de allí una trocha carrozable de 7 km. sin asfaltar, también existe otro acceso antes de llegar a Namora, en el caserío Llimbe, pasando por el caserío de Palturo, distrito de Jesús, por este tramo el tiempo de llegada es de aproximadamente 50 minutos.

Tabla 1

Rutas de acceso desde la ciudad de Cajamarca a la laguna San Nicolás.

Ruta	Tipo de vía	Tiempo
Cajamarca-Namora-Laguna san Nicolás	Asfaltada 23 km y trocha carrozable 7 km aproximadamente.	1 hora
Cajamarca-Llimbe-Palturo-Laguna San Nicolás	Asfaltada 16 km y trocha carrozable 6 km aproximadamente.	50 minutos

Figura 3

Mapa de ubicación departamental de la laguna San Nicolás.

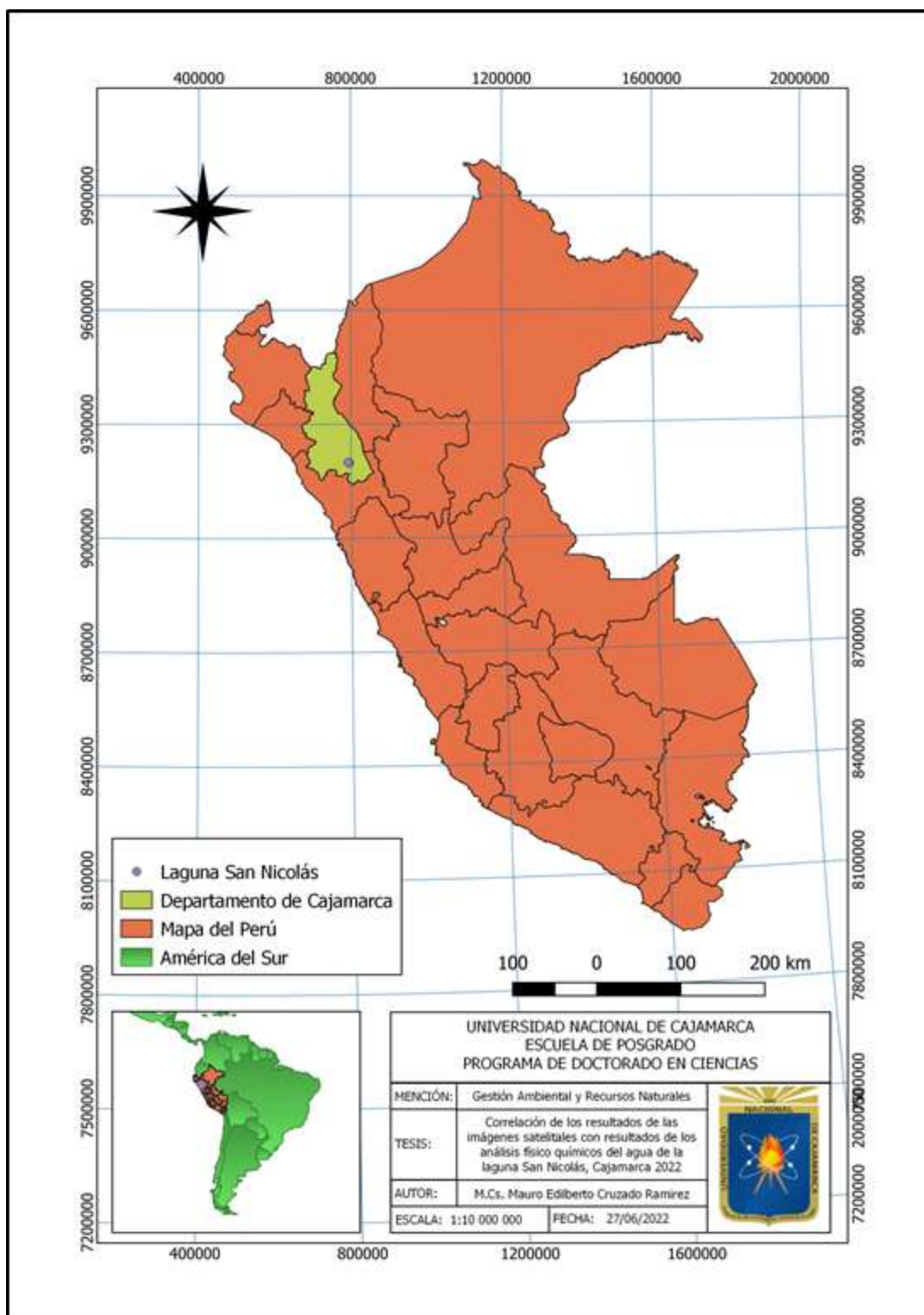


Figura 4

Mapa de ubicación provincial de la laguna San Nicolás.

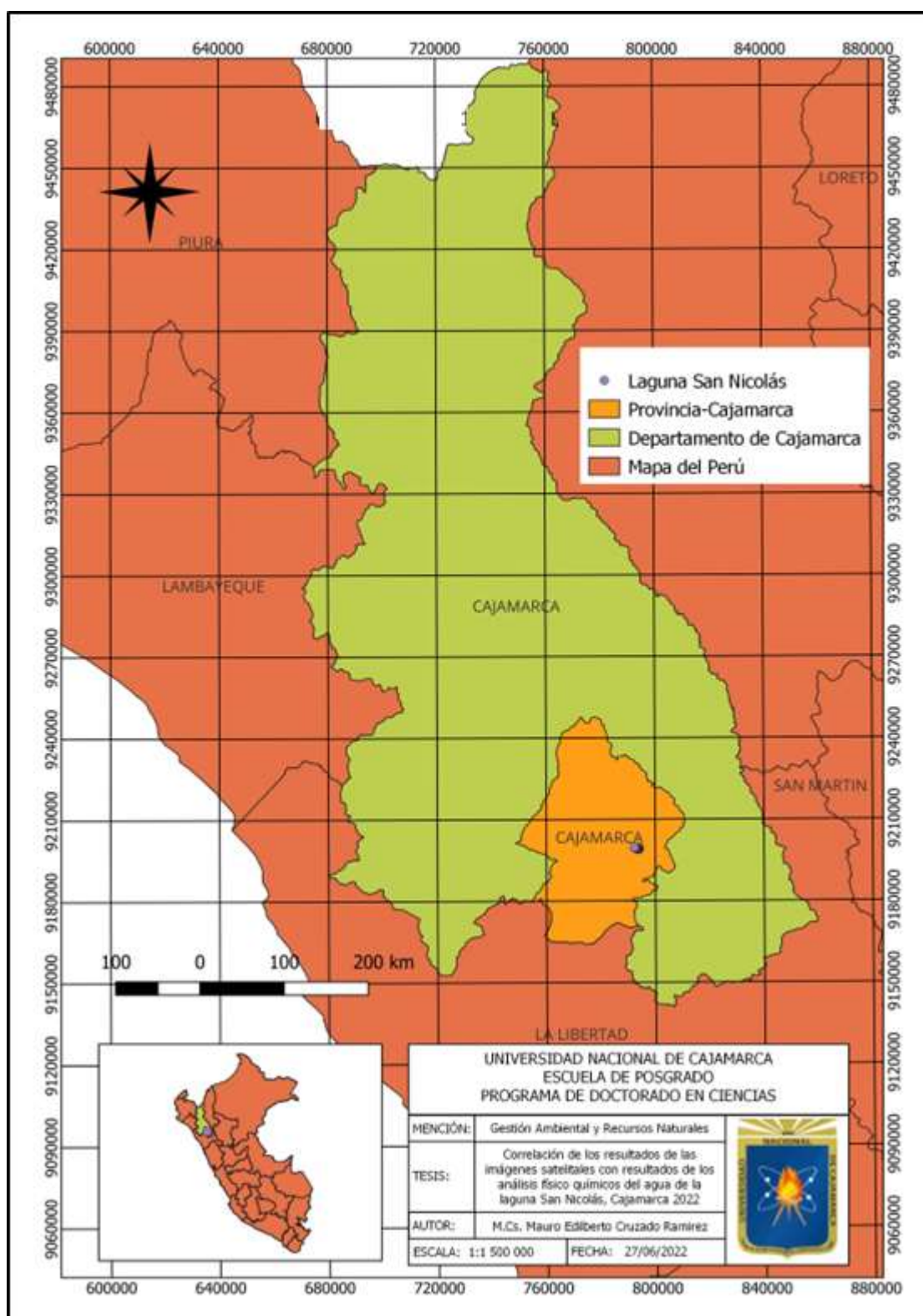
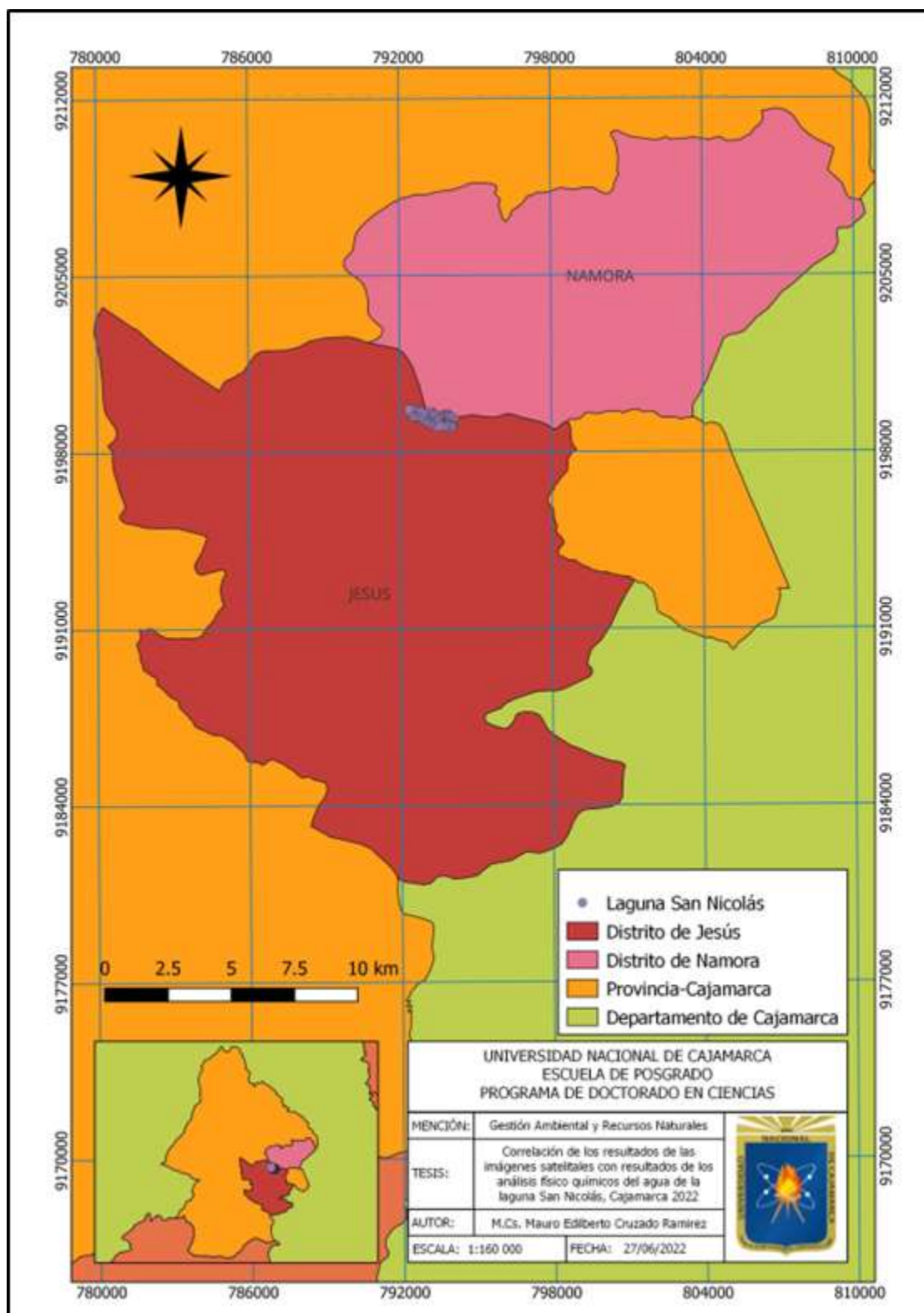


Figura 5

Mapa de ubicación distrital de la laguna San Nicolás.



En la investigación se han tomado dos puntos de muestreo uno al centro y el otro en la orilla de la laguna San Nicolás, cuyas coordenadas UTM, lo podemos visualizar en la siguiente tabla:

Tabla 2

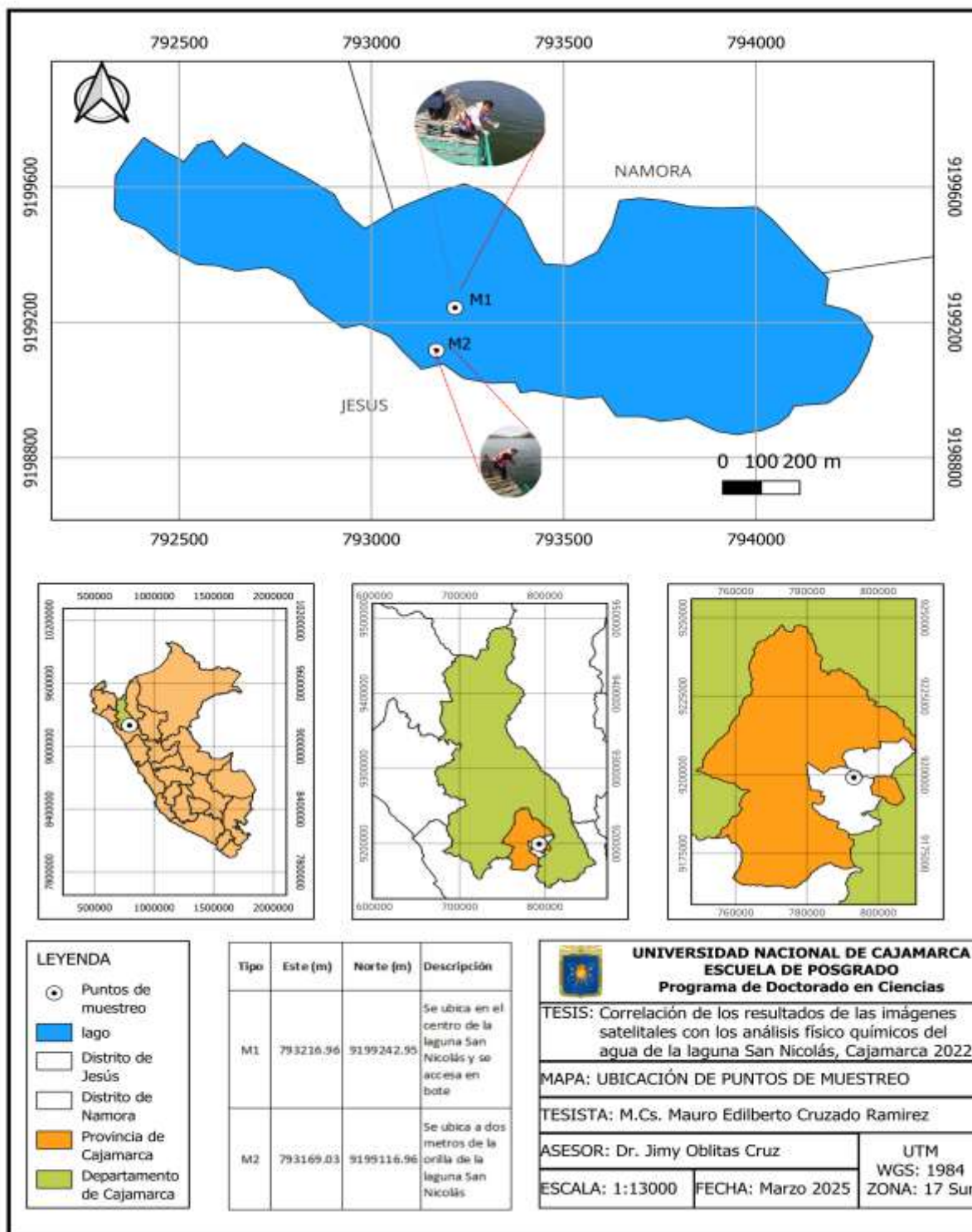
Coordenadas UTM y Geográficas, de los puntos de muestreo de la laguna San Nicolás

Nombre	Coordenadas UTM		Coordenadas Geográficas	
	Este	Norte	Longitud	Latitud
M1	793216.96 m	9199242.95 m	-78.3448°	-7.2365°
M2	793169.03 m	9199116.96 m	-78.3452°	-7.2377°

Nota. En la tabla se muestran las coordenadas de los puntos de muestro en UTM y su equivalencia en coordenadas geográficas, debido a que el lenguaje de programación JavaScript solo trabaja con este último tipo de coordenadas.

