UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

DETERMINACIÓN DE TRES PARÁMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA CASHIBOCOCHA MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES SATELITALES, UCAYALI, 2023

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

AISSA KENIA, NEYRA ZEVALLOS

Pucallpa, Perú

2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
COMISIÓN DE GRADOS Y TITULOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
N° 180/2023-CGyT-FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa a las 11:10 a.m. del viernes 15 de diciembre de 2023, de acuerdo con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, los mismos que estuvo designados con Memo Múltiple N° 084-2023-UNU-FCFyA, conformado por los siguientes docentes:

Dr. Gabriel Mercado Jáuregui	Presidente
Dr. Fernando Velásquez de la Cruz	Miembro
Dr. David León Moreno	Miembro

Se procedió a evaluar a la sustentación de la tesis denominado: **"DETERMINACIÓN DE TRES PARÁMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA CASHIBOCOCHA MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES SATELITALES, UCAYALI 2023"** presentado por la bachiller **AISSA KENIA NEYRA ZEVALLOS**; asesorada por el Ing. Mg. Moisés Torres Velasco, habiendo finalizado la sustentación, se procedió a la formulación de preguntas por parte del Jurado Evaluador, las que fueron absueltas por la sustentante, en consecuencia, la tesis fue **APROBADO POR UNANIMIDAD Y RECOMENDACIÓN DE PUBLICACIÓN**, quedando expedito para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**, después de las correcciones respectivas de la tesis. Siendo las 12:15 p.m. horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando los miembros en señal de conformidad.

Dr. Gabriel Mercado Jáuregui
Presidente

Dr. Fernando Velásquez de la Cruz
Miembro

Dr, David León Moreno
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN Y FIRMA DEL JURADO DE TESIS

La tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Dr. Gabriel Mercado Jauregui

Presidente

Dr. Fernando Velásquez de la Cruz

Miembro

Dr. David León Moreno

Miembro

Ing. MSc. Moisés Torres Velasco

Asesor

Bach. Aissa Kenia Neyra Zevallos

Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº **V/0746-2023** .

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"**DETERMINACIÓN DE TRES PARÁMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA CASHIBOCOCHA MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES SATELITALES, UCAYALI 2023**"

Autor(es)	:	**NEYRA ZEVALLOS, AISSA KENIA**
Facultad	:	**CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**
Escuela	:	**ING. AMBIENTAL**
Asesor(a)	:	**Mg. TORRES VELASCO, MOISÉS**

Presenta un **porcentaje de similitud de 3%,** verificado en el Sistema Antiplagio URKUND/OURIGINAL,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 06/12/2023

Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, Aissa Kenia Neyra Zevallos

Autor de la tesis titulada : Determinación de tres parámetros de la calidad del agua de la Laguna Cashibococha mediante el uso de imágenes satelitales, Ucayali 2023

Sustentada el año 2023

Asesor(a): MSc. Moisés Torres Velasco

Facultad: Ciencias Forestales y Ambientales

Escuela Profesional: Ingeniería Ambiental

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 20 / 12 / 2023

Email: aissaKenia@gmail.com Firma:

Teléfono: 939363978 DNI: 61245463

Dedicatoria

Dedicado a la memoria del Dr. Fermín Campos Solórzano, un guía excepcional que iluminó mi camino académico y personal con su sabiduría y apoyo. Gracias por inspirarme a alcanzar nuevas alturas.

Agradecimiento

Expreso mi agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera significativa en la realización de esta tesis. Ha sido un largo y desafiante camino, y no podría haber llegado hasta aquí sin el apoyo y la ayuda de tantas personas excepcionales.

A mi asesor, al Ing. MSc. Moisés Torres, cuya guía, conocimientos y dedicación han sido primordial para realizar esta investigación. Su constante orientación y apoyo fueron invaluables y estoy verdaderamente agradecida por su compromiso y confianza en mí.

También quiero agradecer a mis jurados de tesis, al Dr. Gabriel Mercado, al Dr. Fernando Velásquez y al Dr. David León, por su valioso tiempo y comentarios. Sus sugerencias y aportes críticos han enriquecido inmensamente este trabajo.

Asimismo, deseo expresar mi gratitud a Jean Quoroda, Valentina Díaz y a mis amigos, Kiara Pérez y Luis Guerrero, por su incondicional apoyo emocional y palabras de aliento a lo largo de todo este proceso. Su presencia y comprensión me han dado la fuerza necesaria para superar los desafíos y perseverar hasta el final.

Por último, pero no menos importante, quiero manifestar mi más profundo agradecimiento a mi familia. Su amor, paciencia y apoyo constante han sido el pilar en mi vida y en esta travesía académica. Su fe en mí me ha impulsado a dar lo mejor de mí en cada etapa de este camino.

Mi gratitud se extiende a todos aquellos que de una u otra manera contribuyeron a esta tesis. Su participación ha dejado una huella imborrable en mi vida académica y personal. A todos y cada uno de ustedes, les estaré enormemente agradecida.

Índice del Contenido

Dedicatoria vi
Agradecimiento vii
Índice de Tablas xi
Índice de Figuras xii
Resumen xiii
Abstract xiv
Introducción xiv
Capítulo I 15
Planteamiento del Problema 15
1.1. Descripción del problema 15
1.2. Formulación del problema 15
1.2.1. Problema General 15
1.2.2. Problemas Específicos 16
1.3. Objetivos de la Investigación 16
1.3.1. Objetivo General 16
1.3.2. Objetivos Específicos 16
Capítulo II 17
Marco Teórico 17
2.1. Antecedentes 17
2.1.1. Antecedentes Internacionales 17
2.1.2. Antecedentes Nacionales 19
2.2. Base teórica 21
2.2.1. Calidad del agua 21
2.2.2. Sólidos suspendidos totales 22
2.2.3. Transparencia en el agua 23
2.2.4. Clorofila 24
2.2.5. Fundamentos de la teledetección espacial 25
2.2.6. Espectro electromagnético 26

2.2.7. Datos del Satélite Landsat 9 27
2.2.8. Firmas espectrales 29
2.2.9. Teledetección en sistemas acuáticos 29
2.2.10. Preprocesamiento de la imagen satelital 32
2.2.11. Laguna Cashibococha 34
Definición de Términos Básicos 35
Capítulo III 37
Metodología de la Investigación 37
3.1. Método de investigación 37
3.2. Área de estudio 37
3.3. Población y muestra 39
3.3.1. Población 39
3.3.2. Muestra 39
3.4. Procedimiento de recolección de datos 39
3.4.1. Trabajo de campo 39
3.4.2. Trabajo de adquisición y preprocesamiento de la imagen satelital 40
3.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos 42
3.5.1. Técnicas 42
3.5.2. Instrumentos 42
3.6. Procesamiento para la recolección de datos 43
3.7. Tratamiento de datos 43
Capítulo IV 45
Resultados y Discusión 45
4.1. Sólidos suspendidos totales 45
4.2. Transparencia del agua 50
4.3. Clorofila-a 54
Capítulo V 58
Conclusiones y Recomendaciones 58
5.1. Conclusiones 58

5.2. Recomendaciones 59

Referencias Bibliográficas 60

Anexos 64

Índice de Tablas

Tabla 1. Parámetros de calidad del agua. 22
Tabla 2. Distribución de las bandas espectrales de los sensores OLI-2 y TIRS-2 28
Tabla 3. Parámetros de calidad de agua más comunes medidos por teledetección..... 30
Tabla 4. Puntos de muestreo 39
Tabla 5. Valores de sólidos suspendidos totales y la reflectividad de las bandas multiespectrales. 46
Tabla 6. Análisis de las muestras tomadas en campo de sólidos suspendidos totales..... 47
Tabla 7. Valores de transparencia y su reflectividad de las bandas multiespectrales 51
Tabla 8. Análisis de las muestras tomadas en campo de transparencia..... 51
Tabla 9. Valores de clorofila-a y su reflectividad de las bandas multiespectrales 55
Tabla 10. Análisis de las muestras tomadas en campo de clorofila-a..... 55

Índice de Figuras

Figura 1. Componentes de un sistema de teledetección 26
Figura 2. Representación gráfica del espectro electromagnético 27
Figura 3. Firmas espectrales de diferentes elementos de la naturaleza. 29
Figura 4. Laguna Cashibococha..... 34
Figura 5. Mapa de ubicación de la laguna Cashibococha..... 38
Figura 6. Firma espectral de la laguna Cashibococha 45
Figura 7. Regresión lineal de SST en la banda 02 de la laguna Cashibococha 48
Figura 8. Mapa de valores de SST en la laguna Cashibococha..... 49
Figura 9. Firma espectral de la laguna Cashibococha 50
Figura 10. Regresión lineal de transparencia en la banda 04 de la laguna Cashibococha . 52
Figura 11. Mapa de valores transparencia en la laguna Cashibococha. 53
Figura 12. Firma espectral de la laguna Cashibococha 54
Figura 13. Regresión lineal de clorofila-a en la banda 07 de la laguna Cashibococha..... 56
Figura 14. Mapa de valores de clorofila-a en la laguna Cashibococha 57

Resumen

La tecnología de la teledetección satelital ha emergido como una herramienta poderosa en el monitoreo de cuerpos de agua a gran escala, permitiendo la recopilación de datos de manera continua y a lo largo de vastas extensiones geográficas. La investigación se enfoca en la laguna Cashibococha, ubicada en el departamento de Ucayali. Esta laguna desempeña un papel fundamental en la región, brindando recursos hídricos y servicios ecosistémicos a las comunidades locales. Sin embargo, la presión antropogénica y los cambios ambientales han planteado preocupaciones sobre la calidad del agua en esta laguna y su posible impacto en la biodiversidad y el bienestar humano. Por estas razones, la investigación tuvo como objetivo general determinar tres parámetros calidad del agua mediante imágenes satelitales de la laguna Cashibococha. Los parámetros de calidad de agua evaluados fueron Sólidos Suspendidos Totales (SST), Transparencia (SD) y Clorofila-a (Chl-a). Para el parámetro de SST se desarrolló ecuaciones lineales con la banda multiespectral B2 de Landsat 9 – OLI 2 resultando un R^2 de 0.087, los valores de SST varían entre 11.60 mg/L y 26.50 mg/L. Por otro lado, los valores del parámetro de transparencia oscilaron entre 0.44 y 0.60 m, las ecuaciones lineales se realizaron con la banda multiespectral B7 de Landsat 9 – OLI 2 y dieron como resultado un R^2 de 0.3401. Por último, para desarrollar las ecuaciones lineales del parámetro de clorofila-a se usó la banda multiespectral B2 de Landsat 9 – OLI 2, resultando un R^2 de 0.1894, los valores obtenidos de las muestras *in situ* estuvieron entre 0.042 y 0.069 mg/L. Con este estudio se demuestra que se puede aplicar técnicas de teledetección para determinar la calidad de agua de la laguna Cashibococha.

***Palabras claves**:* calidad de agua, reflectancia, sólidos suspendidos, teledetección.

Abstract

Satellite remote sensing technology has emerged as a powerful tool in monitoring of large-scale bodies of water. It allows the collection of data continuously and over vast geographical extensions. The investigation focuses on the Cashibococha lagoon, located in the department of Ucayali. This lagoon plays a fundamental role in the region, providing water resources and ecosystem services to local communities. However, anthropogenic pressure and environmental changes have raised concerns about the water quality in this lagoon and its potential impact on biodiversity and human well-being. For these reasons, the general objective of this research was to determine three water quality parameters using satellite images of the Cashibococha lagoon. The water quality parameters evaluated were Total Suspended Solids (TSS), Transparency (SD) and Chlorophyll (Chl-a). For the TSS parameter, linear equations were developed with the multispectral band B2 of Landsat 9 – OLI 2, resulting in an R^2 of 0.087, the SST values varies between 11.60 mg/L and 26.50 mg/L. On the other hand, the values of the transparency parameter ranged between 0.44 and 0.60 m, the linear equations were carried out with the multispectral band B4 of Landsat 9 – OLI 2 and resulted in an R^2 of 0.3401. Finally, to develop the linear equations of the chlorophyll_a parameter, the multispectral band B7 of Landsat 9 – OLI 2 was used, resulting in an R^2 of 0.1894, the values obtained from the in-situ samples were between 0.042 and 0.069 mg/L. This study demonstrates that remote sensing techniques can be applied to determine the water quality of the Cashibococha lagoon.

Keywords: reflectance, remote sensing, suspended solids, water quality.

Introducción

La calidad del agua es un factor crucial en la preservación y sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos. La laguna Cashibococha, ubicada en el departamento de Ucayali, Perú, desempeña un papel fundamental en el equilibrio ambiental y el bienestar de las comunidades locales. Sin embargo, en las últimas décadas, la proliferación de actividades humanas y la presión ambiental han planteado serias preocupaciones sobre la calidad del agua en esta laguna.

El monitoreo y control de la calidad de los cuerpos de agua es crucial, ya que estos son una fuente de recursos que se pueden utilizar para satisfacer las necesidades humanas y diversos propósitos, (Orjuela Romero & Díaz Ruiz, 2019). Por otro lado, la evaluación tradicional de la calidad del agua involucra el muestreo en campo y el análisis de muestras en laboratorio, no obstante, a pesar de su utilidad, esta metodología puede ser costosa y limitada en términos de cobertura espacial y frecuencia temporal, (Quezada García, 2020). En este contexto, las imágenes satelitales proporcionan una visión integral de las condiciones superficiales de la laguna, permitiendo la detección y seguimiento de cambios en parámetros claves de la calidad del agua.

El objetivo de esta investigación es determinar tres parámetros fundamentales de la calidad del agua en la laguna Cashibococha: sólidos suspendidos totales, transparencia y clorofila-a. Estos parámetros se consideran claves en la salud del ecosistema acuático y la disponibilidad de recursos hídricos para diferentes usos. Los valores elevados de clorofila-a está estrechamente relacionada con la productividad biológica y puede indicar la presencia de floraciones de algas perjudiciales. Los valores de sólidos suspendidos totales es un indicador de la claridad del agua y refleja la sedimentación y la actividad humana circundante. Por último, la transparencia del agua permite estimar el estado trófico de la laguna.

Para lograr estos objetivos se emplearon imágenes satelitales, lo que permitió detectar los valores de los parámetros de la calidad del agua. Además, se aplicaron técnicas de procesamiento digital de imágenes y análisis geoespaciales para obtener mediciones cuantitativas de los parámetros de interés. El enfoque metodológico de este estudio busca proporcionar una alternativa innovadora y precisa para evaluar la calidad del agua de la laguna Cashibococha que permita una comprensión más profunda y que brinde información relevante para la toma de decisiones en la gestión y conservación de este valioso ecosistema acuático.

Capítulo I

Planteamiento del Problema

1.1. Descripción del problema

La calidad del agua en cuerpos acuáticos continentales es esencial para mantener el equilibrio ecológico y satisfacer las necesidades de las comunidades locales. La laguna Cashibococha, situada en el departamento de Ucayali, es un ejemplo de un ecosistema acuático que enfrenta desafíos significativos en cuanto a su calidad del agua debido a la interacción de diversas actividades humanas y procesos naturales.

La metodología tradicional de muestreo y análisis de agua puede ser costosa, laboriosa y limitada en cuanto a la cobertura espacial y temporal. El uso de imágenes satelitales ha demostrado ser una herramienta efectiva para monitorear la calidad del agua en cuerpos acuáticos a gran escala y de manera continua, (Quezada García, 2020). Estas imágenes proporcionan información sobre parámetros relacionados con la calidad del agua, como los valores de sólidos suspendidos totales, transparencia y clorofila-a, que son indicadores clave de la salud y el estado trófico del ecosistema acuático, al aprovechar la capacidad de los sensores remotos para capturar información multiespectral y térmica, se establecen relaciones cuantitativas entre los valores de reflectancia y los valores de los parámetros antes mencionados. Estas relaciones permiten la estimación continua de la calidad del agua a lo largo del tiempo y en diferentes áreas.

La relevancia de este estudio radica en su contribución al avance de una metodología precisa y eficaz para monitorear la calidad del agua en la laguna Cashibococha y, por extensión, en otros cuerpos de agua con características similares. Esta metodología no solo informará la toma de decisiones en términos de conservación y manejo ambiental, sino que también sentará las bases para futuras investigaciones en el campo del monitoreo remoto de la calidad del agua.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cómo determinar tres parámetros de la calidad del agua de la laguna Cashibococha mediante el uso de imágenes satelitales?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Qué valores de sólidos suspendidos totales se encontraron en la laguna Cashibococha mediante el uso de bandas multiespectrales?
- ¿Qué valores de transparencia del agua se encontraron en la laguna Cashibococha mediante el uso de bandas multiespectrales?
- ¿Qué valores de clorofila-a se encontrarán en la laguna Cashibococha mediante el uso de bandas multiespectrales?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Determinar tres parámetros de la calidad del agua de la laguna Cashibococha mediante el uso de imágenes satelitales.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar los valores de sólidos suspendidos totales en la laguna Cashibococha mediante el uso de bandas multiespectrales.
- Determinar los valores de transparencia del agua en la laguna Cashibococha mediante el uso de bandas multiespectrales.
- Determinar los valores de clorofila-a en la laguna Cashibococha mediante el uso de bandas multiespectrales.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Gómez Díaz y Dalence Martinic (2014), en Colombia, realizaron una investigación denominada: "*Determinación del parámetro sólidos suspendidos totales (SST) mediante imágenes de sensores ópticos en un tramo de la cuenca media del río Bogotá (Colombia)",* cuyo objetivo principal fue calcular el parámetro físico de sólidos suspendidos totales (SST) en la cuenca media del río Bogota, dicho parámetro se emplea comúnmente para evaluar la calidad de los cuerpos de agua. En la investigación, este cálculo se llevó a cabo utilizando una imagen multiespectral capturada por el satélite GeoEye, el cual ofrece una resolución espacial de 1.6 metros. A través del modelo desarrollado en este estudio, se pudo determinar que la imagen de satélite GeoEye resulta adecuada para estimar el parámetro SST utilizando bandas del espectro visible e infrarrojo cercano, ya que se logró un alto coeficiente de correlación y determinación, con un valor de 0.9. Por otro lado, también mencionan que debido a la inexistencia de un modelo teórico general que se pueda aplicar y dado que el uso de modelos empíricos se encuentra limitados a la zona geográfica desde la cual se derivan, solo es factible estimar aquellos parámetros que puedan establecer una correlación con los datos de laboratorios de calidad.

Doña et al. (2014), desarrolló un estudio titulado: *"Relaciones empíricas para el monitoreo de la calidad de agua de lagos y reservorios a través de imágenes multiespectrales",* el estudio se realizó en distintos lagos y reservorios de España con diferentes estados tróficos, utilizando imágenes multiespectrales. Los autores desarrollaron ecuaciones empíricas para estimar la concentración de clorofila-a, transparencia y partículas suspendidas totales a partir de los datos del sensor Landsat Thematic Mapper (TM). Las ecuaciones se basaron en la relación entre los valores de reflectancia de las diferentes bandas del TM. Así mismo, también examinaron la equivalencia espectral entre el TM y el satélite Deimos-1. Los resultados mostraron que los algoritmos desarrollados para el TM se pueden aplicar a Deimos-1 con una precisión aceptable. Para validar los algoritmos, se utilizaron tres imágenes de Deimos-1 de la Albufera de Valencia junto con mediciones en tierra. Los resultados de la validación indicaron errores cuadráticos medios (RMSE) de 40 $mg \cdot m^{-3}$ para la clorofila-a (rango de datos: 32 - 238 $mg \cdot m^{-3}$), 10 $mg \cdot L^{-1}$ para los sólidos suspendidos totales (TSS) (rango de datos: 25 - 89 $mg \cdot L^{-1}$) y 0.10 metros para la medida de

SD (rango de datos: 0.17 - 0.40 metros). Los resultados obtenidos revelan el potencial de Deimos-1 como una alternativa al sensor TM para el monitoreo de la calidad del agua en cuerpos de agua pequeños y medianos.