Figura 6

Puntos de muestreo en la Laguna San Nicolás.



3.2. Materiales y Equipos

3.2.1. *Materiales*

- Software: QGIS versión 3.20.2.
- Google Earth Engine
- Lenguaje de programación JavaScript.
- Microsoft Office (Word, Excel, Power Point).
- Imágenes satelitales Landsat 8.
- Mapas hidrográficos de la zona de estudio.
- Información de los límites regional, provincial y distrital del Instituto Nacional Geográfico del Perú, año 2022.
- Archivos vectoriales, disponibles en forma gratuita en el Geoservidor del MINAM (Ministerio del Ambiente).
- Frascos de 250 ml.
- Guantes quirúrgicos
- Fichas de recojo de datos en campo

3.2.2. *Equipos*

- GPS navegador marca Garmin.
- Celular Huawei con cámara fotográfica
- Multiparámetro HANNA, código HI9829

3.3. Metodología de la Investigación

3.3.1. *Tipo de Investigación*

La investigación es de tipo **descriptivo** ya que describe de manera detallada el proceso para analizar las imágenes satelitales y comparar los resultados con los obtenidos de campo en relación a algunos parámetros de calidad del agua. También es de tipo **correlacional** ya que busca la relación lineal entre dos variables. Por otro lado, es **aplicada tecnológica** ya que busca nuevo conocimiento, en este caso algoritmos de computadora para analizar las imágenes satelitales

3.3.2. *Calificación de Error*

Definimos como error a la diferencia de los datos en laboratorio o tomadas en campo con los datos obtenidos de las imágenes satelitales en relación a los parámetros de pH, temperatura, turbidez y oxígeno disuelto.

3.3.3. *Delimitación y Variables Climatológicas de la Laguna San Nicolás*

a. Delimitación:

Limita por el Norte con los caseríos Palturo (distrito de Jesús), Tuyorco y Alto Chilacat (distrito de Namora); al Oeste con el cerro Moyorco, Miche y Palturo (distrito de Jesús); al Este con el caserío Samaday (distrito de Namora); por el Sureste con los caseríos de Lloque y la Hualanga (distrito de Jesús) y Suroeste con los cerros Loritopuquio y el Calvario. (Cotrina, 2019, p. 71)

b. Parámetros geomorfológicos:

A continuación, detallamos los principales parámetros geomorfológicos de la laguna San Nicolás:

Tabla 3*Principales parámetros geomorfológicos*

Parámetro geomorfológico	Valor	Unidades
Área	58.5	Hectáreas
Perímetro	5120.76	Metros
Profundidad	12	Metros
Volumen de agua	6'958 800	Metros cúbicos
Altitud	2950	msnm

Nota. (Barboza, 2017)

c. Clima

La laguna San Nicolás se encuentra en zona de sierra y el clima presenta las siguientes características:

El clima templado moderado lluvioso y seco es el predominante, es propio de los valles interandinos bajos e intermedios de la sierra peruana; la precipitación es casi igual a la evapotranspiración potencial (500 a 750 mm anuales), razón por la cual los requerimientos de agua para riego son reducidos; la humedad relativa es media a media alta (30 a 50%); la temperatura media del mes más frío es menor de 18 °C y superior a -3 °C y la del mes más cálido es superior a 10 °C. La radiación solar en esta parte del Perú es alta, por esta razón se recomienda llevar sombrero y protector solar. (Barboza, 2017, p. 24)

El histórico de cinco años recogido de la estación meteorológica Namora, arroja los siguientes resultados. La temperatura máxima promedio anual es de 21.18 °C, La temperatura

mínima promedio anual 8.94 °C, La humedad relativa anual es de 44.182% y la precipitación anual es de 747.56 mm.

Tabla 4

Condiciones climatológicas de la zona de estudio

Años	Temperatura máxima °C, promedio anual	Temperatura mínima °C, promedio anual	Humedad relativa (%), promedio anual	Precipitación anual (mm)
2017	22.32	8.40	34.45	750.70
2018	18.98	10.92	45.45	745.48
2019	21.04	7.13	44.09	758.30
2020	21.92	9.62	52.65	787.40
2021	21.64	8.50	44.27	694.60
Promedio	21.18	8.914	44.182	747.56

Nota. SENAMHI/DRD (Estación meteorológica Namora, Código 107037)

d. Características socioeconómicas

La laguna San Nicolás actualmente es un lugar turístico muy concurrido considerado por los organismos públicos de este sector como Turismo Rural Comunitario (TRC). El desarrollo del TRC en la Laguna de San Nicolás, se viene trabajando desde el año 2015, debido a la iniciativa de la Dirección de Comercio Exterior y Turismo (DIRCETUR), quienes ofrecían capacitaciones y charlas en temas relacionados al turismo y al TRC, como, por ejemplo: el TRC en Perú, algunos ejemplos de emprendimientos en el Perú, charlas de primeros auxilios, medidas de seguridad y salvataje, atención al cliente, manipulación de

alimentos, entre otros temas. Estas charlas se les brindo a los 3 primeros emprendimientos con los que se empezó a trabajar en la zona, los cuales fueron: Sumaq Wasi (Hotel), El Aventurero (Restaurante- paseo en botes) y El Mirador de San Nicolás (Hotel). Lo que se buscaba llegar con este desarrollo turístico es lograr una propuesta de turismo sostenible en la zona, concientizando a la población de la importancia de desarrollar este tipo de turismo, así como, los posibles impactos que podrían surgir a raíz de la actividad. Pero, al parecer, los pequeños emprendedores, se centraron más en el tema económico que involucra esta actividad turística, por lo que han perdido un poco la orientación ambientalista que tiene también esta propuesta. Si los impactos negativos, no encuentran un punto final, podría ocasionar con el tiempo, la desaparición de la laguna de San Nicolás y, por ende, la desaparición de la actividad turísticas en la zona. De lo contrario, si se llega a hacer algo al respecto, estaremos frente a un ejemplo de Turismo Rural Comunitario, sostenible y bien planificado; que va a mejorar las condiciones de vida, no solo de la comunidad involucrada, sino también de todo el caserío, pues traerá más trabajo e ingresos a las familias, así como, el mejoramiento de los servicios, ya sea en el sector educación o salud; incluyendo también los servicios básicos, que esta población está careciendo. (Cotrina, 2019, pp. 15-17)

3.3.4. Metodología

Primera etapa: Recolección de datos

Se usó diferentes técnicas como el recojo de muestras de campo en dos puntos de la laguna y la obtención de las imágenes satelitales Landsat 8 de la página web del USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos), para finalmente realizar el trabajo de gabinete.

a. Trabajo de campo

Haciendo uso del GPS navegador, se tomarán los puntos topográficos de las muestras al centro y en la orilla de la laguna y se anotarán en la libreta de campo.

Las muestras de agua se tomaron en la fecha que pasa el satélite Landsat por el lugar de estudio, en dos épocas del año que por problemas ambientales ha variado, en consecuencia, la época lluviosa (diciembre – junio) y época seca (julio – noviembre), cabe resaltar que, las muestras de agua son tomadas siguiendo el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad del agua y lo encontramos en la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA.

Tabla 5

Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de agua.

N°	ÍTEM
1)	El personal responsable deberá colocarse las botas de jebe y los guantes descartables antes del inicio de la toma de muestra de agua.
2)	Ubicarse en un punto donde exista fácil acceso donde la corriente sea homogénea y poco turbulenta.
3)	Antes del inicio de la toma de muestra enjuagar el balde con agua del punto de muestreo como mínimo 2 veces luego tomar una muestra de agua para medir los parámetros de campo y registrar las mediciones en la ficha de registro de datos de campo.
4)	Para la toma de muestras colocar un frasco en el brazo muestreador, asegurarlo y retirar la tapa y contratapa sin tocar la superficie interna del frasco.

-
- 5) Extender el brazo mostrador y sumergir la botella en sentido contrario a la corriente, hasta que esté parcialmente llena y proceder a su enjuague (mínimo dos veces), a excepción de los frascos para el análisis de los parámetros orgánicos o microbiológicos.
 - 6) Sumergir el recipiente a una profundidad aproximada de 20 a 30 cm. desde la superficie en dirección opuesta al flujo del río.
 - 7) Para los parámetros orgánicos (aceites y grasas, hidrocarburos de petróleo, etc.) la toma de muestras se realiza en la superficie del río.
 - 8) Considerar un espacio de alrededor de 1% aproximadamente de la capacidad del envase para aquellos parámetros que requieran preservación.
 - 9) Para muestras microbiológicas dejar un espacio del 10% del volumen del recipiente para asegurar un adecuado suministro de oxígeno para las bacterias.
 - 10) Para el parámetro demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) el frasco debe llenarse lentamente en su totalidad para evitar la formación de burbujas.
 - 11) Evitar coleccionar suciedad, películas de la superficie o sedimentos del fondo.
-

Nota. Autoridad Nacional del Agua (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA)

Para el registro de los datos, etiquetado de datos y ficha de identificación vamos a utilizar el formato recomendado por el ANA se encuentra en la resolución antes descrita.

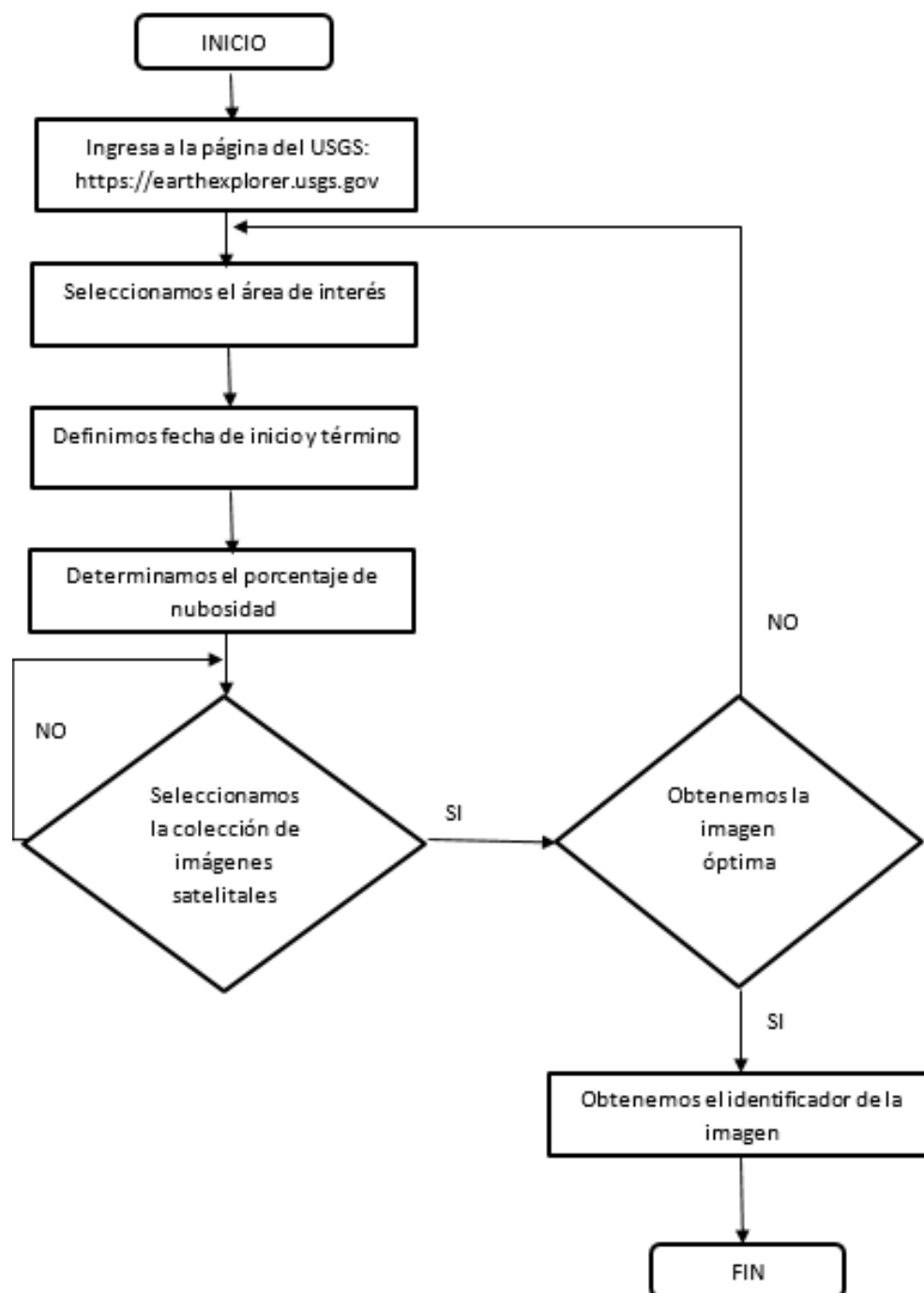
Finalmente, las muestras son llevadas a laboratorio para el análisis respectivo.

b. Trabajo de gabinete

La adquisición de imágenes Landsat 8 se realizó desde la página del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Figura 7

Diagrama de flujo del procedimiento para la obtención de las imágenes satelitales.



Segunda etapa: Procesamiento y análisis de los datos

Las muestras de agua son llevadas y procesadas en laboratorio para el análisis de los parámetros respectivos de turbidez, temperatura, oxígeno disuelto y pH.

Para el análisis de las imágenes satelitales usamos el programa Google Earth Engine, el cual proporciona imágenes con corrección atmosférica, sin nubosidad y ortorectificadas por lo que se ha eliminado la distorsión que puede tener debido a las variaciones espaciales en el momento de captura de la información relacionadas al movimiento del sensor como variaciones de altura, velocidad, aleteo, cabeceo, etc., y ajustarlo a un sistema geodésico apropiado que en nuestro caso es el WGS84, zona 17M, por lo que con el avance de la tecnología el GEE realiza todo el proceso antes descrito y proporciona imágenes listas para ser analizadas.

Luego con el mismo programa Google Earth Engine se elabora un código en JavaScript, para hacer el análisis de los parámetros usando los siguientes modelos matemáticos.

Tabla 6

Parámetros y sus modelos matemáticos

Parámetros	Modelo matemático	Coefficiente de regresión
Oxígeno disuelto	$7.11538 - 31.81938 \times \text{banda 4}$	$p < 0.05$
pH	$8.24578 + 57.24926 \times \text{banda 5}$	$p < 0.05$

Nota. Chuquiama(2021), en nuestro análisis usamos el modelo matemático del oxígeno disuelto, ya que es el que más se ajusta a nuestros datos.

Tabla 7*Otros parámetros y sus modelos matemáticos*

Parámetros	Modelo matemático	r^2
Turbidez	$0.9595 - 1.25337 \times \log(\text{banda } 1)$	0.916
Temperatura	$13.6162 - 1.1781 \times \log(\text{banda } 7)$	0.765
Oxígeno disuelto	$8.64 - 7.06 \times \text{banda } 2$	0.808
pH	$8.36 + 2.64 \times \text{banda } 2 - 3.96 \times \text{banda } 3 - 1.47 \times \text{banda } 4$	0.868

Nota. (Perdomo, 2015), Los modelos matemáticos que utilizamos en nuestro análisis satelital fueron los de pH y Turbidez, para el análisis de la Temperatura usamos la banda ST_B10 y no un modelo matemático.