Ruiz Ramírez (2017), en su tesis *"Método de Estimación de Sólidos Suspendidos Totales como Indicador de la Calidad del Agua Mediante Imágenes Satelitales",* analizó la viabilidad de utilizar datos de imágenes satelitales multiespectrales Landsat 8 OLI para estimar la cantidad de sólidos suspendidos totales (SST) en un cuerpo de agua estancado. Las imágenes se sometieron a correcciones radiométricas y atmosféricas mediante el modelo de transferencia radiativa MODTRAN 4. Luego, se aplicó el enmascaramiento del agua y se establecieron relaciones empíricas entre las concentraciones de SST y los valores de reflectancia en una sola banda o combinaciones matemáticas de bandas en el espectro visible e infrarrojo cercano. Estos algoritmos se calibraron y validaron utilizando conjuntos de datos obtenidos en campo. La relación entre las bandas GREEN/INR mostró una fuerte correlación significativa de tercer orden con la concentración de SST (R^2 Ajustado = 0.9643) en el Embalse de Prado.

Briceño de Urbaneja et al. (2018), en el estudio denominado: *"Determinación de calidad de agua en el Lago Vichuquén, con imágenes de satélite Landsat 8, sensor OLI, año 2016, Chile",* donde el objetivo principal era emplear la teledetección como un recurso adicional para investigar la distribución espacial y los cambios temporales en los parámetros de calidad del agua del Lago Vichuquén durante dos estaciones del año en 2016. Se utilizaronn dos imágenes satelitales capturadas por el sensor OLI de Landsat 8, en combinación con datos de campo y análisis de laboratorio. La estimación de los parámetros Chl-a y Z_{SD} se realizó mediante modelos de regresión lineal múltiple utilizando el método por pasos. Los resultados indicaron que el estado trófico del Lago Vichuquén es eutrófico en verano y mesotrófico en otoño. Los análisis de laboratorio reflejan que, en verano y otoño, los valores de Chl-a oscilan entre 14,1 y 5,5 µg/l, mientras que la Z_{SD} varía entre 3,7 y 2,5 metros, respectivamente. El aumento en los niveles de eutrofización del lago Vichuquén se ve influenciado principalmente por la estacionalidad y, en segundo lugar, por diversas actividades humanas, como la plantación de pinos radiata y eucaliptos, prácticas agrícolas y las zonas urbanas circundantes al lago. El error medio cuadrático para cada variable y estación es de 0,74 y 0,01 µg/l para Chl-a en verano y otoño, y 0,16 metros para Z_{SD}, respectivamente.

Amado Alvarez et al. (2019), en su investigación *"Análisis multiespectral para la estimación de la turbidez como indicador de la calidad del agua en embalses del estado de Chihuahua, México"*, menciona que para cumplir con el objetivo principal que fue investigar los factores que han contribuido a la degradación de la calidad del agua de los embalses; se

analizaron diversos parámetros hídricos y se desarrolló un modelo empírico predictivo que permite evaluar la calidad del agua a partir de la estimación de la turbidez y de imágenes del satélite Landsat 5. Con este propósito, se llevaron a cabo los análisis en tres cuerpos de agua: la presa de Las Vírgenes, el lago Colina y la presa La Boquilla. Los parámetros analizados fueron el Oxígeno Disuelto, el pH, los Nitratos, los Sólidos Totales Disueltos, la Turbidez y la Temperatura, utilizando muestras de agua. Posteriormente, se emplearon estos datos junto con la información espectral obtenida a partir de imágenes del satélite Landsat 5 para llevar a cabo un análisis de 30 modelos de regresión lineal. Entre estos modelos, el que mejor se ajustó fue aquel relacionado con la turbidez. Se encontró que las regiones del espectro en los rangos de 0.52 a 0.6 micrómetros y de 0.63 a 0.69 micrómetros, que se utilizaron como variables predictoras, mostraron la correlación más alta con los valores de turbidez. El modelo aplicado para representar la distribución espacial de la turbidez indicó que la presa La Boquilla presentaba los valores más elevados, los cuales se relacionaban con la suspensión de sedimentos aportados por cauces efímeros que recorren todo el embalse.

Rivera Ruiz (2020), en su tesis: *"Estimación de parámetros de calidad de agua en la Laguna Santa Elena usando imágenes satelitales",* menciona que empleó modelos existentes y que desarrolló modelos empíricos utilizando datos de los sensores Landsat 8 OLI y Sentinel 2 MSI, corregidos atmosféricamente mediante el método MAIN y datos en sitio. Estos modelos permitieron estimar los valores de clorofila-a, turbidez y transparencia. Los modelos con las mejores correlaciones obtenidas fueron: clorofila-a (R^2 = 0.853 y RMSE = 0.503 $\mu g/L^{-1}$) y turbidez (R^2 = 0.578 y RMSE = 0.960 FNU). En el estudio se encontró que la laguna presenta una variabilidad limitada en los parámetros analizados. Sin embargo, se identificó claramente un sector con problemas de calidad de agua, caracterizado por valores elevados en todos los parámetros. Se determinó que la laguna es eutrófica, lo que destaca la necesidad de implementar un plan de manejo para evitar el deterioro de este ecosistema, que es de gran interés para la conservación ambiental.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Paulino Rojas et al. (2016), elaboraron un informe para el Instituto del Mar del Perú titulado: *"Estimación de Concentración de Clorofila-a en el lago Titicaca usando Imágenes Satelitales MERSI",* donde se utilizaron imágenes satelitales del sensor MERSI con resolución espacial de 250 metros para estimar la concentración de clorofila-a en el Lago Titicaca y se compararon con los productos de concentración de clorofila-a calibrados del MODIS (AQUA) y VIIRS (NPP), procesados por el sistema TERASCAN del IMARPE. Tres modelos de razón de bandas (MOD2-1, MOD2-2 y MOD2-3) se emplearon, utilizando valores de reflectancia de las imágenes MERSI. El análisis de los perfiles P_1 y P_2 reveló que el modelo MOD2-2 se

ajustó mejor a los valores de VIIRS y MODIS. Se obtuvo una correlación de R=0.846 en el perfil P_1, una correlación menor en el perfil P_2 (R=0.472) y una correlación óptima en el rango de 0 a 2 mg/m^3 (R=0.945). Estos resultados subrayaron la importancia de la resolución espacial de 250 metros del modelo MOD2-2 para estimar la concentración de clorofila-a en el Lago Titicaca, permitiendo identificar características que los sensores MODIS no pueden captar. Sin embargo, se destacó que los productos de MODIS y VIIRS con resolución de 1 kilómetro se saturan fácilmente, especialmente en la bahía de Puno.

Ayala Jesús y Herrera Díaz (2019), en su artículo denominado: *"Monitoreo de la calidad del agua del lago Chinchaycocha, mediante técnicas de teledetección espacial"*, introducen algoritmos empíricos para la estimación de parámetros de calidad del agua utilizando datos del sensor OLI del satélite Landsat 8. Los algoritmos empleados fueron validados en el lago Chinchaycocha a través de campañas adicionales de campo, y arrojaron resultados satisfactorios en términos de estimación de clorofila-a y sólidos suspendidos, con correlaciones de 0.77 y 0.69, respectivamente. No obstante, se observaron algunas discrepancias al monitorear la transparencia del agua, especialmente debido a los bajos valores de este parámetro y las condiciones ventosas en la región de la sierra de Junín. Estas condiciones dieron lugar a errores relativamente significativos en la estimación de la transparencia del agua.

Quezada García (2020), en su investigación titulada: *"Uso de imágenes satelitales para determinar los parámetros de calidad del agua en los ríos amazónicos Neshuya y Aguaytía – Perú",* señala que el objetivo principal fue demostrar la capacidad de las imágenes satelitales para estimar los indicadores de calidad del agua en los ríos Neshuya y Aguaytía. Los parámetros evaluados incluyeron la Demanda Bioquímica de Oxígeno (BOD), la Demanda Química de Oxígeno (COD), el Carbono Orgánico Total (TOC), el Índice de Permanganato (CODmn) y el Nitrógeno Amoniacal. El análisis reveló que BOD, COD y TOC presentaban una correlación perfecta con la reflectancia de la imagen, lo que significa que es posible determinar los indicadores de calidad del agua mediante el uso de imágenes satelitales. La autora también menciona que, aunque la técnica utilizada es valiosa y relevante, no se puede reemplazar por completo los métodos tradicionales debido a que ciertos parámetros de la calidad del agua, como los metales pesados, nitratos, fosfatos y contaminantes orgánicos no pueden determinarse a través de la teledetección.

Estrada Abanto y Macahuachi Rojas (2023), en su tesis: *"Análisis del comportamiento espacial de la concentración de clorofila-a, sólidos suspendidos totales y transparencia en la laguna Yarinacocha con imágenes satelitales, Ucayali 2022",* emplearon imágenes satelitales y observaciones en el terreno para desarrollar ecuaciones empíricas o algoritmos para

obtener información sobre los valores de los parámetros en estudio. La metodología aplicada consistió en analizar las firmas espectrales y realizar regresiones y correlaciones entre los valores de los parámetros de calidad del agua y la reflectividad superficial derivada de las imágenes satelitales de Sentinel 2a. Así mismo, utilizaron el método de sustracción de objetos oscuros para corregir las imágenes satelitales de Sentinel 2a en términos atmosféricos. En los resultados, se observa que no fue posible desarrollar una ecuación empírica para la clorofila-a, debido a que su concentración en la laguna no supera el límite de detección del método de análisis en laboratorio. Para los sólidos suspendidos totales, se logró establecer una ecuación empírica de segundo grado que representa la relación de bandas B5/B2 con un coeficiente de determinación R^2 de 0.99. En la transparencia, se obtuvo un modelo tribanda que involucra la relación de bandas B4 - ½ (B11 + R2) con un R^2 de 0.98. Los resultados fueron comparados con los estándares de calidad del agua establecidos en la normativa peruana vigente, y se encontró que el 10.4% de la laguna supera los 25 mg/l de concentración de sólidos suspendidos totales. En cuanto a la clorofila-a, según los puntos muestreados, los valores se mantienen por debajo de los límites establecidos en la normativa.