Figura 8

Diagrama de flujo para el análisis de temperatura del agua en una imagen satelital

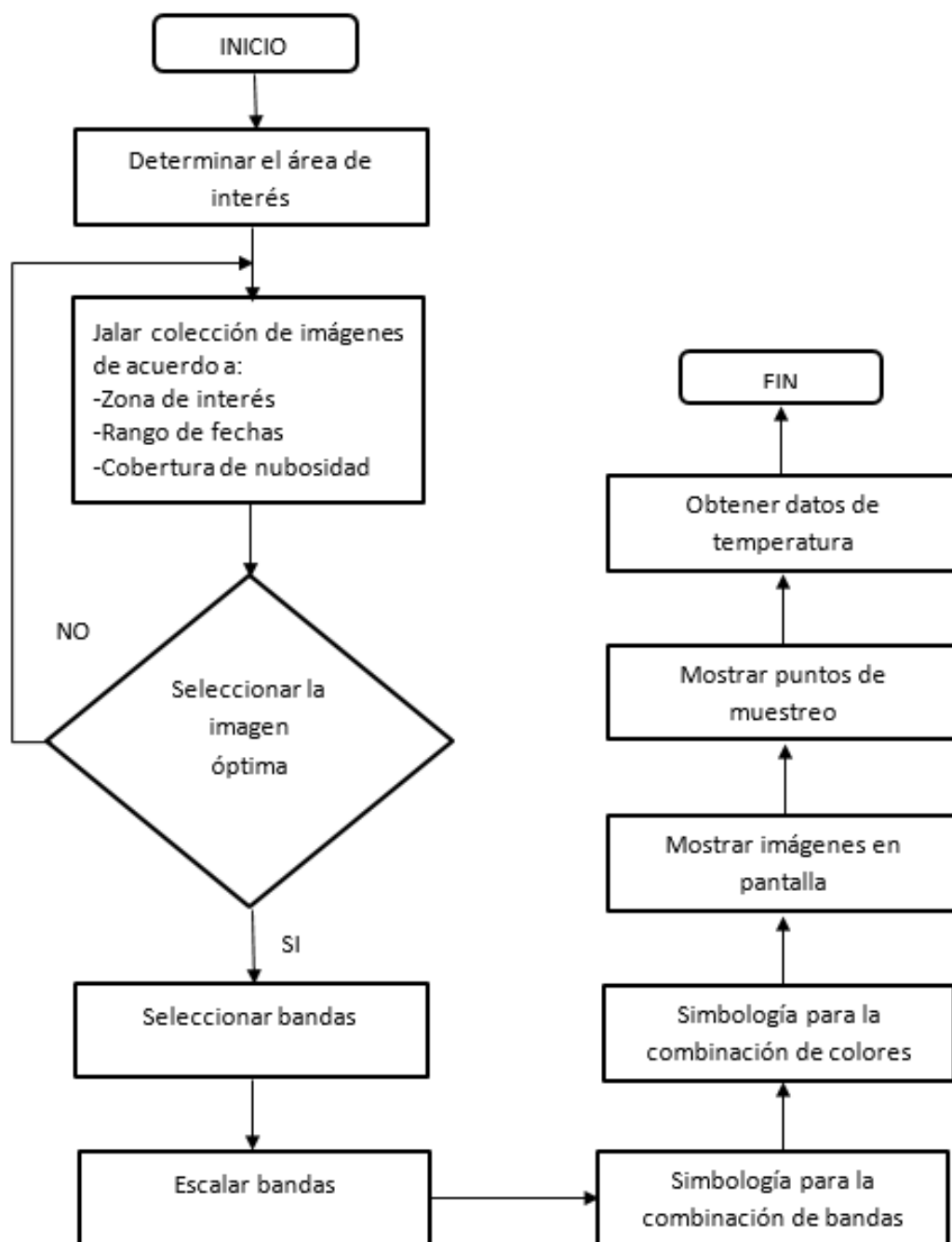
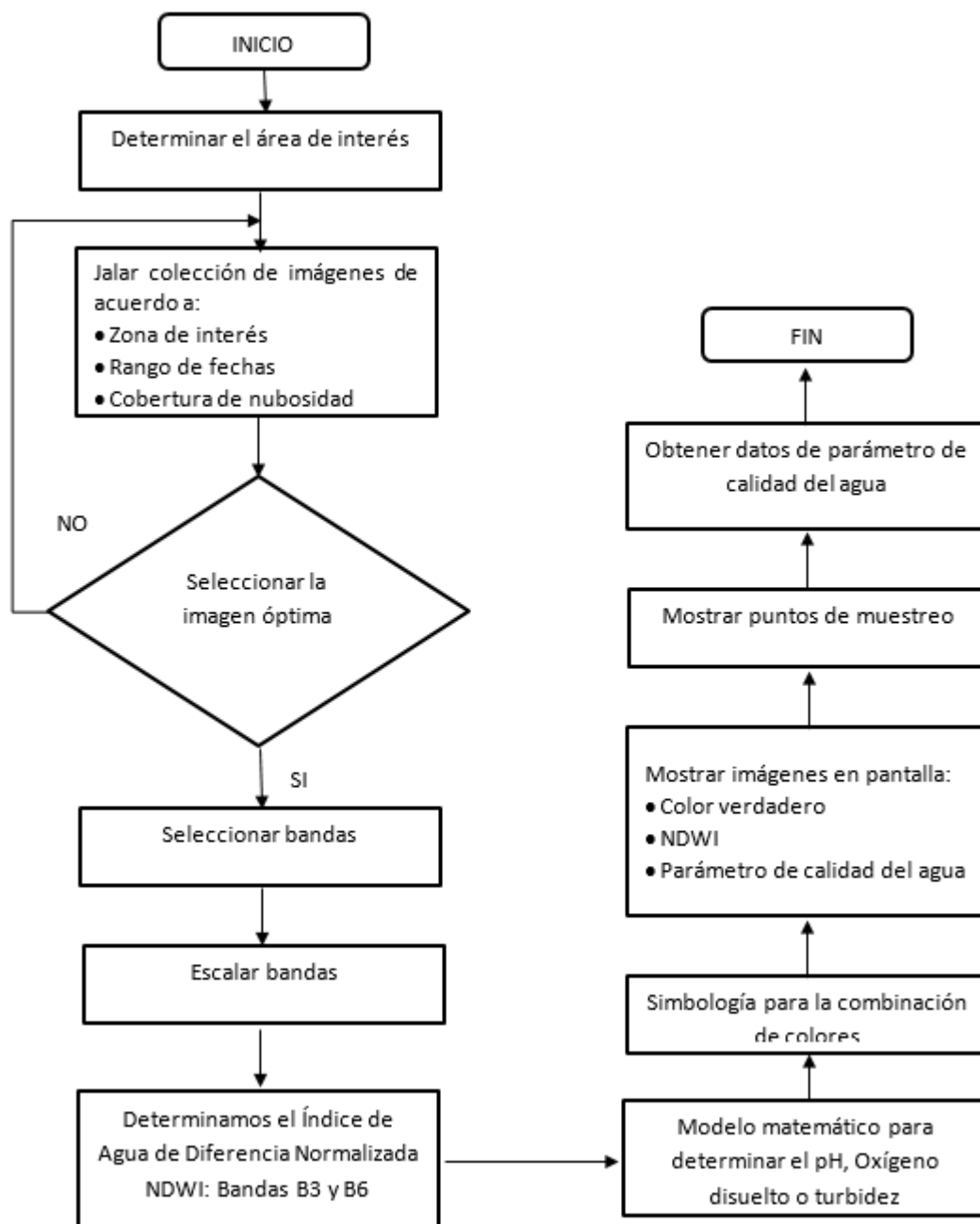


Figura 9

Diagrama de flujo para encontrar los parámetros de calidad del agua de pH, Turbidez y Oxígeno disuelto en una imagen satelital Landsat 8.



CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Obtención del Plano Topográfico de la Zona de Estudio

Para el levantamiento topográfico de la laguna San Nicolás, se usó el programa Google Earth Pro, AutoCAD y QGIS, obteniendo un área de 584 874.5 m² (0.5848745 km²) cuyo tamaño es bajo comparado con el área del lago Titicaca de 8370 km² (Xu et al., 2021), por otro lado, se halló el perímetro de la laguna San Nicolás de 5120.76 m, el cual puede variar de acuerdo a la época lluviosa o seca.

Realizamos un levantamiento topográfico del espejo de agua, obteniendo 76 puntos alrededor de ella, como sigue:

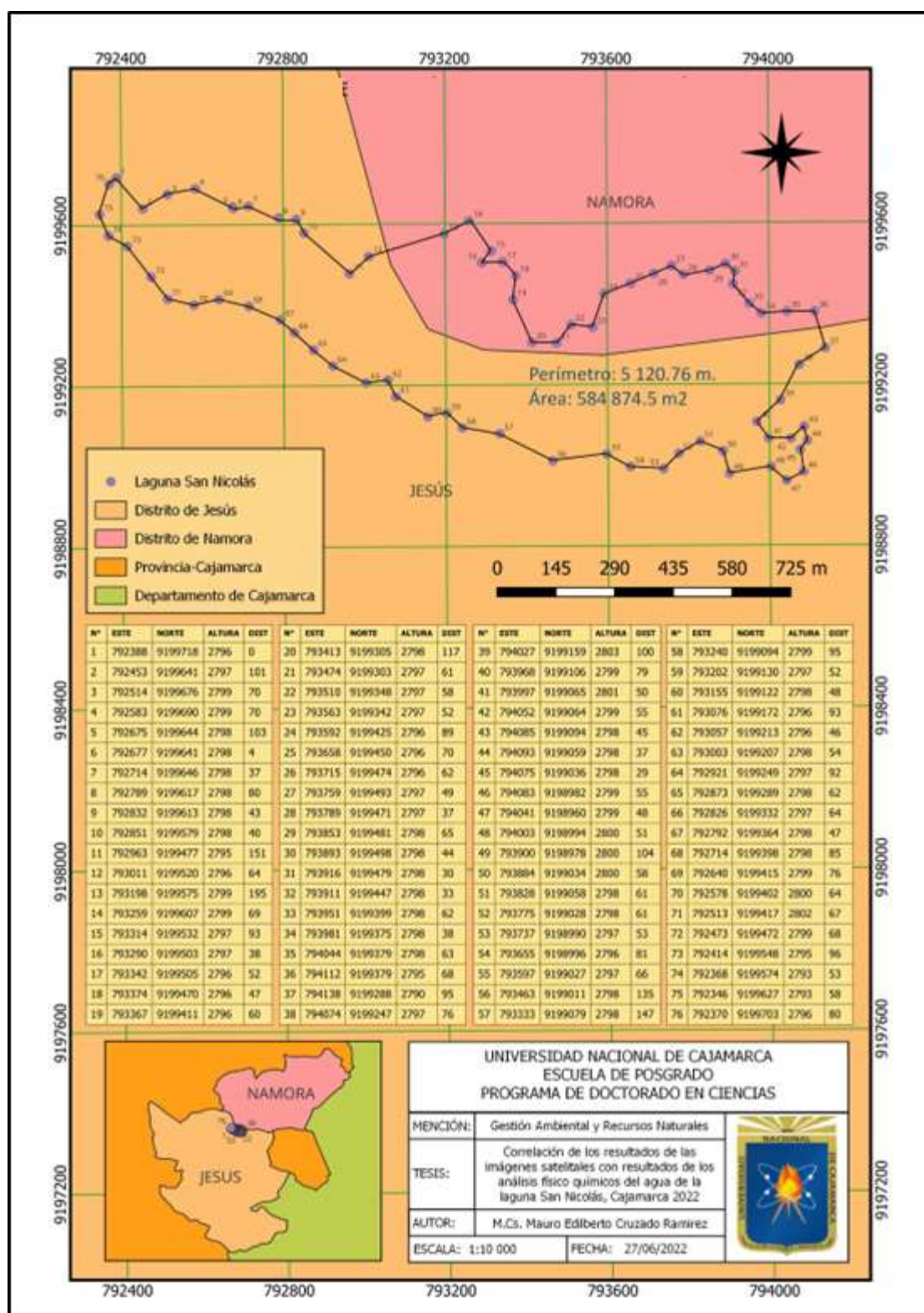
Tabla 8

Coordenadas UTM del perímetro de la laguna San Nicolás

N°	Este	Norte	Cota	N°	Este	Norte	Cota	N°	Este	Norte	Cota	N°	Este	Norte	Cota
1	792388	9199718	2796	20	793413	9199305	2798	39	794027	9199159	2803	58	793240	9199094	2799
2	792453	9199641	2797	21	793474	9199303	2797	40	793968	9199106	2799	59	793202	9199130	2797
3	792514	9199676	2799	22	793510	9199348	2797	41	793997	9199065	2801	60	793155	9199122	2798
4	792583	9199690	2799	23	793563	9199342	2797	42	794052	9199064	2799	61	793076	9199172	2796
5	792675	9199644	2798	24	793592	9199425	2796	43	794085	9199094	2798	62	793057	9199213	2796
6	792677	9199641	2798	25	793658	9199450	2796	44	794093	9199059	2798	63	793003	9199207	2798
7	792714	9199646	2798	26	793715	9199474	2796	45	794075	9199036	2798	64	792921	9199249	2797
8	792789	9199617	2798	27	793759	9199493	2797	46	794083	9198982	2799	65	792873	9199289	2798
9	792832	9199613	2798	28	793789	9199471	2797	47	794041	9198960	2799	66	792826	9199332	2797
10	792851	9199579	2798	29	793853	9199481	2798	48	794003	9198994	2800	67	792792	9199364	2798
11	792963	9199477	2795	30	793893	9199498	2798	49	793900	9198978	2800	68	792714	9199398	2798
12	793011	9199520	2796	31	793916	9199479	2798	50	793884	9199034	2800	69	792640	9199415	2799
13	793198	9199575	2799	32	793911	9199447	2798	51	793828	9199058	2798	70	792578	9199402	2800
14	793259	9199607	2799	33	793951	9199399	2798	52	793775	9199028	2798	71	792513	9199417	2802
15	793314	9199532	2797	34	793981	9199375	2798	53	793737	9198990	2797	72	792473	9199472	2799
16	793290	9199503	2797	35	794044	9199379	2798	54	793655	9198996	2796	73	792414	9199548	2795
17	793342	9199505	2796	36	794112	9199379	2795	55	793597	9199027	2797	74	792368	9199574	2793
18	793374	9199470	2796	37	794138	9199288	2790	56	793463	9199011	2798	75	792346	9199627	2793
19	793367	9199411	2796	38	794074	9199247	2797	57	793333	9199079	2798	76	792370	9199703	2796

Figura 10

Plano perimétrico de la Laguna San Nicolás.



Se tomaron dos puntos de muestreo, uno al centro y otro en la orilla, debido a que dicha laguna se alimenta con agua subterránea, sin afluentes que puedan hacer variar los resultados.

Las imágenes satelitales Landsat 8 fueron revisadas de la plataforma del USGS y luego trabajadas directamente desde la página web del Google Earth Engine, en dos fechas diferentes teniendo en cuenta la época lluviosa y la época seca; en estas mismas fechas se obtuvo las muestras de campo para análisis de laboratorio.

4.2. Resultados de Laboratorio de las Muestras Tomadas en Campo

Tabla 9

Fecha de obtención de las imágenes satelitales y de las muestras en campo en los puntos de muestreo de la laguna San Nicolás

Época	Punto de muestreo	Fecha
Seca	M1	22/11/2022
	M2	22/11/2022
Lluviosa	M1	09/05/2023
	M2	09/05/2023

Cabe resaltar que en la actualidad debido al calentamiento global la época seca y lluviosa ha variado considerablemente ya que la época seca se manifiesta desde julio a noviembre y la época lluviosa de diciembre a junio.

Los parámetros de Temperatura y pH fueron tomados con un equipo multiparámetro HANNA, código HI9828, de forma superficial a 0.3 m.; los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 10

Resultado del análisis en campo de las muestras tomadas con equipo multiparámetro HANNA.

(Toma de muestra superficial 0.3 m)

Punto de muestreo	Fecha	Forma	Temperatura	pH
			°C	
M1	22/11/2022	Directa	19	7.98
	09/05/2023	Directa	18	8.75
M2	22/11/2022	Directa	19.31	8.36
	09/05/2023	Directa	18.77	8.54

La forma de obtener los datos fue directa es decir se introdujo el sensor del equipo directamente al agua hasta una profundidad de 0.3 m. (ver anexos N° 3, 4, 5 y 6). Cabe resaltar que debido a que la imagen satelital de fecha 22/11/2022, presentaba una nube muy densa encima de donde se tomó las muestras, se optó por hacer el análisis con la imagen de fecha 30/11/2022 por ser la más cercana.