Actualmente, el Gobierno Regional de Ucayali y Autoridad Regional Ambiental (GOREU & ARA, 2023), se encuentran desarrollando un proyecto denominado: *"Recuperación del servicio de conservación de la flora y fauna silvestre de las lagunas de Cashibococha, Shanshococha y Huitococha, del distrito de Yarinacocha, región Ucayali",* que tiene por objetivo principal realizar estudios de las comunidades biológicas en las lagunas antes mencionadas, a fin de contribuir a la recuperación y conservación de las poblaciones de peces, seguridad alimentaria e ingreso económico a las poblaciones ribereñas. Respecto a la laguna Cashibococha, en el informe se menciona que, se observó un valor mínimo de transparencia durante la temporada de máxima vaciante, que fue de 6 cm, siendo así, el registro más bajo. En contraste, durante la temporada de máxima creciente, se alcanzó la mayor transparencia, llegando a 77.6 cm.

2.2. Base teórica

2.2.1. Calidad del agua

Una de las principales preocupaciones en cuanto a la calidad del agua es la presencia de contaminantes que pueden afectarla de diferentes maneras, desde alterar su sabor y apariencia hasta representar riesgos para la salud humana y los ecosistemas acuáticos.

Según la Organización de las Naciones Unidas (2014), la evaluación de la calidad del agua implica la comparación de las propiedades físicas y químicas de una muestra de agua con pautas o estándares de calidad. Estas directrices generalmente se fundamentan en

niveles de toxicidad que han sido científicamente validados tanto para los seres humanos como para los organismos acuáticos.

El instrumento de gestión ambiental utilizado para medir la calidad del agua en el territorio peruano se denomina Estándar de Calidad Ambiental (ECA-Agua), aprobado mediante DS N° 004-2017-MINAM. La calidad del agua en el Perú implica comparar los resultados de diversos parámetros físicos, químicos y biológicos con los estándares definidos en el ECA-Agua, según la clasificación específica del cuerpo de agua en cuestión. Esta comparación permite determinar si se cumplen o no las normas establecidas, identificando de manera particular los parámetros críticos y sus concentraciones asociadas (Autoridad Nacional del Agua, 2016).

De acuerdo con la Clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales (Autoridad Nacional del Agua, 2018), la laguna Cashibococha se encuentra clasificada en la Categoría 4 (Conservación del ambiente acuático). En la tabla 1 se observan los parámetros que se trabajan en esta investigación:

Tabla 1.

Parámetros de calidad del agua.

CATEGORÍA 4		
Parámetros	**Unidad de medida**	**E1: Lagunas y Lagos**
Clorofila-a	mg/L	0.008
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25

Fuente. DS N° 004-2017-MINAM

2.2.2. Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales (SST) son un indicador de calidad de cualquier muestra de agua. La literatura hace referencia que, de manera general, las lagunas que poseen mayor concentración de SST tienen una calidad de agua más baja a comparación de aquellas que presentan menor concentración de SST, que muestran una calidad de agua alta. Como resultado de los procesos combinados de erosión y transporte fluvial, los SST (medidos a través de filtros de poro de 0.45 µm o 0.5 µm) es una de las características más variables de la calidad del agua (Chapman, 1992).

La Organización Mundial de Meteorología (2012), define a los SST como el “total de materia en suspensión en una muestra de agua por unidad de volumen o unidad de peso de agua” (p. 352). La concentración de sólidos suspendidos totales incluye partículas muertas, inertes y degradadas (Ayala Jesús & Herrera Díaz, 2019).

Las concentraciones elevadas de SST mayor a 1000 mg L^{-1} pueden tener un fuerte impacto en la calidad del agua, ya que reducen la cantidad de luz que llega al agua y pueden acortar la vida útil de los cuerpos de agua debido a la acumulación de partículas en suspensión. Estos niveles de SST y sus variaciones afectan de manera significativa en la vida acuática, desde el fitoplancton hasta los peces. Los partículas suspendidas totales, especialmente cuando son de pequeño tamaño (<63µm), puede transportar una variedad de sustancias dañinas o tóxicas (Kulkarni, 2011).

La teledetección permite medir los valores de sólidos suspendidos en una laguna al capturar y analizar la radiación reflejada por la superficie del agua en diferentes bandas espectrales. Los algoritmos específicos se utilizan para relacionar esta información espectral con los valores de sólidos suspendidos totales, lo que proporciona estimaciones precisas de la calidad del agua en la laguna a lo largo del tiempo y el espacio.

2.2.3. Transparencia en el agua

La transparencia del agua hace referencia a la claridad del agua, es decir, cuánta luz puede pasar a través de ella. Si el agua es transparente, la luz la atraviesa fácilmente. La transparencia del agua desempeña un papel fundamental en la evaluación de la calidad del agua, ya que refleja de manera integral la presencia de todos los elementos que pueden hallarse en el agua y las diversas relaciones que existen entre ellos (Domínguez Gómez et al., 2009).

Los cuerpos de agua transparentes permiten el crecimiento de plantas acuáticas, que son esenciales para el hábitat y la supervivencia de muchas especies acuáticas. Si el agua es opaca o turbia, puede dificultar la fotosíntesis de las plantas acuáticas y afectar negativamente a la vida acuática en general. Por lo tanto, mantener la transparencia del agua es esencial para preservar la diversidad biológica y la salud de los ecosistemas acuáticos.

La medición de la transparencia es una práctica sencilla de llevar a cabo en el terreno y, por esta razón, se incluye en numerosos programas de muestreo regulares, especialmente en cuerpos de agua como lagos y embalses, con el propósito de evaluar el grado de actividad biológica presente. Para determinar la transparencia, se utiliza un dispositivo circular conocido como disco Secchi, que se sumerge en el agua con la ayuda de un cable calibrado hasta que ya no se distingue y, luego, se hace reaparecer. La profundidad a la que desaparece y reaparece el disco se registra como la profundidad de la transparencia. El disco de Secchi típicamente tiene un diámetro de aproximadamente 20 a 30 cm, aunque el resultado no se ve afectado por las dimensiones del disco, y generalmente es de color blanco o presenta sectores blancos y negros (Chapman, 1992).

2.2.4. Clorofila

La clorofila es la tonalidad verde que exhiben ciertos seres vivos, como plantas, bacterias y algas. Este fenómeno se debe a su capacidad de captar la luz en colores como el rojo, el azul y el morado, y reflejarla en forma de color verde. Su función principal es la absorción de la energía lumínica, y esta absorción está fuertemente influenciada por su nivel y otros pigmentos (Manrique Reol, 2003).

El pigmento verde clorofila, que se encuentra en tres variantes (clorofila a, b y c), se encuentra en la mayoría de los organismos que realizan fotosíntesis. Este pigmento proporciona una forma indirecta de medir la cantidad de biomasa de algas y ofrece una indicación del nivel trófico de un cuerpo de agua. Por lo general, se incorpora en programas de evaluación de lagos y embalses y desempeña un papel crucial en la gestión del suministro de agua potable, ya que el crecimiento excesivo de algas puede hacer que el agua sea desagradable o más complicada de tratar (Chapman, 1992).

Así mismo, el desarrollo de algas planctónicas en un cuerpo de agua está estrechamente vinculado a factores como la disponibilidad de nutrientes (principalmente nitratos y fosfatos), la temperatura y la exposición a la luz. Por lo tanto, las concentraciones de clorofila experimentan variaciones estacionales y, a veces, incluso diarias, además de depender de la profundidad del agua, en función de las condiciones ambientales. En cuerpos de agua con bajos niveles de nutrientes, como los lagos oligotróficos, las concentraciones de clorofila suelen ser reducidas, generalmente por debajo de 2,5 $\mu g/l^{-1}$. En contraste, en aguas ricas en nutrientes, especialmente en cuerpos de agua clasificados como eutróficos, se observan niveles elevados de clorofila, que oscilan entre 5 y 140 $\mu g/l^{-1}$, aunque ocasionalmente se pueden encontrar niveles aún más altos, superiores a 300 $\mu g/l^{-1}$ (Chapman, 1992).

Clorofila-a

La clorofila-a es el pigmento fotosintético principal presente en microalgas (fitoplancton), algas y cianobacterias, lo que la convierte en una herramienta valiosa para estimar la cantidad de estos organismos fotosintéticos en cualquier masa de agua. Además, se utiliza como un indicador biológico para evaluar la contaminación en entornos acuáticos (Monge Pineda, 2015).

La clorofila-a presenta una coloración verde intensa debido a su capacidad de absorber fuertemente la luz en las regiones roja y azul del espectro electromagnético, lo que hace que la luz reflejada y transmitida aparezca como verde azulado. La clorofila-a es ampliamente utilizada para evaluar la cantidad de fitoplancton y el estado de los nutrientes en el agua, y se considera un indicador clave de la calidad del agua. Las concentraciones de

clorofila-a también son útiles para determinar el nivel trófico de un cuerpo de agua (Kulkarni, 2011).

2.2.5. Fundamentos de la teledetección espacial

Chuvieco (1995), conceptualiza a la teledetección espacial como: “aquella técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales” (p. 27), por lo que, es posible recopilar datos sin tener contacto físico con el objeto o área de interés. Este método se ha vuelto cada vez más popular en diversos campos, incluidas las ciencias ambientales, la agricultura y la geología, ya que permite el análisis de grandes áreas y el seguimiento de los cambios a lo largo del tiempo.

En un sistema de teledetección existen componentes que sirven para capturar, procesar y analizar la radiación electromagnética reflejada o emitida por la superficie terrestre. Esta radiación se utiliza para obtener información sobre la superficie terrestre, como su cobertura vegetal, su uso del suelo, su temperatura o su humedad.

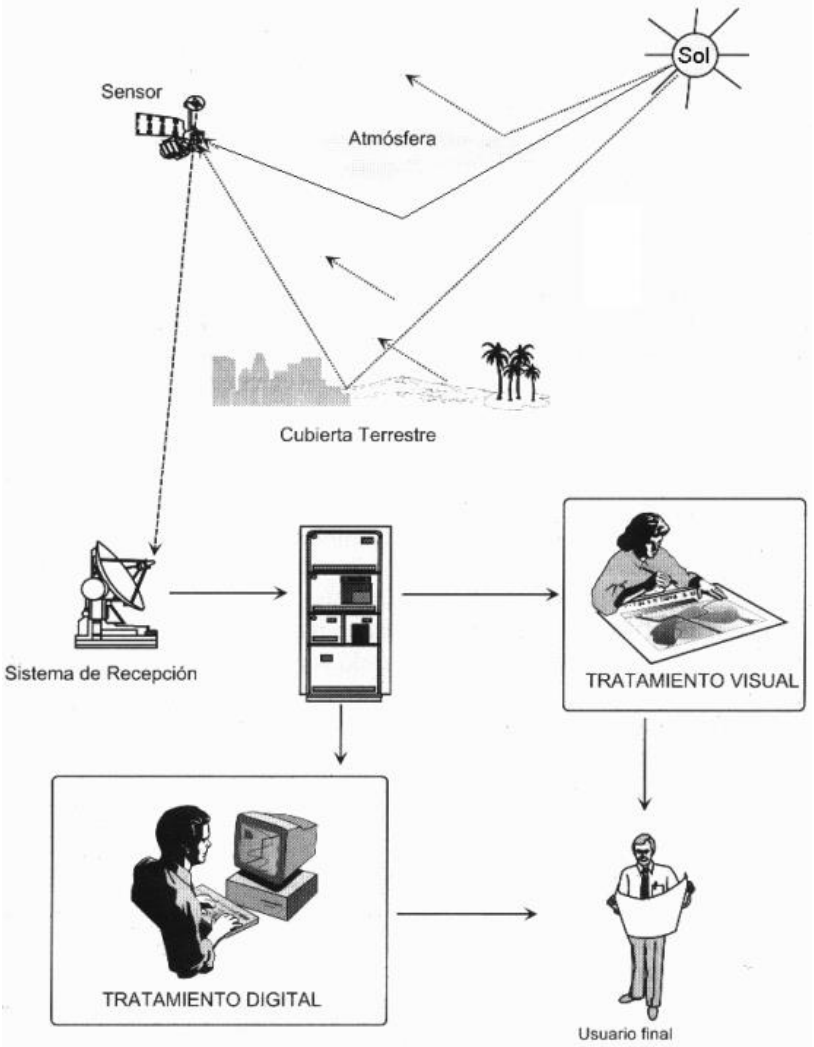
Los componentes de un sistema de teledetección comprenden:

i. Fuente de energía: es la que “ilumina” el objetivo emitiendo una onda electromagnética. Existen fuentes de energías natural o pasivo y artificial o activo.
ii. Cubierta terrestre: referida a la vegetación, suelo, agua, construcciones humanas, que captan la señal energética procedente de la fuente de energía para reflejarla o emitirla en función a sus características físicas.
iii. Sistema sensor: capta la energía procedente de la cubierta terrestre, para codificar y grabar o enviar al sistema de recepción. Se compone por el sensor y la plataforma que lo sustenta.
iv. Sistema de recepción-comercialización: recibe la información transmitida por la plataforma, se graba en un formato adecuado y, después de las correcciones, se distribuye a los intérpretes.
v. Intérprete: analiza la información (usualmente en imágenes analógicas o digitales), convirtiéndola en una clave temática o cuantitativa, orientada a facilitar la evaluación del problema en estudio.
vi. Usuario final: es el encargado de analizar el documento derivado de la interpretación, y de dictaminar las consecuencias que de él se deriven.

En la Figura 1 se observan los componentes de un sistema de teledetección y su funcionamiento.

Figura 1.

Componentes de un sistema de teledetección



Nota. Tomado de *Fundamentos de la Teledetección Espacial 2da edición* (p. 26), por E. Chuvieco S. 1995, RIALP S.A.

El objetivo de la teledetección es comprender la interacción entre la energía electromagnética (EM) y la superficie para mejorar la extracción de información relevante de las imágenes. Se pueden analizar tres métodos para detectar información sobre un objeto: mediante reflexión, emisión o una combinación de ambas. El sensor del satélite captura la energía electromagnética reflejada y luego transmite esta señal a una estación receptora (Chuvieco, 2016)

2.2.6. Espectro electromagnético

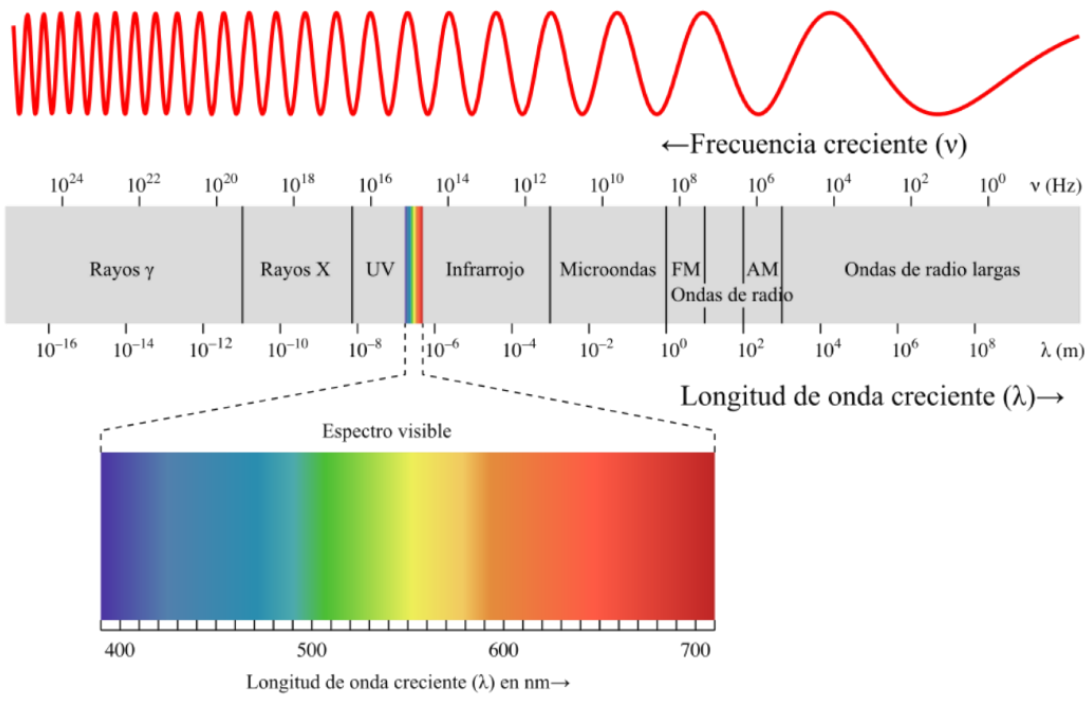
Cualquier forma de energía radiante puede ser caracterizada según su longitud de onda o frecuencia. A pesar de que la longitud de onda abarca una serie continua de valores, a menudo se establecen diferentes bandas donde la radiación electromagnética muestra un

comportamiento similar. La organización de estas bandas de longitud de onda o frecuencia se conoce como espectro electromagnético, que se extiende desde longitudes de onda muy cortas, como los rayos gamma y rayos X, hasta longitudes de onda extremadamente largas utilizadas en telecomunicaciones (Chuvieco, 1995).

En el contexto de la teledetección, se emplean varias regiones espectrales para la observación, que incluyen la región visible (VIS) que abarca de 0,4 a 0,7 µm y se divide en subregiones que cubren el espectro visible, como el azul (0,4–0,5 µm), el verde (0,5–0,6 µm) y el rojo (0,6–0,7 µm). La región del infrarrojo cercano (NIR) abarca de 0,7 a 1,2 µm. La región del infrarrojo medio (MIR) se extiende desde 1,2 µm hasta 8 µm. La región del infrarrojo térmico (TIR) cubre de 8 a 14 µm. Y la región de microondas (MW) se encuentra en frecuencias más bajas (Chuvieco, 1995). En la Figura 2 se muestra la representación gráfica del espectro electromagnético.

Figura 2.

Representación gráfica del espectro electromagnético



Nota. Tomado de *Espectro electromagnético con la franja de luz visible ampliada en la parte inferior,* de Philip Ronan, 2016, Gaia Ciencia, CC 3.0

2.2.7. Datos del Satélite Landsat 9

Landsat 9 es el último satélite de la serie Landsat. Cuenta con dos instrumentos, el Operational Land Imager 2 (OLI-2) y el Thermal Infrared Sensor 2 (TIRS-2). Los instrumentos son similares a los del Landsat 8 y tienen una vida útil de diseño de cinco años. El OLI-2,

construido por Ball Aerospace, es un instrumento multiespectral que captura imágenes en diversas longitudes de onda, incluyendo la luz visible e infrarrojo. Introduce dos nuevas bandas para detectar nubes cirrus y mejorar las observaciones de aguas costeras. Además, transmite datos de mayor calidad, con 14 bits en lugar de 12 bits (USGS, 2019).

El TIRS-2, construido por el Goddard Space Flight Center de la NASA, detecta la radiación infrarroja térmica y permite medir temperaturas para calcular la humedad del suelo y la salud de las plantas. Se ha mejorado respecto al instrumento TIRS original al corregir problemas de luz parásita y se ha extendido su vida útil a 5 años mediante redundancias en componentes clave (USGS, 2019).

En la tabla 2 se muestra la distribución de las bandas espectrales de los sensores OLI-2 y TIRS-2.

Tabla 2.