Los resultados de las muestras tomadas superficialmente a 0.3 metros y llevadas al laboratorio regional del agua para el análisis de los parámetros, se especifican en la siguiente tabla:

Tabla 11

Resultado del análisis de laboratorio de los parámetros observados en la laguna San Nicolás

(Toma de muestra superficial 0.3 m)

Punto de muestreo	Fecha	Turbidez	Oxígeno disuelto
		NTU	mgO ₂ /L
M1	22/11/2022	2.8	5.5
	09/05/2023	2.48	4.4
M2	22/11/2022	2.43	5.5
	09/05/2023	2.41	4.7

Nota. Informes de ensayo N° IE1122720 e IE05230277 -Laboratorio Regional del Agua-Cajamarca. (ver anexos N° 1 y 2).

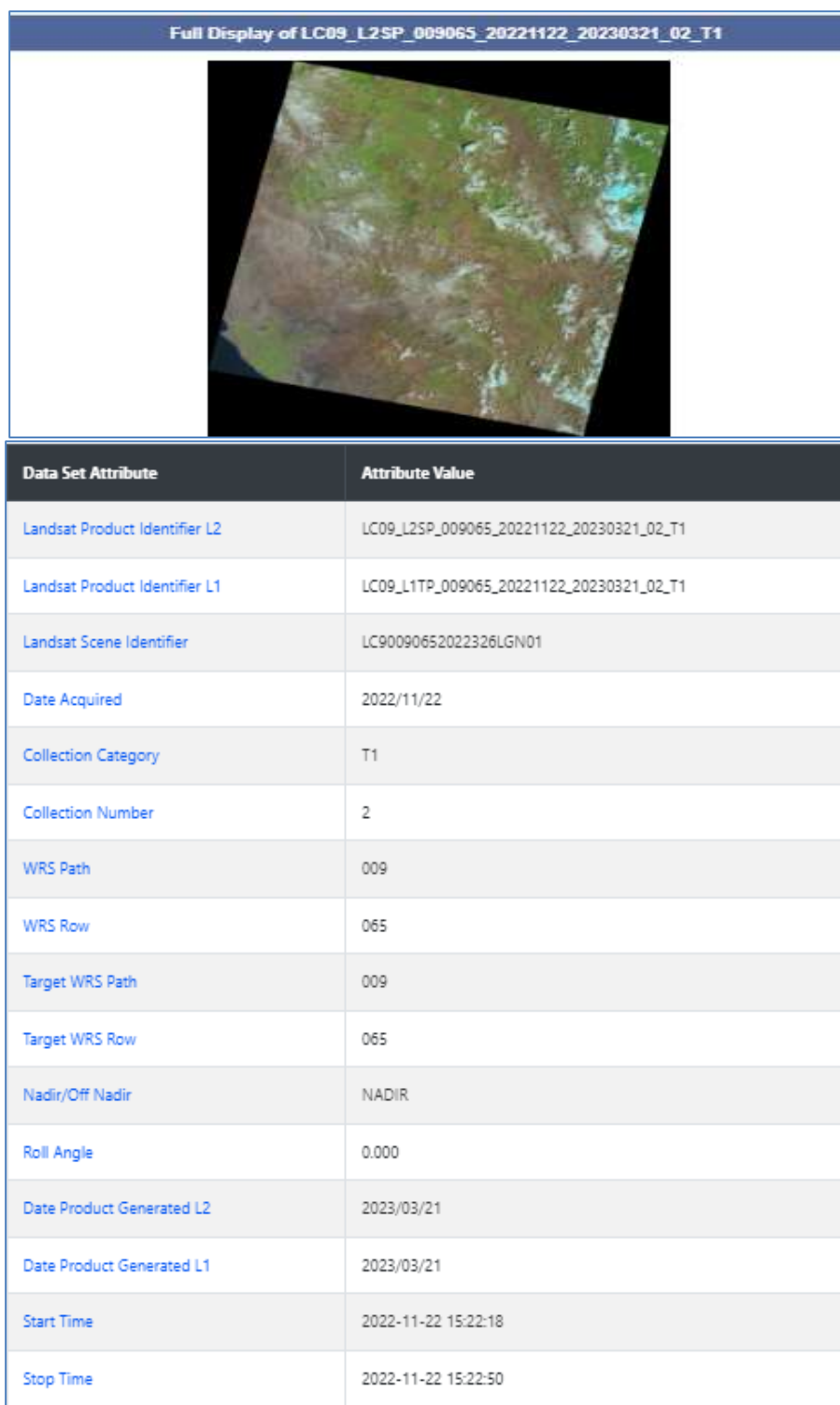
Para el recojo de muestras se ha tenido en cuenta el “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos”, aprobado por Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA. Las muestras han sido tomadas a 30 cm de profundidad y se han utilizado botellas de primer uso y frascos estériles apropiados para la toma de muestra, preservantes y un ice pack para mantener la temperatura.

4.3. Obtención de las Imágenes Satelitales

Para visualizar las características de las imágenes satelitales se usó la plataforma del USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos)

Figura 11

Características de la Imagen satelital Landsat 8 de la Laguna San Nicolás de fecha 22/11/2022.



Nota. Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)

Para el análisis satelital se usó el programa Google Earth Engine y las imágenes satelitales Landsat 8, dicha plataforma nos permite visualizar las características de las bandas de las imágenes satelitales.

Figura 12

Características de las bandas de una Imagen satelital Landsat 8

Nombre	Unidades	Mínimo	Máximo	Escala	Compensar	Longitud de onda	Descripción
SR_B1		1	65455	2.75e-05	-0.2	0,435-0,451 μm	Reflectancia de superficie de banda 1 (ultra azul, aerosol costero)
SR_B2		1	65455	2.75e-05	-0.2	0,452-0,512 μm	Reflectancia de superficie de banda 2 (azul)
SR_B3		1	65455	2.75e-05	-0.2	0,533-0,590 μm	Reflectancia de superficie de banda 3 (verde)
SR_B4		1	65455	2.75e-05	-0.2	0,636-0,673 μm	Reflectancia de superficie de banda 4 (rojo)
SR_B5		1	65455	2.75e-05	-0.2	0,851-0,879 μm	Reflectancia de superficie de banda 5 (infrarrojo cercano)
SR_B6		1	65455	2.75e-05	-0.2	1,566-1,651 μm	Reflectancia de superficie de banda 6 (infrarrojo de onda corta 1)
SR_B7		1	65455	2.75e-05	-0.2	2,107-2,294 μm	Reflectancia de superficie de banda 7 (infrarrojo de onda corta 2)
SR_QA_AEROSOL							Atributos del aerosol
+ Máscara de bits para SR_QA_AEROSOL							
ST_B10	K	0	65535	0,00341802	149	10,60-11,19 μm	Temperatura de la superficie de la banda 10. Si 'PROCESSING_LEVEL' está configurado en 'L2SR', esta banda queda completamente enmascarada.

Nota. Earth Engine Data Catalog

Las imágenes satelitales se multiplican por la escala y se suma la compensación, este procedimiento permite obtener imágenes con corrección atmosférica. Las imágenes Landsat 8 poseen una banda de temperatura ST_B10, la cual vamos a usar para nuestro proyecto.

Por otro lado, esta plataforma nos ofrece de forma genérica ejemplos del código JavaScript para jalar la colección de imágenes y filtrarlas por fecha, tal como se ve en la figura siguiente.

Figura 13

Ejemplo del código JavaScript que nos ofrece la página del GEE, para trabajar con una colección de imágenes

```

Editor de código (JavaS...

var dataset = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C02/T2_L2')
    .filterDate('2021-05-01', '2021-06-01');

// Applies scaling factors.
function applyScaleFactors(image) {
    var opticalBands = image.select('SR_B.').multiply(0.0000275).add(-0.2);
    var thermalBands = image.select('ST_B.*').multiply(0.00341802).add(149.0);
    return image.addBands(opticalBands, null, true)
        .addBands(thermalBands, null, true);
}

dataset = dataset.map(applyScaleFactors);

var visualization = {
    bands: ['SR_B4', 'SR_B3', 'SR_B2'],
    min: 0.0,
    max: 0.3,
};

Map.setCenter(-83, 24, 8);

Map.addLayer(dataset, visualization, 'True Color (432)');
```

Nota. Earth Engine Data Catalog

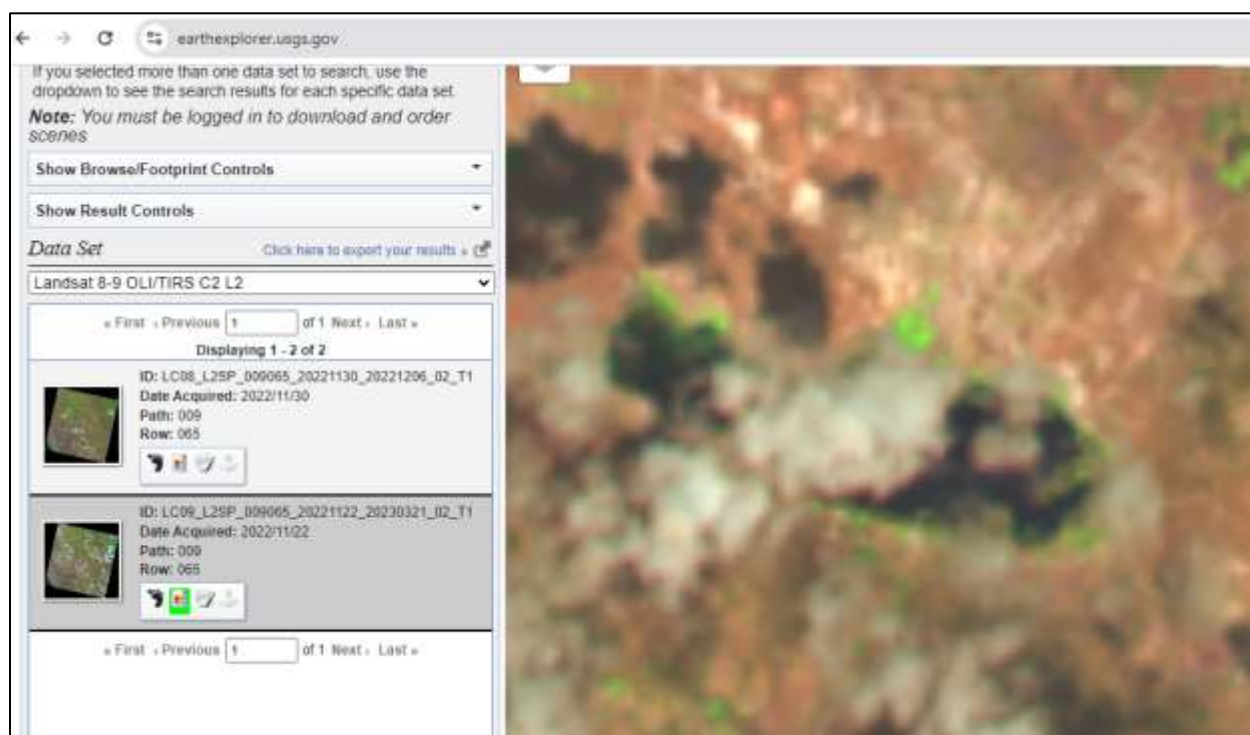
El Google Earth Engine también nos ofrece el Editor de Código, donde se crean los algoritmos en lenguaje de programación JavaScript. Cabe resaltar que cada parámetro de calidad del agua se rige de acuerdo a una fórmula matemática diferente que involucra a diferentes bandas de las imágenes satelitales a lo que se conoce como álgebra de bandas. En la estimación de los parámetros se utilizan algoritmos pre establecidos que varían dependiendo del tipo de imagen satelital a usar, especialmente en el uso de una determinada banda; por ejemplo, en Ermida et al.

(2020) se realizó un estudio de la temperatura de la superficie terrestre, haciendo uso de imágenes satelitales Landsat 4, 5, 7 y 8 haciendo uso de algoritmos en JavaScript en la plataforma del Google Earth Engine, obteniendo los mejores resultados con las imágenes Landsat 8.

En nuestra investigación hemos hecho uso de imágenes satelitales Landsat 8, pero una debilidad de este estudio es que las imágenes en las fechas tomadas muestran un alto porcentaje de nubosidad como lo podemos ver en las siguientes figuras:

Figura 14

Imagen satelital Landsat 8 de la Laguna San Nicolás de fecha 22/11/2022.



Nota. Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)

“Como puede observarse hay una nube muy densa que es imposible de eliminar por el corrector atmosférico y está en el centro de la laguna y se superpone con los puntos de muestreo, lo cual no permite hacer ningún tipo de análisis de la calidad del agua”.

Figura 15

Imagen satelital Landsat 8 de la Laguna San Nicolás de fecha 30/11/2022.

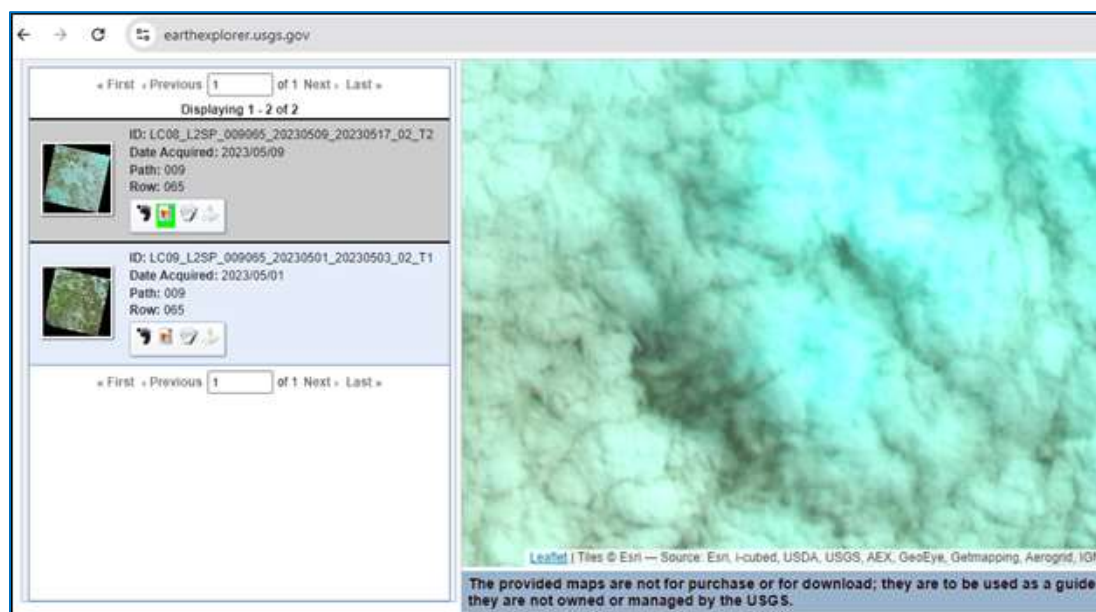


Nota. Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)

Como puede observarse la figura 15 no tiene ninguna nubosidad en la zona de estudio y es la más cercana a la fecha de estudio fue tomada por el sensor Landsat 8 a ocho días después, es decir fue la siguiente vez que pasó el satélite por la zona de estudio el 30/11/2022, lo cual la hace ideal para el análisis de los parámetros de la calidad del agua, en nuestro estudio hemos tomada esta imagen satelital en lugar de la de fecha 22/11/2022.

Figura 16

Imagen satelital Landsat 8 de la Laguna San Nicolás de fecha 09/05/2023.