Distribución de las bandas espectrales de los sensores OLI-2 y TIRS-2

Sensor	**Bandas Espectrales**		**Longitud de Onda (µm)**		**Resolución Espacial (m)**
OLI-2	Banda 1	Ultra blue	0.435	0.451	30
	Banda 2	Visible (Azul)	0.452	0.512	30
	Banda 3	Visible (Verde)	0.533	0.59	30
	Banda 4	Visible (Rojo)	0.636	0.673	30
	Banda 5	Infrarrojo Cercano NIR	0.851	0.879	30
	Banda 6	Infrarrojo de onda corta SWIR1	1.566	1.651	30
	Banda 7	Infrarrojo de onda corta SWIR2	2.107	2.294	30
	Banda 8	Pancromático	0.503	0.676	15
	Banda 9	Cirrus	1.363	1.384	30
TIRS-2	Banda 10	Sensor infrarrojo térmico 1	10.6	11.19	100
	Banda 11	Sensor infrarrojo térmico 1	11.5	12.51	100

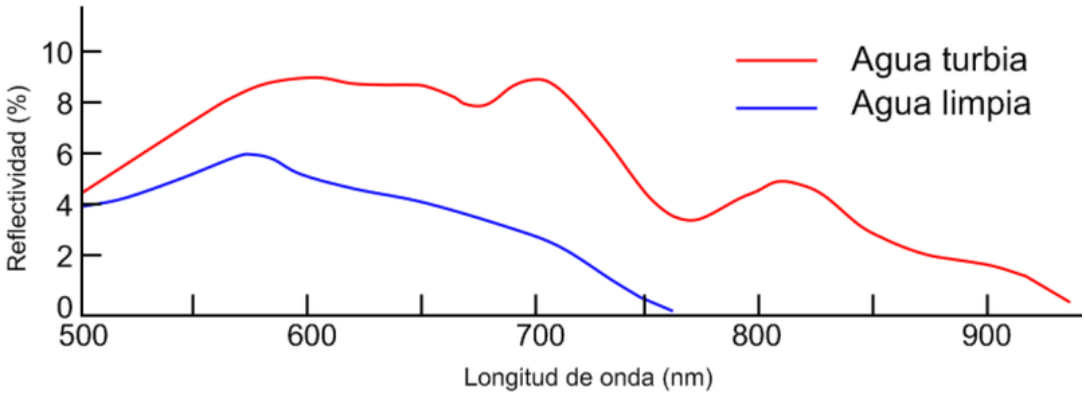
Nota. Adaptado de "*Todo lo que necesitas saber sobre Landsat 9",* por MasterGis, 2022, Copyright 2021 by MasterGis.

2.2.8. *Firmas espectrales*

La reflectancia espectral se define como la proporción de la energía incidente que una superficie refleja. Es una medida adimensional que oscila entre 0 y 1 o en porcentajes entre 0 y 100%. La reflectancia varía según la longitud de onda para una superficie específica. La representación gráfica de la reflectancia en función de la longitud de onda se conoce como firma espectral. Estas curvas espectrales permiten identificar las características espectrales de una superficie y desempeñan un papel importante en la elección de la región espectral para la adquisición de datos de teledetección en una aplicación específica (Labrador García et al., 2012).

Figura 3.

Firmas espectrales de diferentes elementos de la naturaleza.



Nota: Tomado de *Espectros de reflectividad del agua limpia y del agua turbia,* de Bartolucci et al., 1977, ResearchGate, Copyright 2023 by ResearchGate.

2.2.9. *Teledetección en sistemas acuáticos*

La teledetección se utiliza en sistemas acuáticos para obtener información sobre una amplia gama de parámetros, como la cobertura vegetal, la profundidad del agua, la temperatura del agua, la concentración de nutrientes, la presencia de contaminantes y la calidad del agua.

Las distintas coberturas de la superficie terrestre presentan propiedades de reflectancia únicas, cada elemento de la superficie terrestre exhibe una firma espectral particular (Ruiz Ramírez, 2017).

Los cuerpos de agua absorben o dejan pasar la mayoría de la radiación que reciben, y esta tendencia se acentúa a medida que la longitud de onda aumenta. La reflectancia del agua presenta un aumento en la región del espectro visible, particularmente en los tonos de verde y azul, y luego disminuye a medida que la longitud de onda aumenta desde el infrarrojo cercano (Chuvieco, 2008).

La reflectancia del agua está vinculada a factores como la profundidad del cuerpo de agua, la concentración de partículas en suspensión y la textura de su superficie. Cuando el agua es turbia, su reflectancia aumenta en todas las bandas del espectro visible, pero a mayor profundidad, disminuye debido a la reflectancia de los materiales en el fondo. La rugosidad de la superficie del agua genera una reflexión difusa que contribuye a una mayor reflectancia. No obstante, en aguas extremadamente tranquilas, la reflectancia se comporta de manera especular y está influenciada por la posición del sensor (Chuvieco, 2008).

Investigaciones de calidad del agua a través de la teledetección

El análisis de la calidad del agua implica el proceso de evaluar las propiedades químicas, físicas y biológicas de los cuerpos de agua, y detectar las posibles fuentes de contaminación que afectan negativamente la calidad del agua. La disminución en la calidad de los recursos hídricos puede originarse por la liberación de desechos, pesticidas, metales pesados, nutrientes, microorganismos y sedimentos. Se han establecido diversos criterios de calidad del agua con la intención de supervisar y limitar su contaminación, con el fin de mantener estos estándares de calidad (Gholizadeh et al., 2016).

Tabla 3.

Parámetros de calidad de agua más comunes medidos por teledetección

Parámetros de calidad de agua	**Abreviación**	**Unidades**	**Actividad Óptica**
Clorofila-a	*Cl-a*	mg/L	Activo
Profundidad del disco Secchi	*SSD*	m	Activo
Temperatura	*T*	°C	Activo
Materia Orgánica disuelta coloreada	*CDOM*	mg/L	Activo
Carbono Orgánico Total	*TOC*	mg/L	Activo
Carbono Orgánico Disuelto	*DOC*	mg/L	Inactivo
Materias suspendidas totales	*TSM*	mg/L	Activo
Turbiedad	*TUR*	NTU	Activo
Salinidad de la superficie del mar	*SSS*	PSU	Activo
Fósforo total	*TP*	mg/L	Inactivo
Orto fosfato	PO_4	mg/L	Inactivo
Conductividad eléctrica	*EC*	µs/cm	Activo

Nota. Adaptado de *A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques* (p. 7), por Gholizadeh et al. 2016, Sensors.

Relación entre teledetección y SST

Para realizar la caracterización espectral de los SST, es esencial considerar la reflectancia del agua como componente fundamental. De acuerdo con la información disponible, el agua refleja en el rango del espectro visible (400 nm - 700 nm), siendo su punto máximo de reflectancia en el rango azul (400 nm - 500 nm). Sin embargo, el agua tiende a absorber luz en el infrarrojo, y esta absorción aumenta a medida que se desplaza hacia longitudes de onda más largas en el espectro electromagnético. Es importante tener en cuenta que el agua suele estar mezclada con otras sustancias, incluyendo sólidos y materia orgánica, lo que altera su firma espectral. Esto destaca la relevancia de la espectrorradiometría para comprender las propiedades físicoquímicas del agua a través de sus firmas espectrales (Ruiz Ramírez, 2017).

En la mayoría de los casos, un incremento en los sólidos suspendidos totales (SST) conlleva un cambio en el color del agua hacia tonalidades marrones. Este cambio se debe a la dispersión de partículas en las regiones rojas e infrarrojas del espectro electromagnético, así como a la absorción pronunciada en la región azul. En la actualidad, la percepción remota se ha convertido en un método exitoso para medir los SST, permitiendo una evaluación efectiva de este parámetro (Ekercin, 2007).

Relación entre teledetección y transparencia

La transparencia del agua es una medida de la cantidad de luz solar que puede penetrar en el agua. La transparencia del agua se puede medir mediante teledetección utilizando imágenes satelitales. Los sensores de teledetección captan la radiación electromagnética reflejada por la superficie del agua. La radiación electromagnética reflejada por el agua depende de la transparencia del agua.

A medida que aumenta la transparencia del agua, más radiación electromagnética se refleja en la superficie. A medida que disminuye la transparencia del agua, menos radiación electromagnética se refleja en la superficie. Para medir la transparencia del agua mediante teledetección, se utilizan modelos empíricos que relacionan la reflectividad de la superficie del agua con la transparencia.

El método más común para medir la transparencia del agua utiliza un disco de Secchi, que se sumerge hasta que su patrón ya no es visible. Esta medida, conocida como profundidad del disco de Secchi (SD), está relacionada con la turbidez del agua y se utiliza para evaluar las condiciones tróficas (abundancia de algas) en los cuerpos de agua, excepto en casos de lagos con alta turbidez no relacionada con algas. La profundidad de Secchi es una medida óptica del agua que está asociada con los componentes en los cuerpos de agua

y muestra una correlación inversa con la cantidad de sólidos suspendidos totales (SST) (Gholizadeh et al., 2016).

Relación entre teledetección y clorofila-a

Las proliferaciones de algas, que a menudo son causadas por fenómenos de eutrofización en aguas dulces, están directamente relacionadas con la concentración de clorofila-a, ya que es esencial para la fotosíntesis. La clorofila-a se utiliza en la fotosíntesis oxigénica y se encuentra en plantas, algas y cianobacterias. Es el principal indicador del estado trófico, porque actúa como un vínculo entre la concentración de nutrientes, especialmente el fósforo, y la producción de algas. Aunque refleja principalmente el verde, absorbe la mayor parte de la energía de longitudes de onda de luz violeta-azul y naranja-roja, cuya reflectancia hace que la clorofila aparezca verde. La adición de clorofila-b además de clorofila-a amplía el espectro de absorción. Condiciones de baja luminosidad tienden a favorecer la producción, en una proporción bastante mayor, de moléculas de clorofila-b en relación con las de clorofila-a, aumentando así el rendimiento fotosintético (Gholizadeh et al., 2016).

La luz solar absorbida por el fitoplancton es utilizada para producir materia orgánica rica en energía (por fotosíntesis). A causa de la presencia de la clorofila (pigmento fotosintético) en las células del fitoplancton se forman dos picos preponderantes en el espectro de absorción, siendo el pico principal en 440 nm (azul) y el secundario en torno a 675 nm (rojo) del espectro. Los picos de absorción especificados en la actualidad son usados para la detección óptica in-situ y para el desarrollo de algoritmos bio-ópticos (Subramaniam et al., 2001).

2.2.10. Preprocesamiento de la imagen satelital

Corrección de imagen satelital

Los procesos de corrección de imágenes tienen como objetivo eliminar cualquier irregularidad detectada en la imagen, ya sea en su ubicación o en los valores digitales de los píxeles que la conforman. Estas operaciones buscan ajustar los datos para que se asemejen lo más posible a una adquisición ideal (Chuvieco, 1995).

Correcciones radiométricas

Referido a técnicas que buscan ajustar los niveles digitales originales de una imagen para que se asemejen lo más posible a una adquisición ideal. Este proceso incluye la corrección de distorsiones causadas por la atmósfera y problemas radiométricos derivados del mal funcionamiento del sensor. Además, el término también aborda la conversión entre niveles digitales y parámetros físicos como la radiancia y reflectividad, lo que implica una transformación de los niveles digitales originales (Chuvieco, 1995).

Conversión de niveles digitales a radiancia

La calibración es el proceso que se utiliza para generar productos de radiancia a partir de los niveles digitales (ND) de una imagen. Su objetivo principal es convertir los ND en unidades de radiancia, lo que permite trabajar con variables físicas en lugar de niveles digitales. La calibración es un paso importante para estimar tanto la reflectividad como la temperatura (Chuvieco, 2016).

Conversión de radiancia a reflectividad

La conversión de radiancia a reflectividad en imágenes satelitales implica ajustar las mediciones de la intensidad de la luz para tener en cuenta los efectos atmosféricos y obtener una estimación precisa de cuánta luz es reflejada por la superficie de la Tierra. Este proceso incluye correcciones atmosféricas y calibración de sensores. La reflectividad se expresa como la capacidad de una superficie para reflejar la luz incidente y se utiliza para crear imágenes que representan cómo diferentes áreas reflejan la luz en diversas longitudes de onda. Las reflectividades aparentes se calculan en el techo de la atmósfera (TOA) y asumen que el sensor que observa la Tierra a través de una atmósfera transparente, en el ángulo nadir y sobre superficies planas y lambertianas perfectas (Chuvieco, 2016).

Corrección atmosférica

Los elementos presentes en la atmósfera provocan cambios en la radiación que llega a la superficie de la Tierra y en la radiación que sale de ella. Esto ocurre principalmente debido a procesos de absorción y dispersión. Para determinar la reflectividad de la superficie, es esencial eliminar los efectos atmosféricos, lo que implica estimar la transmisividad atmosférica, la irradiancia difusa y la dispersión atmosférica. Una manera de llevar a cabo esta corrección atmosférica consiste en utilizar los datos de la imagen y las características de la propia escena, como las áreas con propiedades ópticas conocidas en la superficie. Este enfoque es altamente práctico, ya que no depende de información externa o mediciones in situ, a diferencia del método propuesto por Chávez en 1975, que se basa en la radiancia observada para objetos oscuros. Este último método supone que cualquier imagen contiene áreas con materiales altamente absorbentes, donde la reflectividad debería ser cercana a cero, como ocurre en agua o sombras. Aunque el método del objeto oscuro es simple y válido para calcular el espesor atmosférico de los aerosoles, puede generar errores significativos en casos de valores de reflectividad elevados (superiores al 15%) si no se tiene en cuenta la transmisividad de la radiación incidente y reflejada (Chuvieco, 2016).

2.2.11. Laguna Cashibococha

Ubicación Política

Se ubica, a 17 kilómetros de Pucallpa, limita por el norte con la laguna Shanshococha. Por el este con el centro poblado de San José de Yarinacocha, por el sur con el distrito de Yarinacocha y laguna Shanshococha, y por el oeste con el centro poblado Santa Teresita.

Ubicación Geográfica

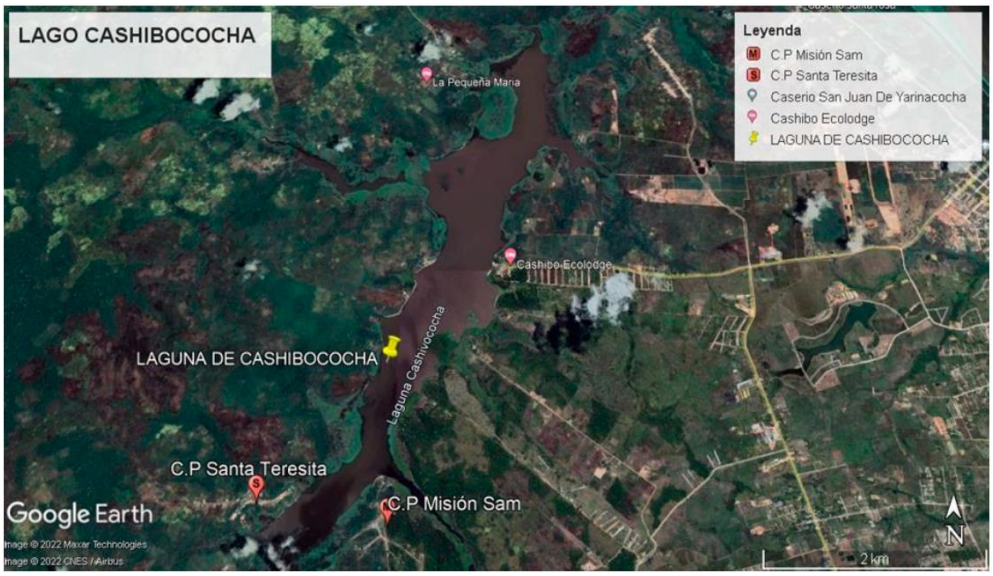
Las coordenadas de la laguna Cashibococha son 8°20′04″ latitud sur, 74°39′19” longitud oeste. Existen 3 centros poblados que se encuentran alrededor de la laguna; Lacre, comunidad nativa Santa Teresita de Cashibo y Misión Sam.

Ubicación Hidrográfica

Se ubica a 3.30 kilómetros del río Ucayali y 5,7 kilómetros del rio Aguaytía, es de origen tectónico al formarse por una depresión o subsidencia del terreno, está conformado por depósitos aluviales y fluviales. Su espejo de agua alcanza a 456 ha. en época de creciente y a 290 ha. en estiaje, tiene 6.500 km. de largo y 600 m. de ancho promedio, su temperatura en la superficie es de 31ºC, en grandes volúmenes de agua adopta una tonalidad negra, su profundidad máxima es de 19 m. Toda esta agua al llegar a la laguna sale por un solo caño denominado Caño de Cashibo, que desemboca en la laguna de Yarinacocha (GOREU & ARA, 2023).

Figura 4.

Laguna Cashibococha



Nota. Tomado de *Recuperación del servicio de conservación de la flora y fauna silvestre de las lagunas de Cashibococha, Shanshococha y Huitococha, del distrito de Yarinacocha, región Ucayali* (p. 10), de GOREU & ARAU, (2023).

Estudios realizados en la laguna Cashibococha

Riofrío et al. (2003), en el estudio denominado: *"Caracterización limnológica de la laguna Cashibococha (Ucayali – Perú) durante el año 2001"*, mencionan que, la laguna Cashibococha presenta aguas color verdoso a café oscuro, con un nivel de pH de 6-6,8, el nivel de transparencia de la laguna es de 21 a 59 cm y la temperatura superficial del agua estuvo entre 24,7 y 37 °C. Así mismo, señala que la transparencia fue mayor en época de transición-vaciante. En cuanto a fitoplancton, fueron identificada 52 especies, siendo la división Chloropytha la que presentó mayor cantidad de especies. La densidad promedio del fitoplancton fue menor en la época de transición-vaciante a transición-creciente.

Por otro lado, el GOREU & ARA (2023), en la ejecución del proyecto: *"Recuperación del servicio de conservación de la flora y fauna silvestre de las lagunas de Cashibococha, Shanshococha y Huitococha, del distrito de Yarinacocha, región Ucayali",* refieren que la laguna Cashibococha presenta un color marrón oscuro en la época de máxima vaciante, máxima creciente e inicio de vaciante; en la época de máxima creciente se determinó que presenta un color marrón claro, coincidiendo con la mayor transparencia. Además, dentro de los parámetros físicos en la laguna Cashibococha, la temperatura superficial osciló entre 29 a 32 °C entre las épocas de creciente y vaciante, el valor de la transparencia durante la época de máxima vaciante se registró con 6 cm, mientras que en la máxima creciente el registro fue de 77.60 centímetros.

2.3. Definición de Términos Básicos

- **Clorofila-a:** Pigmento fotosintético principal presente en microalgas (fitoplancton), algas y cianobacterias, lo que la convierte en una herramienta valiosa para estimar la cantidad de estos organismos fotosintéticos en cualquier masa de agua (Sobrino Navas, 2015).

  Pigmento fotosintético principal presente en microalgas (fitoplancton), algas y cianobacterias, lo que la convierte en una herramienta valiosa para estimar la cantidad de estos organismos fotosintéticos en cualquier masa de agua. Además, se utiliza como un indicador biológico para evaluar la contaminación en entornos acuáticos (Monge Pineda, 2015).
- **Firmas Espectrales:** La firma espectral es la reflectancia como una función de longitud de onda cada material tiene una firma única, por lo tanto, se puede utilizar para la clasificación de materiales (NASA, 2015).
- **Imagen Satelital:** Es la representación visual de la información capturada por un sensor montado en un satélite artificial. Estos sensores recogen información reflejada

por la superficie de la tierra que luego es enviada a la Tierra y que procesada convenientemente entrega valiosa información sobre las características de la zona representada (Chuvieco, 1995).

- **Radiancia:** total de energía radiada por unidad de área y por ángulo solido de medida (Chuvieco, 1995).
- **Reflectividad:** Porcentaje de radiación incidente que es reflejada por una superficie bidimensional (Chuvieco, 1995).
- **Teledetección:** Técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales (Chuvieco, 1995)

Capítulo III

Metodología de la Investigación

3.1. Método de investigación

El enfoque de la investigación adoptó una perspectiva cualitativa, ya que se describieron las variables en un contexto específico. Además, se llevaron a cabo análisis de las mediciones recopiladas y se derivaron diversas conclusiones.