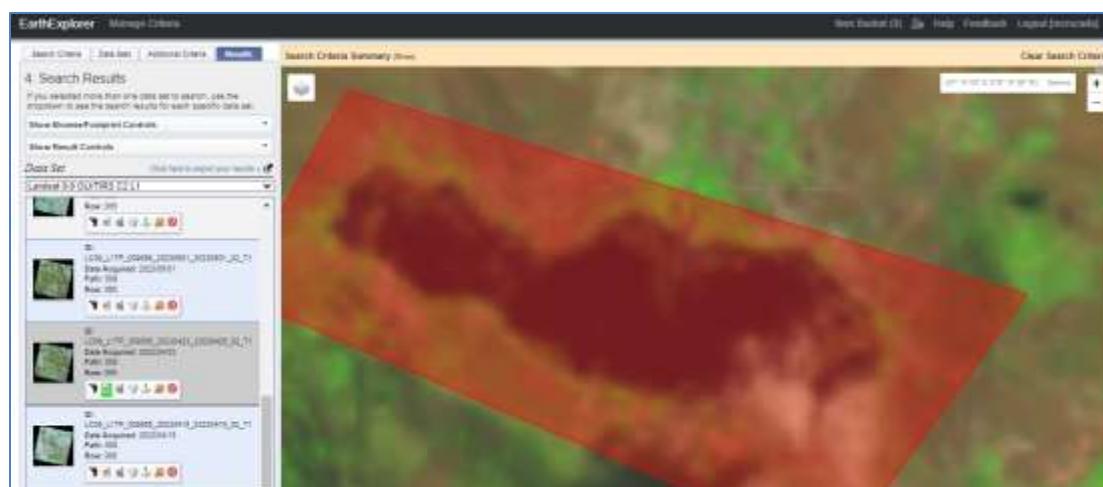


Nota. Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)

Como puede observarse en la figura anterior la nubosidad en el área de estudio es de 100%, lo que hace imposible analizar los parámetros de calidad del agua.

Figura 17

Imagen satelital Landsat 8 de la Laguna San Nicolás de fecha 23/04/2023.



Nota. Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)

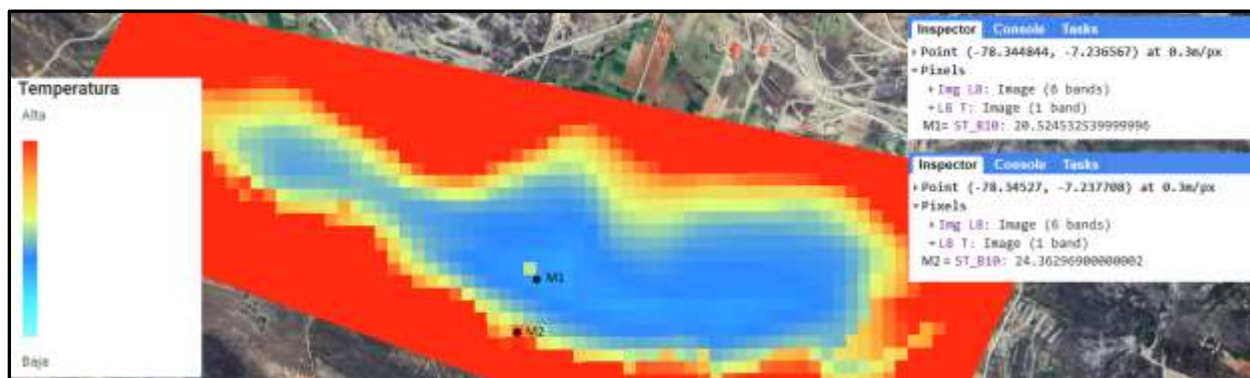
La imagen del 23/04/2023 es la más próxima a la imagen de estudio del 09/05/2023 y la ausencia de nubosidad en el área de trabajo la hace perfecta para el estudio de los parámetros de la calidad del agua.

4.4. Resultados del Análisis de Temperatura a las Imágenes Satelitales y la Contrastación con los Datos de Campo

El código JavaScript para este análisis lo podemos visualizar en el anexo N° 14, se analizó la banda ST_B10 de temperatura que viene inmerso en las imágenes Landsat 8 y los resultados obtenidos lo podemos visualizar en las siguientes figuras:

Figura 18

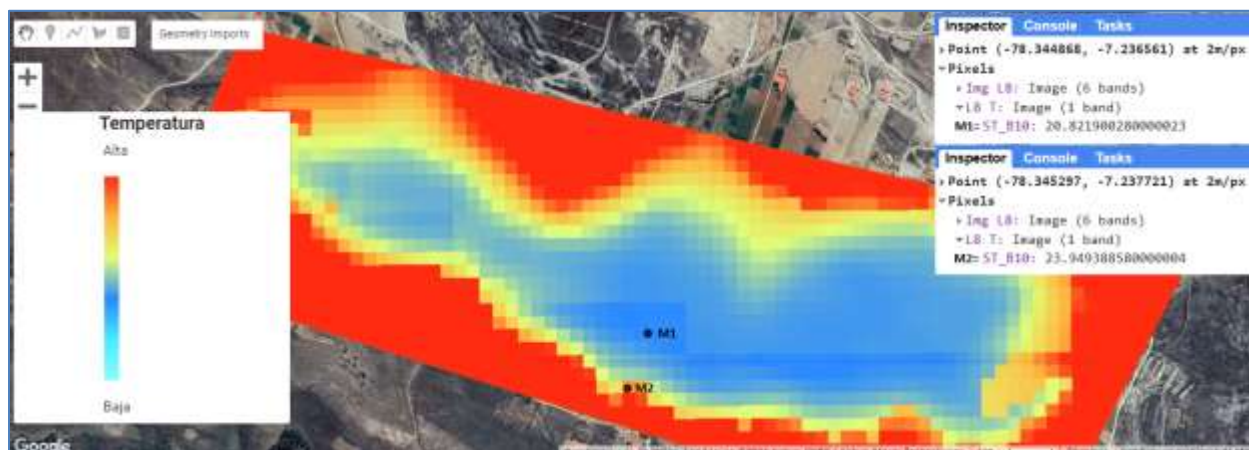
Resultado del análisis de temperatura de la imagen satelital de la Laguna San Nicolás de fecha 22/11/2022 (30/11/2022).



Nota. Code Editor del Google Earth Engine

Figura 19

Resultado del análisis de temperatura de la imagen satelital de la Laguna San Nicolás de fecha 09/05/2023 (23/04/2023).



Nota. Code Editor del Google Earth Engine

Tabla 12

Comparación de los resultados de temperatura

Punto de muestreo	Fecha	Resultado (°C)		Error
		Campo	Satélite	
M1	22/11/2022	19	20.52	-1.52
	09/05/2023	18.71	20.82	-2.11
M2	22/11/2022	19.31	24.36	-5.05
	09/05/2023	18.77	23.95	-5.18

Nota. Como podemos apreciar en la tabla anterior los datos de temperatura analizados tanto en campo como en el satélite tienen un margen de error bajo en la muestra 1 de -1.52°C y en la muestra 2 presenta los errores más altos de -5.18°C , la razón es porque no se analizaron las imágenes satelitales de las fechas tomadas sino las más cercanas a esa fecha, esto influye indudablemente al incremento del error y por otro lado la hora en que se tomaron las muestras in situ fue por la mañana y la hora en que pasa el satélite por esa zona que es a las 15:22:18 horas

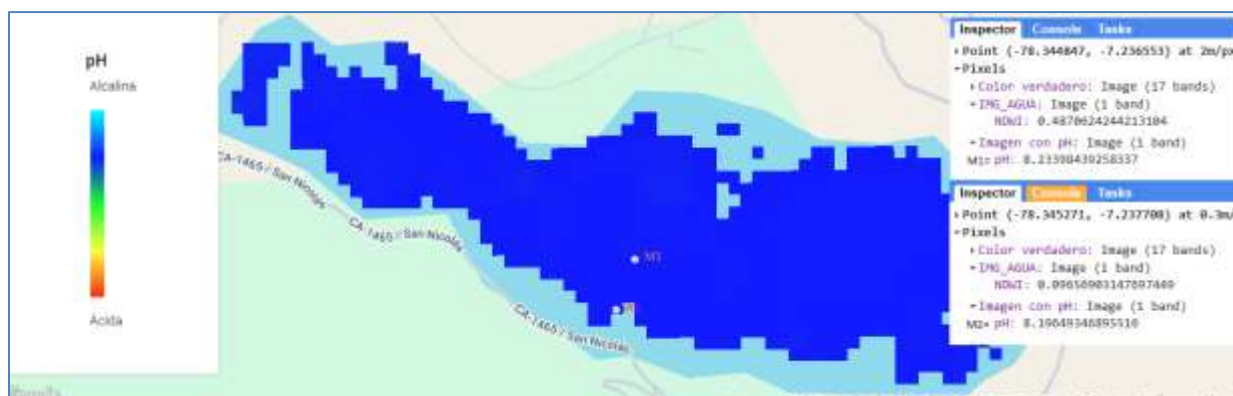
como puede verse en la Figura 10. Por otro lado, en todos los casos la temperatura que arroja el satélite es más alta que los datos tomados en campo, que al ser comparados con los resultados de (Xu et al., 2021) quienes concluyen que los datos tomados in situ son más bajos que los del satélite debido a que existe una estratificación termal en la superficie del lago. Finalmente, al comparar los resultados con los estándares de calidad ambiental, indican que es saludable ya que la variación de temperatura entre las dos fechas tomadas es menor a tres grados.

4.5. Resultado del Análisis de Potencial de Hidrógeno (pH) a las Imágenes Satelitales y la Contrastación con los Datos de Campo

Para este análisis satelital se utilizó el lenguaje de programación JavaScript, el cual lo podemos visualizar en el anexo 15, en cuyo código se muestra el modelo matemático obtenido de Perdomo (2015) “ $pH = 8.36 + 2.64 \times B2 - 3.96 \times B3 - 1.47 \times B4$ ” (pág. 94).

Figura 20

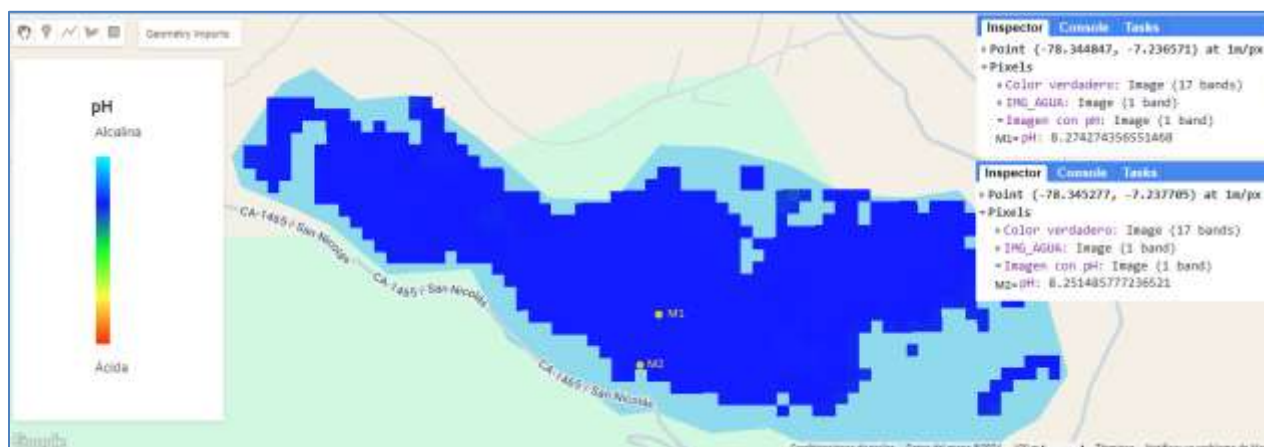
Resultado del análisis de pH de la imagen satelital de la Laguna San Nicolás de fecha 22/11/2022 (30/11/2022).



Nota. Code Editor del Google Earth Engine

Figura 21

Resultado del análisis de pH de la imagen satelital de la Laguna San Nicolás de fecha 09/05/2023 (23/04/2023).



Nota. Code Editor del Google Earth Engine

Tabla 13

Comparación de los resultados de potencial de hidrógeno (pH)

Punto de muestreo	Fecha	Resultado		Error
		Campo	Satélite	
M1	22/11/2022	7.98	8.23	-0.25
	09/05/2023	8.75	8.27	0.48
M2	22/11/2022	8.36	8.2	0.16
	09/05/2023	8.54	8.25	0.29

Nota. Al contrastar el análisis de campo y del satélite concluimos que el error más bajo se obtuvo en la muestra 2 de fecha 22/11/2024 y el más alto en la muestra 1 de fecha 09/05/2023, debido a que el pH no cambia de forma drástica en un lapso de tiempo y su valor se mantiene, en conclusión, se demuestra que el análisis satelital es efectivo y recomendable. Por otro lado, los

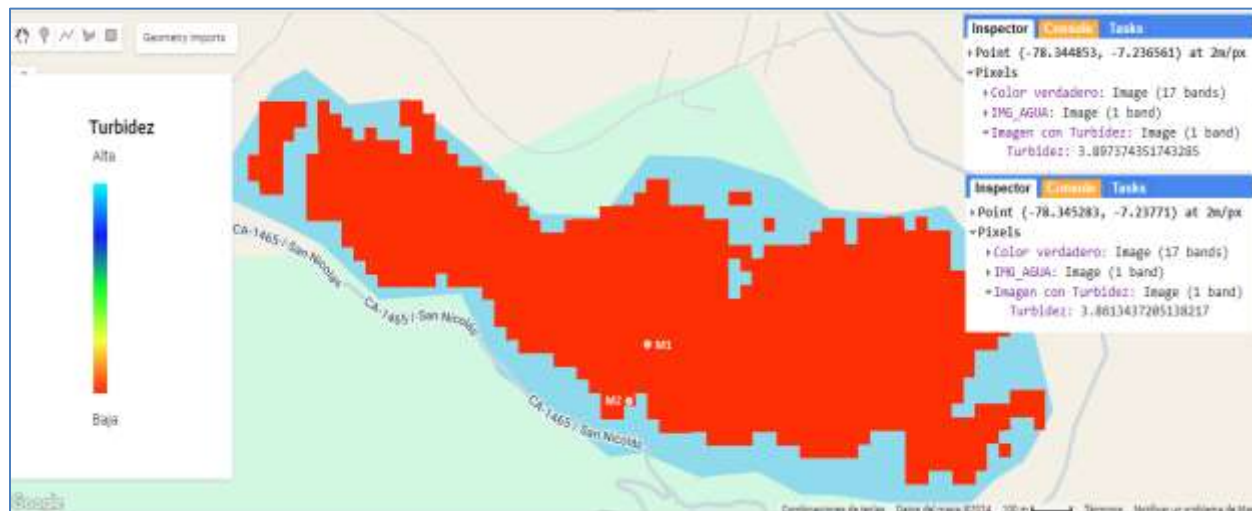
resultados indican que el agua es alcalina y saludable ya que se encuentra dentro del rango de los estándares de calidad ambiental.

4.6. Resultados del Análisis de Turbidez a las Imágenes Satelitales y la Contrastación con los Datos de Laboratorio

Para el análisis de este parámetro se utilizó el modelo matemático de Perdomo (2015) que encuentra una relación directa con la banda 1 de la imagen satelital Landsat 8 y lo podemos apreciar en la siguiente ecuación “ $Turbidez = 0.96 - 1.25 \times \log B1$ ” (p. 94). y el código JavaScript generado se encuentra en el Anexo 16.

Figura 22

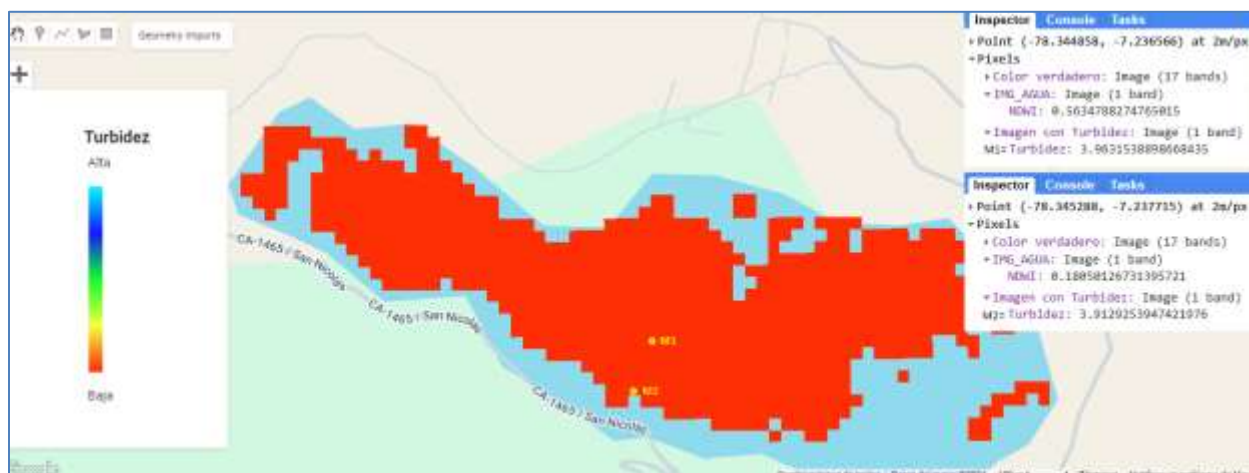
Resultado del análisis de Turbidez a la imagen satelital de la Laguna San Nicolás de fecha 22/11/2022 (30/11/2022).



Nota. Code Editor del Google Earth Engine

Figura 23

Resultado del análisis de Turbidez a la imagen satelital de la Laguna San Nicolás de fecha 09/05/2023 (23/04/2023).



Nota. Code Editor del Google Earth Engine

Tabla 14

Comparación de los resultados de turbidez de las aguas de la laguna San Nicolás

Punto de muestreo	Fecha	Resultado (NTU)		Error
		Laboratorio	Satélite	
M1	22/11/2022	2.8	3.897	-1.097
	09/05/2023	2.48	3.963	-1.483
M2	22/11/2022	2.43	3.861	-1.431
	09/05/2023	2.41	3.913	-1.503

Nota. Al contrastar los resultados del análisis de laboratorio y del satélite en relación a la turbidez, obtenemos que el error más bajo es de -1.097 NTU, obtenida de la muestra 1 en la fecha del 22/11/2022 y el más alto es de -1.503 NTU, obtenida de la muestra 2 de fecha

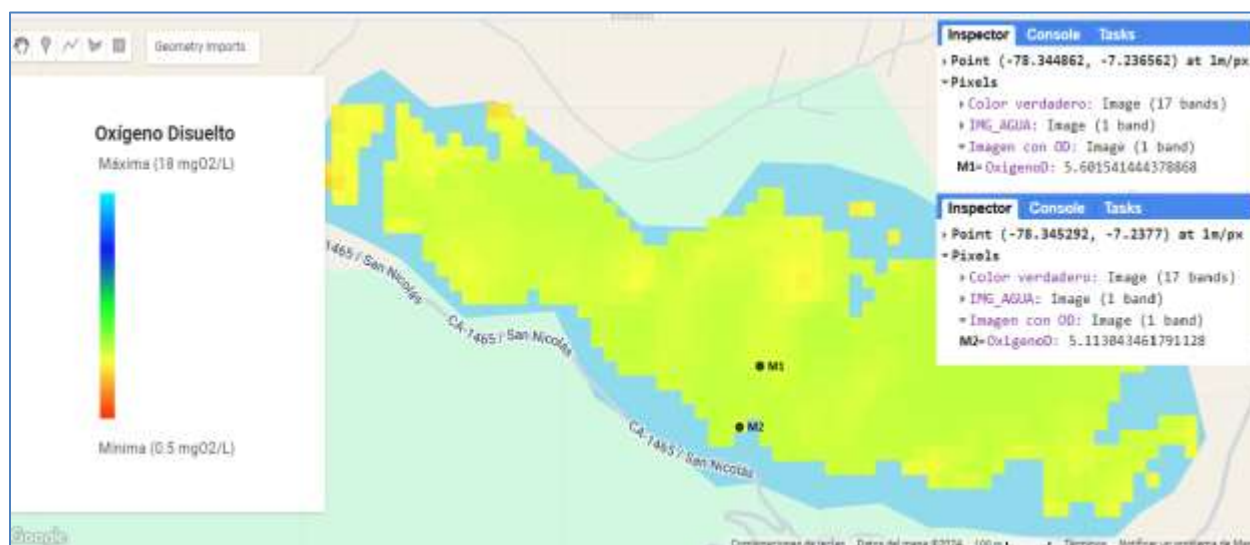
09/05/2023. Por otro lado, es necesario mencionar que el Laboratorio Regional del Agua, mide este parámetro desde 0.09 hasta 750 NTU, en consecuencia, el margen de error es bajo. También hay que tener en cuenta que las imágenes satelitales no son de la misma fecha en que se tomaron las muestras. Los resultados arrojan valores menores a cinco que al comparar con los estándares de calidad ambiental, cumple con la subcategoría de agua superficial destinada a la producción de agua potable y pueden ser potabilizadas con desinfección.

4.7. Resultados del Análisis de Oxígeno Disuelto a las Imágenes Satelitales y la Contrastación con los Datos de Laboratorio

Para este análisis se utilizó el lenguaje de programación JavaScript y el modelo matemático sacado del trabajo de investigación de Chuquiana (2021) $OD = 7.11538 - 31.81938 \times B^4$ ” (p. 62).

Figura 24

Resultado del análisis de Oxígeno Disuelto a la imagen satelital de la Laguna San Nicolás de fecha 22/11/2022 (30/11/2022).



Nota. Code Editor del Google Earth Engine

Figura 25

Resultado del análisis de Oxígeno Disuelto a la imagen satelital de la Laguna San Nicolás de fecha 09/05/2023 (23/04/2023).



Nota. Code Editor del Google Earth Engine

Tabla 15

Comparación de los resultados de oxígeno disuelto de las aguas de la laguna San Nicolás

Punto de muestreo	Fecha	Resultado (mg O ₂ /L)		Error
		Laboratorio	Satélite	
M1	22/11/2022	5.5	5.602	-0.102
	09/05/2023	4.4	6.038	-1.638
M2	22/11/2022	5.5	5.113	0.387
	09/05/2023	4.7	5.656	-0.956

Nota. Según la tabla los errores más acentuados de -1.638 y -0.956 se encuentra en la muestra 1 y muestra 2 respectivamente de fecha 09/05/2023, y el más bajo en la muestra 1 de fecha 22/11/2022. El porqué de esta diferencia es que las imágenes que se compararon no fueron del

09/05/2023 por presentar mucha nubosidad, sino las de fecha 23/04/2023, con una diferencia de aproximadamente dos semanas, siendo esta la razón principal del incremento del error.

Finalmente, el promedio de los resultados obtenidos es mayor a cinco con lo que cumple con los estándares de calidad ambiental, específicamente con la categoría 4 conservación del ambiente acuático.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

A continuación, presentamos las conclusiones a las que se ha llegado en el presente trabajo de investigación:

Se determinó la correlación que existe entre los valores obtenidos a través de la metodología con imágenes satelitales versus los valores obtenidos en campo de lo cual se puede afirmar que ambos paquetes de datos son muy similares ya que el promedio de campo para el pH es de 8.4 y el de satélite 8.2, siendo el error promedio 0.2, demostrando que el algoritmo generado en la investigación tiene el potencial de obtener valores aceptables de manera rápida; para el oxígeno disuelto el promedio de campo es 5.03 mg O₂/L y el de satélite 5.6 mg O₂/L, siendo el error promedio 0.6 mg O₂/L, demostrando también valores aceptables; para la turbidez el promedio de campo es 2.5 NTU y el de satélite 3.9 NTU, siendo el error promedio 1.4 NTU; para la temperatura el promedio de campo es 18.9 °C y el de satélite 22.4 °C, siendo el error promedio 3.5 °C, en estos dos últimos parámetros hay mayor porcentaje de error ya que los modelos matemáticos presentan cierta incertidumbre.

Se determinó el área comprendida del espejo de agua de la laguna San Nicolás obteniendo como resultado 584 874.5 m² y un perímetro de 5120.76 m. en base a 76 puntos con coordenadas UTM alrededor de la misma, estos datos pueden variar de acuerdo a la estación del año por incremento del agua en la época lluviosa y disminución en la época seca.

Se analizó in situ el parámetro de pH obteniendo los promedios de 8.4 y 8.5 en las muestras M1 y M2 respectivamente, demostrando que el agua es alcalina; para el parámetro de temperatura se obtuvo los promedios 18.9 °C y 19 °C para M1 y M2; por otro lado, se analizaron en laboratorio el parámetro de turbidez obteniendo los siguientes promedios 2.6 NTU y 2.4 NTU para M1 y M2

respectivamente, indicando que son aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección; el otro parámetro fue oxígeno disuelto, cuyos promedios fueron 5 mg O₂/L y 5.1 mg O₂/L para M1 y M2 respectivamente, estos valores determinan una buena calidad del agua y que es fundamental para albergar vida.

Se analizaron las imágenes satelitales haciendo uso de modelos matemáticos, para la temperatura se utilizó la banda ST_B10, obteniéndose un promedio de 20.7 °C y 24.2 °C para la M1 y M2 respectivamente, esta diferencia se debe a que la M1 se tomó en el centro y la M2 en la orilla de la laguna; para el pH 8.3 y 8.2 para la M1 y M2, demostrando la alcalinidad de las aguas; con relación al parámetro de turbidez 3.9 NTU para ambas muestras, estos valores indican que es agua de calidad; finalmente para el parámetro de oxígeno disuelto se obtuvo el promedio de 5.8 mg O₂/L y 5.4 mg O₂/L para M1 y M2 respectivamente, demostrando la efectividad de los modelos matemáticos y los algoritmos usados en el análisis satelital.

Se determinó la efectividad del análisis de las imágenes satelitales versus los resultados de campo, el pH tiene un error mínimo de 0.16 y un error máximo de 0.48, demostrando la efectividad del análisis satelital; para el parámetro de turbidez un error mínimo de -1.097 NTU y un error máximo de -1.503 NTU, para el oxígeno disuelto un error mínimo de -0.102 mg O₂/L y un máximo de -1.638 mg O₂/L, en ambos parámetros los resultados indican que los modelos matemáticos usados presentan una variación aceptable; la temperatura un error mínimo de -1.52 °C y un máximo de -5.18 °C, demostrando que los modelos y algoritmos usados pueden ser inefectivos, debido a factores adversos como excesiva nubosidad.

RECOMENDACIONES

Los algoritmos generados con lenguaje JavaScript, en esta investigación para los parámetros de temperatura, pH, oxígeno disuelto y turbidez, se autoriza para ser utilizado libremente en otras investigaciones.

Utilizar las imágenes satelitales con mayor resolución disponibles como Sentinel, para obtener resultados más óptimos.

Profundizar el estudio realizando investigaciones con la finalidad de obtener modelos matemáticos específicos para cada uno de los parámetros de calidad del agua de la laguna San Nicolás, de esta forma los resultados mejorarán sustancialmente.

Usar la inteligencia artificial para generar el código de computadora que permita analizar los diferentes parámetros de calidad del agua de las imágenes satelitales, reduciendo el tiempo y la calidad del algoritmo para la obtención de resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aragoneses López, S., & Sarzosa Gonzales, H. (2020). *Fundamentos de la ingeniería ambiental y del agua*. Madrid: Dextra. Obtenido de <https://elibro.bibliotecaupn.elogim.com/es/ereader/upnorte/148270?page=1>. Consultado en: 01 Jun 2023
- Arozarena Villar, A., Otero Pastor, I., & Esquerra Canalejo, A. (2016). *Sistemas de captura de la información: fotogrametría y Teledetección*. Madrid, España: Dextra. Obtenido de <https://elibro.bibliotecaupn.elogim.com/es/ereader/upnorte/131471?page=5>
- Barboza Astolingón, H. Y. (2017). *Propuesta para la conservación de la biodiversidad de la laguna San Nicolás – Namora – Cajamarca*. [Tesis]: Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/11359?show=full>
- Beltrán Peña, H., Soria Ruiz, J., Téliz Ortiz, D., Ochoa Martínez, D., Nava Díaz, C., & Ochoa Ascencio, S. (2014). Detección satelital y molecular del viroide de la mancha de sol del aguacate (Avocado Sunblotch Viroid, ASBVd). *SCIELO*, 9. Recuperado el 01 de 12 de 2022, de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802014000100005&lang=es
- Briceño, I., Pérez, W., San Miguel, D., & Ramos, S. (2018). Determination of water quality Vichuquén Lake, using satellite images Landsat 8, sensor OLI, year 2016, Chile. *Revista de teledetección*, 12. Recuperado el 01 de 12 de 2022, de <https://doi.org/10.4995/raet.2018.10126>
- Callisaya Machaca, D. (2018). Análisis de la clorofila-a en el agua con técnicas de teledetección en lago Titicaca (Lago Menor). *Apthapi*, 13. Recuperado el 01 de 12 de 2022, de <https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/229>
- Cárdenas León, J. A. (2022). *Calidad del agua para estudiantes de ciencias ambientales*. Bogotá: ECOE. Obtenido de https://www.google.com.pe/books/edition/Calidad_del_agua_para_estudiantes_de_cie/L2NtEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=definici%C3%B3n%20de%20los%20par%C3%A1metros%20de%20la%20calidad%20del%20agua&pg=PP1&printsec=frontcover
- Chapman, D. (1996). *Water quality assessment. A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring* (2da ed.). London: University Press, Cambridge. Obtenido de <https://iris.who.int/handle/10665/41850>
- Chuquiama Carrasco, M. D. (2021). *Monitoreo de la calidad de agua mediante percepción remota*. [Tesis]: Universidad Privada San Carlos. Obtenido de https://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/UPSC%20S.A.C./92/Maria_Doris_CHUQUIMIA_CARRASCO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Cotrina Mendoza, S. Y. (2019). *Desarrollo del turismo rural comunitario en la laguna San Nicolás y su incidencia en la calidad de vida de la comunidad, 2015 - 2018*. [Tesis]: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3045>
- Dominguez Gómez, J. A., Marcos Martín, C., Chao Rodríguez, Y., Delgado, R. G., & Rodríguez Pérez, D. (2012). *Estudio de aguas continentales mediante teledetección*. Madrid: UNED. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=6ywH9R9MSpgC&lpg=PP1&dq=Estudio%20de%20aguas%20%20continentales%20mediante%20teledetecci%C3%B3n&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q=Estudio%20de%20aguas%20%20continentales%20mediante%20teledetecci%C3%B3n&f=false>
- Ermida, S., Soares, P., Mantas, V., Gottsche, F., & Trigo, I. (2020). Google Earth Engine Open-Source Code for Land Surface Temperature Estimation from the Landsat Series. *Remote sensing*, 21. Recuperado el 01 de 12 de 2022, de <https://doi.org/10.3390/rs12091471>
- Han, S., Velaochaga, G., Siguayro, H., Paulino, C., Alburqueque, E., Escudero, L., . . . Gamarra, C. (Setiembre de 2021). Validación de datos satelitales de la concentración de Clorofila-a, temperatura superficial y coeficiente de atenuación difusa en el lago Titicaca. *IMARPE Instituto del mar del Perú*, 48(3)(0378-7702). Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3593>
- López Abarca, P. (2016). *Manual de evaluación de Impacto ambiental de actividades rurales*. Uruguay: IICA. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=lnnqaK9UCZAC&lpg=PA1&pg=PA1#v=onepage&q&f=false>
- Meaden, G., & Kapetsky, J. (2012). *Los sistemas de información geográfica y la telepercepción en la pesca continental y la acuicultura*. Roma: FAO. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=nIUOhxH2VYcC&lpg=PA45&dq=Los%20Sistemas%20de%20Informaci%C3%B3n%20Geogr%C3%A1fica%20y%20la%20Telepercepci%C3%B3n%20en%20la%20Pesca%20Continental%20y%20la%20Acuicultura&pg=PA76#v=onepage&q=Los%20Sistemas%20de%20Informac>
- Morales, S., Ruiz, M., & Soria, J. (2021). Estudio de las fluctuaciones del nivel del agua en la laguna de Gallocanta (Aragón, España) mediante imágenes satelitales de Sentinel-2. *Revista de teledetección*, 129. Recuperado el 12 de 12 de 2022, de <https://polipapers.upv.es/index.php/raet/article/view/14246/14160>
- Noyola Medrano, C., Ramos Leal, J., López Alvarez, B., Morán Ramirez, J., & Fuentes Rivas, R. M. (2019). Assessing the source and spatial distribution of chemical composition of a rift lake, using multivariate statistical, hydrogeochemical modeling and remote sensing. *Earth Sciences Research Journal*, 14. Recuperado el 01 de 12 de 2022, de <https://doi.org/10.15446/esrj.v23n1.66429>
- Olaya, V. (2020). *Sistemas de información geográfica*. Obtenido de <https://volaya.github.io/libro-sig/>

- Pedrerros Guarda, M., Abarca del Río, R., Escalona, K., García, I., & Parra, Ó. (2021). A Google Earth Engine Application to Retrieve Long-Term Surface Temperature for Small Lakes. Case: San Pedro Lagoons, Chile. *Remote Sensing*, 18. Recuperado el 01 de 11 de 2022, de <https://doi.org/10.3390/rs13224544>
- Peña, M. A., & Suárez, R. (2020). Evaluación de la calidad del agua del embalse Rapel entre 1975 y 2016 utilizando índices espectrales. *Geofocus*, 19. Recuperado el 01 de 12 de 2022, de <http://dx.doi.org/10.21138/GF.665>
- Perdomo Vanegas, A. (2015). *Predicción de parámetros físico químicos de calidad del agua mediante el uso de sensores remotos: caso estudio Embalse del Neusa*. [Tesis maestría]: Universidad de Bogotá. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12010/1751>
- Rodríguez Pérez, D., Sánchez Carnero, N., Dominguez Gómez, J., & Marta Pastrana, C. (2015). *Cuestiones de teledetección*. Madrid: UNED. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=tXxxCgAAQBAJ&lpg=PA162&dq=satelite%20landsat%208&pg=PA6#v=onepage&q=satelite%20landsat%208&f=false>
- Ruiz Verdú, A., Jiménez, J. C., Lazzaro, X., Tenjo, C., Delegido, J., & Pereira, M. (2016). Comparison of MODIS and Landsat-8 retrievals of Chlorophyll-a and water temperature over Lake Titicaca. *IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing (IGARSS)*. Recuperado el 01 de 12 de 2022, de <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7730993>
- Solórzano Villegas, J. V., & Perilla Suárez, G. A. (2022). *Cómo usar Google Earth Engine y no Fallar en el Intento*. México: UNAM. Obtenido de <https://doi.org/10.22201/ciga.9786073066969e.2022>
- Soria, M., & Matar de Saquis, M. (2016). *Nociones sobre teledetección*. Argentina: UNSJ.
- Tavares, M. H., Farias Cunha, A. H., Motta Marques, D., Ruhoff, A. L., Cabalcanti, R., Fragoso, C. R., . . . Ribeiro Rodrigues, L. E. (2019). Comparison of Methods to Estimate Lake-Surface-Water Temperature Using Landsat 7 ETM+ and MODIS Imagery: Case Study of a Large Shallow Subtropical Lake in Southern Brazil. *Water*, 21. Recuperado el 01 de 12 de 2022, de <https://doi.org/10.3390/w11010168>
- Vargas Sabadías, A. (1995). *Estadística descriptiva e inferencial*. Universidad de castilla-La mancha. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=RbaC-wPWqjsC&newbks=1&newbks_redir=0&lpg=PA184&dq=correlaci%C3%B3n%20estad%C3%ADstica&hl=es&pg=PA6#v=onepage&q=correlaci%C3%B3n%20estad%C3%ADstica&f=false
- Veneros, J., García, L., Morales, E., Gómez, V., Torres, M., & López morales, F. (2020). Aplicación de los sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua. *Idesia*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000400099>

- Veneros, J., García, L., Morales, E., Gómez, V., Torres, M., & López Morales, F. (2020). Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua. *SCIELO*, 16. Recuperado el 01 de 12 de 2022, de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000400099>
- Vera Laceiras, M. S., Kuna, H. D., De Miranda, N., Puchini, M., & Zamudio, E. (2021). Detección de la calidad del agua mediante imágenes satelitales: revisión sistemática de la literatura con análisis cuantitativo. *CEDICI Repositorio Institucional de la UNLP*. Recuperado el 01 de 11 de 2022, de <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/130338>

ANEXOS

Anexo 1: Primer informe del análisis de la muestra de laboratorio

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA		GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA		INACAL	
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA		LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-D CON REGISTRO N° LE-084		INACAL IA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado	
				Registro N° LE - 084	
INFORME DE ENSAYO N°			IE 1122720		
DATOS DEL CLIENTE					
Razon Social/Nombre	MAURO EDILBERTO CRUZADO RAMIREZ				
Dirección	-				
Persona de contacto	MAURO EDILBERTO CRUZADO RAMIREZ	Correo electrónico	mecruzado@hotmail.com		
DATOS DE LA MUESTRA					
Fecha del Muestreo	22.11.22	Hora de Muestreo	9:00 a 9:30		
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-		
Procedimiento de Muestreo	-				
Tipo de Muestreo	Puntual				
Número de puntos de muestreo	01				
Ensayos solicitados	Químicos				
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación				
Referencia de la Muestra:	San Nicolás				
DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO					
N° Contrato	SC-983	Cadena de Custodia	CC - 720 - 22		
Fecha y Hora de Recepción	22.11.22	15:55	Inicio de Ensayo	22.11.22	16:20
Reporte Resultado	01.12.22	16:00			
 Firmado digitalmente por NEYRA JAICO Edder Miguel RAU 2045374408 a07. Motivo: Soy el autor del documento. Fecha: 2023.02.02 10:58 a.m.					
Edder Neyra Jaico Responsable de Laboratorio CIP: 147028					
Cajamarca, 02 de Diciembre de 2022					
DR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S.M. UMB. EL BORGUÉS, CAJAMARCA - PERÚ e-mail: luis.sanchez@regionalcajamarca.gob.pe / laboratorio@regionalcajamarca.gob.pe FON: 05399000 anexo 1340.					



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - D
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 1122720

ENSAYOS			QUÍMICOS				
Código de la Muestra	M 001		M 002	-	-	-	-
Código Laboratorio	1122720-01		1122720-02	-	-	-	-
Matriz	Natural		Natural	-	-	-	-
Descripción	Superficial		Superficial	-	-	-	-
Localización de la Muestra	San Nicolás		San Nicolás	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
Turbidez	NTU	0.0900	2.80	2.43	-	-	-
Sólidos Totales	mg/L	2.6000	308.0	329.0	-	-	-
(*) Salinidad	PSU	NA	0.291	0.290	-	-	-
Origeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.6000	5.5	5.5	-	-	-

Legenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Turbidez	NTU	SMEWW/APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed. 2017: Turbidity, Nephelometric Method
Sólidos Totales	mg/L	SMEWW/APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 23rd Ed. 2017: Solids, Total Solids Dried at 103-105°C
Salinidad (NaCl)	mg/L	SMEWW/APHA-AWWA-WEF Part 2520 B, 23rd Ed. 2017: Electrical Conductivity Method
Origeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW/APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved), Azide Modification

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-25-F01 Rev: N°02 Fecha: 03/07/2020

Cajamarca, 02 de Diciembre de 2022



Firmado digitalmente por
COLINA VIRGILIO JUAN JOSE
FAU 20463741100 aut

Motivo: Visto en señal de conformidad
Fecha: 02/12/2022 08:34 a.m.



Firmado digitalmente por
LEONARDO FREDDY HERNANDEZ
FAU 20463741100 aut

Motivo: Visto en señal de conformidad
Fecha: 02/12/2022 08:35 a.m.

Anexo 2: Segundo informe del análisis de la muestra de laboratorio

 LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084		 INACAL DA - Perú Laboratorio de Agua Registrado N° LE-084	
INFORME DE ENSAYO N° IE 05230277			
DATOS DEL CLIENTE			
Razon Social/Nombre	MAURO EDILBERTO CRUZADO RAMIREZ		
Dirección	-		
Persona de contacto	MAURO EDILBERTO CRUZADO RAMIREZ	Correo electrónico	mecruzado@hotmail.com
DATOS DE LA MUESTRA			
Fecha del Muestreo	09.05.23	Hora de Muestreo	11:30 a 12:00
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	02		
Ensayos solicitados	Físicoquímicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación		
Referencia de la Muestra:	Namora- Cajamarca		
DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO			
N° Contrato	SC-387	Cadena de Custodia	CC - 0277 - 23
Fecha y Hora de Recepción	09.05.23	14:47	Inicio de Ensayo 09.05.23 15:05
Reporte Resultado	18.05.23	16:00	
			
 Firmado digitalmente por NEYRA JAICO Edder Miguel FAU 204533 44198 aut Fecha: 18/05/2023 16:00 p.m.			
Edder Neyra Jaico Responsable de Laboratorio CIP: 147028			
Cajamarca, 19 de Mayo de 2023			
<small> DR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ / N. LUIS EL BICHOQUE, CAJAMARCA - PERÚ e-mail: luisalberto@regionalcajamarca.gob.pe / luisalberto@regionalcajamarca.gob.pe FONOS 051 021 1161 </small>			



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 05230277

ENSAYOS			Físicoquímicos					
Código de la Muestra			M-01	M-02	-	-	-	-
Código Laboratorio			06230277-01	06230277-02	-	-	-	-
Matriz			Natural	Natural	-	-	-	-
Descripción			Superficial- Laguna	Superficial- Laguna	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Laguna San Nicolás	Laguna San Nicolás	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Físicoquímicos					
Turbidez	NTU	0.09	2.48	2.21	-	-	-	-
Sólidos Totales	mg/L	2.6	328.5	334.0	-	-	-	-
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.6	4.4	4.7	-	-	-	-
(*) Salinidad (NaCl)	PSU	NA	0.338	0.340	-	-	-	-

Legenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

V° B°
Firmado digitalmente por
NETRA JACCO Koon Miguel
FNU: 20452144156 act
Motivo: Visto en señal de
autorización
Fecha: 18/05/2023 05:34 p.m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

Cajamarca, 19 de Mayo de 2023



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 05230277

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Turbidez	NTU	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130, 8, 23rd Ed. 2017. Turbidity. Nephelometric Method
Sólidos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 23rd Ed. 2017: Solids. Total Solids Dried at 103-105°C
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O, C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved). Azide Modification
Salinidad (NaCl)	PSU	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2520 B, 23rd Ed. 2017: Electrical Conductivity Method

NOTAS FINALES

- (*) Los Resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev:02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 19 de Mayo de 2023


Firmado digitalmente por
OLIVERA VERRUGA Juan José
RAU 20452144106 4071
Motivo: Visto en señal de
confirmación
Fecha: 19/05/2023 09:49 p.m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

Anexo 3: Resultados obtenidos del multiparámetro HANNA, fecha 22/11/2022 para M1



Anexo 4: Resultados obtenidos del multiparámetro HANNA, fecha 22/11/2022 para M2



Anexo 5: Resultados obtenidos del multiparámetro HANNA, fecha 09/05/2023, para M1



Anexo 6: Resultados obtenidos del multiparámetro HANNA, fecha 09/05/2023, para M2



Anexo 7: Preparándonos para iniciar el trabajo de recojo de muestras



Anexo 8: Toma de la muestra en el punto de muestreo 1



Anexo 9: Toma de la muestra en el segundo punto de muestreo




Anexo 10: Equipo multiparámetro HANNA



[illegible]

ANEXO II

ETIQUETA PARA MUESTRA DE AGUA




ANA

Autoridad Nacional del Agua

Solicitante/cliente:				Solicitante/cliente:			
Nombre laboratorio:				Nombre laboratorio:			
Código punto de monitoreo:				Código punto de monitoreo:			
Tipo de cuerpo de agua:				Tipo de cuerpo de agua:			
Fecha de muestreo:		Hora:		Fecha de muestreo:		Hora:	
Muestreado por:				Muestreado por:			
Parámetro requerido:				Parámetro requerido:			
Preservada:		Tipo reactivo:		Preservada:		Tipo reactivo:	
Solicitante/cliente:				Solicitante/cliente:			
Nombre laboratorio:				Nombre laboratorio:			
Código punto de monitoreo:				Código punto de monitoreo:			
Tipo de cuerpo de agua:				Tipo de cuerpo de agua:			
Fecha de muestreo:		Hora:		Fecha de muestreo:		Hora:	
Muestreado por:				Muestreado por:			
Parámetro requerido:				Parámetro requerido:			
Preservada:		Tipo reactivo:		Preservada:		Tipo reactivo:	
Solicitante/cliente:				Solicitante/cliente:			
Nombre laboratorio:				Nombre laboratorio:			
Código punto de monitoreo:				Código punto de monitoreo:			
Tipo de cuerpo de agua:				Tipo de cuerpo de agua:			
Fecha de muestreo:		Hora:		Fecha de muestreo:		Hora:	
Muestreado por:				Muestreado por:			
Parámetro requerido:				Parámetro requerido:			
Preservada:		Tipo reactivo:		Preservada:		Tipo reactivo:	
Solicitante/cliente:				Solicitante/cliente:			
Nombre laboratorio:				Nombre laboratorio:			
Código punto de monitoreo:				Código punto de monitoreo:			
Tipo de cuerpo de agua:				Tipo de cuerpo de agua:			
Fecha de muestreo:		Hora:		Fecha de muestreo:		Hora:	
Muestreado por:				Muestreado por:			
Parámetro requerido:				Parámetro requerido:			
Preservada:		Tipo reactivo:		Preservada:		Tipo reactivo:	
Solicitante/cliente:				Solicitante/cliente:			
Nombre laboratorio:				Nombre laboratorio:			
Código punto de monitoreo:				Código punto de monitoreo:			
Tipo de cuerpo de agua:				Tipo de cuerpo de agua:			
Fecha de muestreo:		Hora:		Fecha de muestreo:		Hora:	
Muestreado por:				Muestreado por:			
Parámetro requerido:				Parámetro requerido:			
Preservada:		Tipo reactivo:		Preservada:		Tipo reactivo:	
Solicitante/cliente:				Solicitante/cliente:			
Nombre laboratorio:				Nombre laboratorio:			
Código punto de monitoreo:				Código punto de monitoreo:			
Tipo de cuerpo de agua:				Tipo de cuerpo de agua:			
Fecha de muestreo:		Hora:		Fecha de muestreo:		Hora:	
Muestreado por:				Muestreado por:			
Parámetro requerido:				Parámetro requerido:			
Preservada:		Tipo reactivo:		Preservada:		Tipo reactivo:	
Solicitante/cliente:				Solicitante/cliente:			
Nombre laboratorio:				Nombre laboratorio:			
Código punto de monitoreo:				Código punto de monitoreo:			
Tipo de cuerpo de agua:				Tipo de cuerpo de agua:			
Fecha de muestreo:		Hora:		Fecha de muestreo:		Hora:	
Muestreado por:				Muestreado por:			
Parámetro requerido:				Parámetro requerido:			
Preservada:		Tipo reactivo:		Preservada:		Tipo reactivo:	

Anexo 13: Ficha de identificación del punto de monitoreo, recomendado por el ANA



ANA

 Autoridad Nacional del Agua

ANEXO IV

FICHA DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO

Nombre del cuerpo de agua:

Clasificación del cuerpo de agua:
(Categorizado de acuerdo con la R.J. N°202-2010-ANA y modificaciones posteriores)

Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero:
(Código Pluvial)

IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO

Código del punto de monitoreo:
(Según lo indicado en Item 6.5.4 del Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales)

Descripción:
(Origen/Ubicación)

Accesibilidad:
(Describe detalladamente la vía de acceso, para que otras personas puedan encontrar fácilmente el punto de monitoreo)

Representatividad:
(Describe el tramo de río o quebrado o la laguna o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)

Finalidad del monitoreo:
(Describe la finalidad del punto de monitoreo: vigilancia de aguas, evaluación del impacto de una fuente contaminante, ...)

Reconocimiento del Entorno:
(Incluir referencias topográficas que permitan el fácil reconocimiento del punto en campo.)

UBICACIÓN

Distrito:
 Provincia:
 Departamento:

Localidad:

Coordenadas (WGS84):
 Sistema de coordenadas: ☐ Proyección UTM ☐ Geográficas

Norte/Latitud:
 Zona: (17, 18 o 19, para UTM solamente)


Este/Longitud:
 Altitud: (metros sobre el nivel del mar)

Croquis de ubicación del punto de monitoreo (potencial)

Fotografía:
(Tomada a un mínimo de 20 metros de distancia del punto de monitoreo)

Elaborado por:

Fecha:



Anexo 14: Código en JavaScript para encontrar la temperatura del agua de la laguna san Nicolas

```

Doctorado/Temperatura_final_22_11_2022 *
Get Link Save Run Reset Apps

* Imports (1 entry)
  var Zona: Polygon, 4 vertices

1 //Jalamos la colección de imágenes desde un rango de fechas
2 var L8_Colec = ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C02/T1_L2")
3   .filterBounds(Zona)
4   .filterDate("2022-11-01", "2022-12-30")
5   .filterMetadata("CLOUD_COVER", "less_than", 10);
6 //Visualizamos en la consola
7 print(L8_Colec);
8 //Trabajamos con la imagen del 30/11/2022 que es la más cercana al 22/11/2022 y no presenta nubosidad en la zona de
9 var img = ee.Image("LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_009065_20221130");
10 //Seleccionamos las bandas de reflectancia de superficie a trabajar
11 var img_b = img.select(["SR_B2", "SR_B3", "SR_B4", "SR_B5", "SR_B6", "SR_B7"]);
12 //Seleccionamos la banda de reflectancia de temperatura
13 var img_t = img.select(["ST_B10"]);
14 //Visualizamos en la consola las bandas de reflectancia de superficie
15 print(img_b);
16 //Escalaamos las imágenes
17 var img_b_RS = img_b.multiply(0.0000275).add(-0.2);
18 var img_t_I = img_t.multiply(0.00341802).add(149);
19 //Convertimos de grados Kelvin a grados centígrados
20 var img_I_C = img_t_I.subtract(273.15);
21 // Simbología para la combinación de bandas
22 var viz = {
23   'bands': ["SR_B6", "SR_B5", "SR_B4"],
24   'min': 0.1,
25   'max': 0.4,
26   'gamma': 1.3
27 };
28 //Simbología para la combinación de colores
29 var viz_t = {
30   'min': 18,
31   'max': 25,
32   'palette': ["89ffff", "44eeff", "2c8aff", "e0ff78", "ffb840", "ff2c11"]
33 };
34 //limitamos las imágenes a la zona de estudio
35 var img_b_RS_clip = img_b_RS.clip(Zona);
36 var img_t_clip = img_I_C.clip(Zona);
37 //visualizamos como mapa base Satellite
38 Map.setOptions("SATELLITE");
39 //Centramos la imagen a la zona de estudio
40 Map.centerObject(Zona);
41 //Visualizamos los mapas
42 Map.addLayer(img_b_RS_clip, viz, "Img L8");
43 Map.addLayer(img_t_clip, viz_t, "L8 T");
44 //Ubicación de los puntos de muestreo
45 //Ubicación de la muestra 1
46 var punto1 = [-78.344843, -7.236568];
47 var M1 = ee.Geometry.Point(punto1);
48 print(M1);
49 Map.addLayer(M1, {color: "black"}, "M1");
50 //Ubicación de la muestra 2
51 var punto2 = [-78.345270, -7.237709];
52 var M2 = ee.Geometry.Point(punto2);
53 print(M2);
54 Map.addLayer(M2, {color: "black"}, "M2");

```


Anexo 15: Código en JavaScript para encontrar el pH del agua de la laguna San Nicolás

```

pH_22_11_2022
Get Link Save Run Reset Apps

* Imports (1 entry)
var ROI: Polygon, 4 vertices

1 //CÓDIGO EN JAVASCRIPT PARA EL PH DE LA LAGUNA SAN NICOLÁS-CAJAMARCA-PERÚ
2 //Centramos el polígono, de tamaño 14
3 Map.centerObject(ROI,14);
4 //Usamos la colección de imágenes landsat 8
5 var IMG_C = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA')
6   .filterBounds(ROI)
7   //Usamos un rango de fechas
8   .filterDate('2022-11-01','2022-12-30')
9   //Filtramos imágenes con nubosidad menor al 10%
10  .filterMetadata('CLOUD_COVER','less_than',10);
11 //Visualizamos en la consola
12 print(IMG_C);
13 //Trabajamos con la imagen del 30/11/2022 que es la más cercana al 22/11/2022 y no presenta nubosidad en la zona de estudio
14 var IMG = ee.Image('LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA/LC08_009065_20221130');
15 //Mostrar la imagen seleccionada en el procedimiento anterior
16 //en color verdadero, con las bandas 432
17 Map.addLayer(IMG,{bands:['B4','B3','B2'],'Color verdadero', false});
18 //Encontramos el NDWI (Índice de agua de diferencia normalizada)
19 var ndwi_f=function(img){
20   var ndwi=img.normalizedDifference(['B3','B6']).rename('NDWI');
21   //Agregamos las bandas que contiene el NDWI
22   return img.addBands(ndwi)
23   //Se filtrarán valores mayores a 0
24   .updateMask(ndwi.gt(0));
25 };
26 //Ingresamos la imagen inicial a la función anterior y lo guardamos en una variable
27 var IMG_water = ndwi_f(IMG);
28 //Visualizamos la variable anterior solo con la banda NDWI, en color azul
29 Map.addLayer(IMG_water.select('NDWI'), {palette:['cyan']}, 'IMG_AGUA', false);
30 //Creamos la función para calcular el pH del agua
31 function pH_f(img){
32   //Máscara de agua
33   var pH=img.expression('8.36+2.64*B2-3.96*B3-1.47*B4',{
34     'B2':img.select('B2'),
35     'B3':img.select('B3'),
36     'B4':img.select('B4')
37   })
38   //Renombrar la banda
39   .rename('pH');
40   return img.addBands(pH);
41 }
42 var IMG_pH=pH_f(IMG_water);
43 print("pH",IMG_pH);
44 //Creamos la paleta de colores para el pH
45 var viz_pH={'min':3,'max':10,'palette':['ff2b04','ff8f48','12ff2b','121aff','cyan']};
46 //Visualizamos el pH del agua
47 Map.addLayer(IMG_pH.select('pH'),viz_pH,'Imagen con pH');
48 //Ubicación de los puntos de muestreo
49 //Ubicación de la muestra 1
50 var punto1 = [-78.344843, -7.236568];
51 var M1 = ee.Geometry.Point(punto1);
52 print(M1);
53 Map.addLayer(M1, {color:"white"},"M1");
54 //Ubicación de la muestra 2
55 var punto2 = [-78.345278, -7.237709];
56 var M2 = ee.Geometry.Point(punto2);
57 print(M2);
58 Map.addLayer(M2, {color:"white"},"M2");
59

```

Anexo 16: Código en JavaScript para encontrar el parámetro de Turbidez del agua de la laguna San Nicolás

```

Turbidez_22_11_2022
GetLink Save Run

Imports (1 entry)
var ROI: Polygon, 4 vertices

1 //CÓDIGO EN JAVASCRIPT PARA LA TURBIDEZ DE LA LAGUNA SAN NICOLÁS-CAJAMARCA-PERÚ
2 //Centramos el polígono, de tamaño 14
3 Map.centerObject(ROI,14);
4 //Usamos la colección de imágenes Landsat 8
5 var IMG_C = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA')
6   .filterBounds(ROI)
7   //Usamos un rango de fechas
8   .filterDate('2022-11-01','2022-12-30')
9   //Filtramos imágenes con nubosidad menor al 10%
10  .filterMetadata('CLOUD_COVER','less_than',10);
11 //Visualizamos en la consola
12 print(IMG_C);
13 //Trabajamos con la imagen del 30/11/2022 que es la más cercana al 22/11/2022 y no presenta nubosidad
14 var IMG = ee.Image('LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA/LC08_009065_20221130');
15 //Mostrar la imagen en color verdadero, con la combinación de bandas 432
16 Map.addLayer(IMG,{bands:['B4','B3','B2']}, 'Color verdadero', false);
17 //Encontramos el NDWI (Índice de agua de diferencia normalizada)
18 var ndwi_f=function(img){
19   var ndwi=img.normalizedDifference(['B3', 'B6']).rename('NDWI');
20   //Agregamos las bandas que contiene el NDWI
21   return img.addBands(ndwi)
22   //Se filtrarán valores mayores a 0
23   .updateMask(ndwi.gt(0));
24 };
25 //Ingresamos la imagen inicial a la función anterior y lo guardamos en una variable
26 var IMG_water = ndwi_f(IMG);
27 //Visualizamos la variable anterior solo con la banda NDWI, en color azul
28 Map.addLayer(IMG_water.select('NDWI'), {palette:['cyan']}, 'IMG_AGUA', false);
29 //Creamos la función para calcular la turbidez del agua
30 function tb_f(img){
31   //Máscara de agua
32   var Turbidez=img.expression('0.96-1.25*log(B1)',{
33     'B1':img.select('B1')
34   })
35   //Renombrar la banda
36   .rename('Turbidez');
37   return img.addBands(Turbidez);
38 }
39 var IMG_tb=tb_f(IMG_water);
40 print("Turbidez",IMG_tb);
41 //Creamos la paleta de colores para la turbidez
42 var viz_tb={'min':0.09,"max":750,"palette":["ff2b04","f8ff40","12ff2b","121aff","cyan"]};
43 //Visualizamos la turbidez del agua
44 Map.addLayer(IMG_tb.select('Turbidez'),viz_tb,"Imagen con Turbidez");
45 //Ubicación de los puntos de muestreo
46 //Ubicación de la muestra 1
47 var punto1 = [-78.344843, -7.236568];
48 var M1 = ee.Geometry.Point(punto1);
49 print(M1);
50 Map.addLayer(M1, {color:"white"},"M1");
51 //Ubicación de la muestra 2
52 var punto2 = [-78.345270, -7.237709];
53 var M2 = ee.Geometry.Point(punto2);
54 print(M2);
55 Map.addLayer(M2, {color:"white"},"M2");
56

```

Anexo 17: Código en JavaScript para encontrar el parámetro de Oxígeno Disuelto del agua de la laguna San Nicolás

```

Doctorado/OxigenoD_22_11_2022 *
Get Link Save Run Reset

Imports (1 entry)
var ROI: Polygon, 4 vertices

1 //CODIGO EN JAVASCRIPT PARA EL OXIGENO DISUELTO DEL AGUA DE LA LAGUNA SAN NICOLAS
2 //CAJAMARCA, PERÚ
3 //Centramos el poligono, de tamaño 14
4 Map.centerObject(ROI,14);
5 //Usamos la colección de imágenes Landsat 8
6 var IMG_C = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA')
7   .filterBounds(ROI)
8   //Usamos un rango de fechas
9   .filterDate('2022-11-01','2022-12-30')
10  //Filtramos imágenes con nubosidad menor al 10%
11  .filterMetadata('CLOUD_COVER','less_than',10);
12  //Visualizamos en la consola
13  print(IMG_C);
14  //Trabajamos con la imagen del 30/11/2022 que es la más cercana al 22/11/2022 y no presenta nubosidad en la zona de estudio
15  var IMG = ee.Image('LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA/LC08_009065_20221130');
16  //Mostrar la imagen seleccionada en el procedimiento anterior
17  //en color verdadero, con las bandas 432
18  Map.addLayer(IMG,{bands:['B4','B3','B2']}, 'Color verdadero', false);
19  //Encontramos el NDWI (Índice de agua de diferencia normalizada)
20  var ndwi_f=function(img){
21    var ndwi=img.normalizedDifference(['B3', 'B6']).rename('NDWI');
22    //Agregamos las bandas que contiene el NDWI
23    return img.addBands(ndwi)
24    //Se filtrarán valores mayores a 0
25    .updateMask(ndwi.gt(0));
26  };
27  //Ingresamos la imagen inicial a la función anterior y lo guardamos en una variable
28  var IMG_water = ndwi_f(IMG);
29  //Visualizamos la variable anterior solo con la banda NDWI, en color azul
30  Map.addLayer(IMG_water.select('NDWI'), {palette:['cyan']}, 'IMG_AGUA', false);
31  //Creamos la función para calcular el pH del agua
32  function OD_f(img){
33    //Máscara de agua
34    //Chuquimia Carrasco M.D.(2021)-Monitoreo de la calidad del agua mediante percepción remota lago titicacaP.62
35    var OxigenoD=img.expression('7.11538-31.81938*B4',{
36      'B4':img.select('B4')
37    })
38    //Renombrar la banda
39    .rename('OxigenoD');
40    return img.addBands(OxigenoD);
41  }
42  var IMG_OD=OD_f(IMG_water);
43  print("OxigenoD",IMG_OD);
44  //Creamos la paleta de colores para el pH
45  var viz_OD={'min':0.5,"max":18,"palette":["ff2b04","f8ff40","12ff2b","121aff","cyan"]};
46  //Visualizamos el pH del agua
47  Map.addLayer(IMG_OD.select('OxigenoD'),viz_OD,"Imagen con OD");
48  //Ubicación de los puntos de muestreo
49  //Ubicación de la muestra 1
50  var punto1 = [-78.344843, -7.236568];
51  var M1 = ee.Geometry.Point(punto1);
52  print(M1);
53  Map.addLayer(M1, {color:"black"},"M1");
54  //Ubicación de la muestra 2
55  var punto2 = [-78.345270, -7.237709];
56  var M2 = ee.Geometry.Point(punto2);
57  print(M2);
58  Map.addLayer(M2, {color:"black"},"M2");
59

```


Anexo 18: Certificado de calibración del multiparámetro HANNA



Fecha de emisión: 10/07/2024
Página: 1 de 2

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LMF-0699-2024

MULTIPARÁMETRO

1. Solicitante : Universidad Privada del Norte SAC
Dirección : Vía de Evitamiento s/n cuadra 15, Cajamarca
2. EQUIPO

Marca : HANNA INSTRUMENTS Modelo : HI9829 Número de serie : 07470021101 Identificación : 2-016242 Ubicación : Laboratorio de Biología	Rango : 14pH; 200mS/cm; 50mg/L Resolución : 0.01pH; 1uS/cm; 1mg/L Procedencia : No indica Indicación : Digital Orden de compra : PER03-0000092286
---	---
3. Lugar de la Calibración : Laboratorio de Biología en las instalaciones de UPN sede Cajamarca.
4. Fecha de calibración : 14-05-2024
5. Método de calibración
Tomando como referencia el procedimiento PC-020 2ª EDICIÓN, PC022 1ª EDICIÓN, para la calibración de medidores de pH y conductividad, respectivamente del SNM-INDECOPI.
6. Trazabilidad

Patrón	Marca	Lote / Certificado	F. Vencimiento
Solución Buffer 4pH	HANNA INSTRUMENTS	7636	01-04-2027
Solución Buffer 7pH	HANNA INSTRUMENTS	8702	01-02-2028
Solución Buffer 10pH	HANNA INSTRUMENTS	8862	01-04-2025
Termómetro digital	YOWEXA	LT-021-2024	No aplica
Termohigrómetro digital	TASI	LH-009-2024	No aplica
7. Condiciones ambientales

	Inicial	Final
Temperatura ambiental (°C)	19.29	19.59
Humedad relativa (%HR)	38.25	39.25
8. Resultados

pH			
Valor del patrón (pH)	Indicación del equipo (pH)	E.C.V.* (pH)	Incertidumbre (pH)
4.01	3.95	0.06	0.01
7.01	6.87	0.14	0.01
10.01	9.98	0.03	0.01



William Robinson Tejada Benites
Jefe de Laboratorio



Av. Perú Nro. 1313 Urb. Huacillay, Comas, Lima; Telf: 1 9087621; web: www.detcso.com.pe
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE DETEC SO S.A.C.



Fecha de emisión: 10/07/2024
Página: 2 de 2

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LMF-0699-2024

MULTIPARÁMETRO

Temperatura			
Indicación del equipo (°C)	Corrección (°C)	T.C.V.* (°C)	Incertidumbre (°C)
22.00	0.134	22.134	0.01

Donde:

E.C.V.* : Error convencionalmente verdadera

T.C.V.* : Temperatura convencionalmente verdadera = Indicación del equipo + Corrección

La incertidumbre de la medición se da con un nivel de confianza aproximadamente del 95 % con un factor de cobertura $k=2$.

9. Observaciones

- El equipo se encuentra en óptimas condiciones.
- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".
- La periodicidad de la calibración está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición.

William Robinson Tejada Benites
Jefe de Laboratorio