El tipo de investigación correspondió a un enfoque no experimental transversal de carácter descriptivo correlacional, lo que significa que se examinaron fenómenos en su entorno natural sin la manipulación intencionada de variables, siguiendo la definición de Hernández et al. (2014).

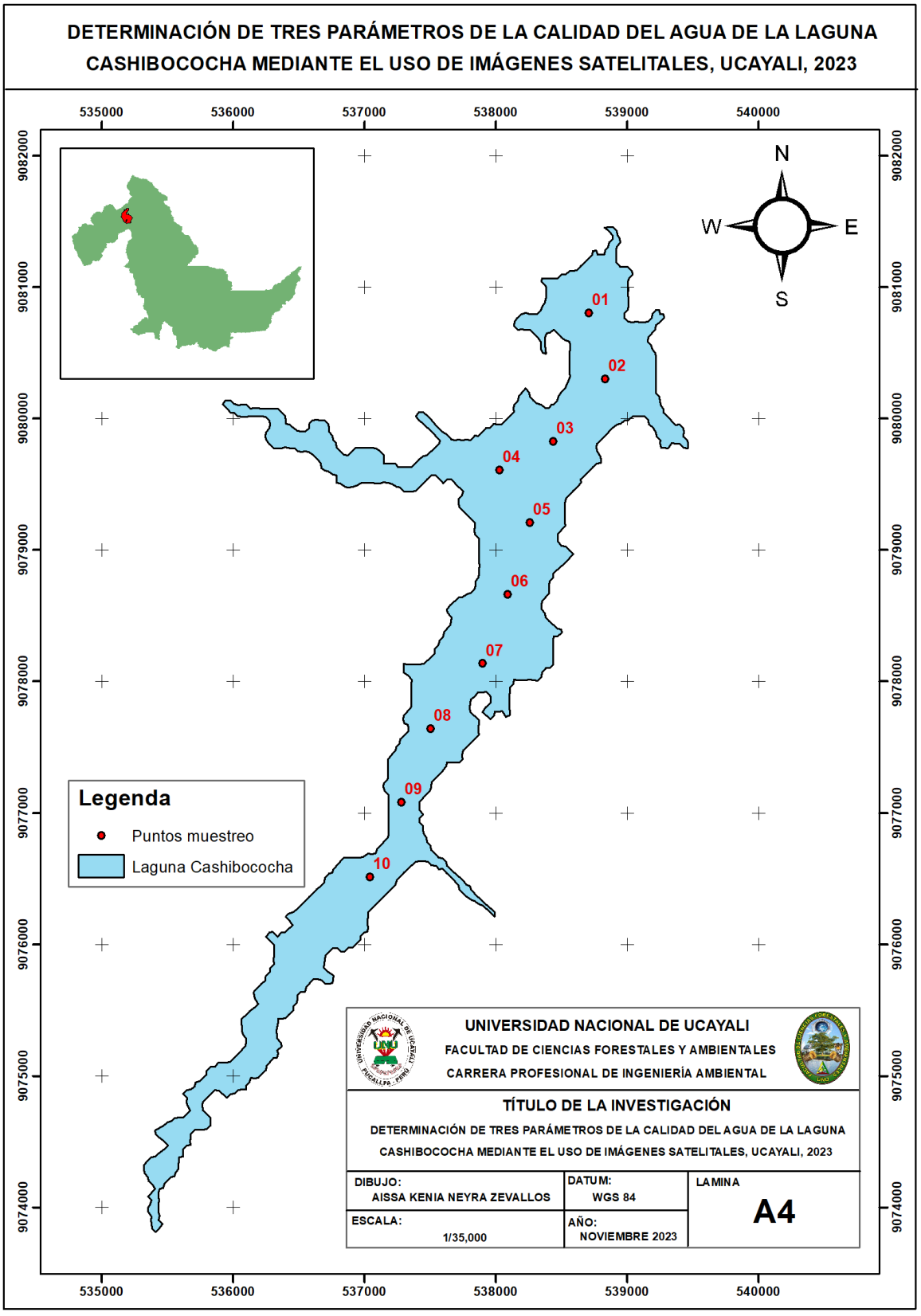
3.2. Área de estudio

Ubicada en el departamento de Ucayali, provincia Coronel Portillo, distrito Yarinacocha, en las coordenadas UTM 537,000 E y 9076,310 N. La laguna Cashibococha es de origen tectónico, su espejo de agua alcanza las 456 hectáreas en épocas de invierno y 290 hectáreas en épocas de verano. Tiene 6.5 km de largo y su ancho varía entre los 350 y 800 metros (Municipalidad Distrital de Yarina, 2017).

En la Figura 5 se presenta el mapa de ubicación de la laguna Cashibococha.

Figura 5.

Mapa de ubicación de la laguna Cashibococha



3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población de interés abarca el cuerpo de agua de la laguna Cashibococha, que posee una extensión de 458.53 hectáreas en el momento en el que se tomaron las muestras para el análisis de los parámetros fisicoquímicos. La medición de esta superficie se realizó utilizando imágenes satélites del Landsat 9 que fueron capturadas el 31 de julio 2023.

3.3.2. Muestra

Para la muestra se tomó como referencia el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, que menciona que en cuerpos de agua lénticos se deben considerar por lo menos cuatro puntos de control.

La muestra está conformada por 10 puntos distribuidos manera no probabilísticos donde se realizaron las mediciones in situ y el muestreo, para abarcar la laguna en su totalidad.

3.4. Procedimiento de recolección de datos

3.4.1. Trabajo de campo

- **Puntos de muestreo**

  Se seleccionó 10 puntos de muestreo distribuidos en toda la laguna, dichos puntos representaron la diversidad del agua de la laguna Cashibococha.

  En la Tabla 4 se muestran las coordenadas de los puntos de muestreo.

  Tabla 4.

  Puntos de muestreo

Punto de muestreo	Coordenadas		Punto de muestreo	Coordenadas	
	N	E		N	E
01	9080808	538710	**06**	9078666	538089
02	9080304	538832	**07**	9078139	537900
03	9079831	538437	**08**	9077643	537502
04	9079613	538027	**09**	9077083	537281
05	9079212	538257	**10**	9076514	537042

  La ubicación de los puntos de muestreo en la laguna Cashibococha se observa en la Figura 5 (pág. 44).

- **Toma de muestras y mediciones**

  La toma de muestras y mediciones in situ se realizó de acuerdo con el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado con resolución jefatural Nº010-2016-ANA.

  El proceso se desarrolló de la siguiente manera:

  - Se anotaron las observaciones del cuerpo de agua.
  - Los frascos fueron transportados en un cooler para evitar la contaminación.
  - Se anotaron las coordenadas UTM de los puntos de muestreo.
  - Antes de iniciar la recolección de la muestra, se llevó a cabo una verificación para asegurar que el área destinada al muestreo estuviera libre de cualquier elemento que pudiera afectar la integridad de la muestra, como ramas o residuos sólidos, entre otros.
  - Las muestras de agua fueron recolectadas y preservadas según los parámetros a analizarse.
  - Se rotularon los frascos con la información solicitada por el laboratorio.
  - Los frascos se colocaron en posición vertical en el cooler con ice pack para su refrigeración.
  - Se procedió a medir la transparencia con el Disco de Secchi.
  - Se relleno la cadena de custodia con la información recolectada en campo.
  - Las muestras de agua fueron enviadas al laboratorio para su análisis.

3.4.2. Trabajo de adquisición y preprocesamiento de la imagen satelital

- **Adquisición de imágenes de Landsat 9**

  La imagen se descargó de la agencia científica del Gobierno Federal de Estados Unidos - United States Geological Survey (https://www.usgs.gov), dichas imágenes están geométricamente corregidas. La imagen debe coincidir con la fecha en la que se realizó la toma de datos en campo y debe tener una cobertura de nubes menor al 10%. La imagen a descargar es obtenida por el sensor OLI 2 del satélite Landsat 9, del nivel uno, con una resolución espacial de 30 metros.

- **Preprocesamiento de la imagen satelital del Landsat 9**

  El preprocesamiento de la imagen satelital se realizará en el software QGIS 3.34, donde se utilizará el plugin Semi-Automatic Classification version 7.10, que es un complemento gratuito de código abierto para QGIS que nos proporciona herramientas para la descarga, el preprocesamiento y el posprocesamiento de imágenes satelitales (Congedo, 2021).

El preprocesamiento de las imágenes Landsat consistió en la calibración radiométrica y posteriormente la corrección atmosférica. La calibración radiométrica se realiza para poder convertir los datos medidos por el sensor (CD) a radiancia L (W/m-2. sr-1. µm-1) para cada banda espectral "i" (Ariza, 2013).

$$L_i = M_L * DN_L + A_L$$

Donde

L_i : Radiancia espectral del sensor

M_L : Multiplicativo para la banda i

A_L : Aditivo para la banda i.

DN_L : Es el número de cuenta digital de la imagen

Estos coeficientes de calibración se encuentran dentro del archivo metadato de la imagen. Para esta investigación se utilizó el método corrección atmosférica de Chávez o del punto oscuro, para poder calcular la reflectividad de la superficie. El método de Chávez permite obtener directamente una imagen de reflectividad de la superficie a partir de una imagen de radiancias en el sensor sin necesidad de calcular la reflectividad TOA (Techo de la atmósfera) como paso intermedio. En este método se considera que la radiación solar difusa es cero y la transmisividad atmosférica entre la superficie y el sensor es la unidad (Brizuela et al., 2007). Calculando la reflectividad de superficie mediante la siguiente ecuación:

$$P_{sup} = \frac{d^2 * \pi * (L_i - L_{camino})}{t * E_0 * \cos\theta_Z}$$

Donde

P_{sup} : Reflectividad de superficie

d : Distancia de la tierra al sol en unidades astronómicas

Li : Radiancia espectral del sensor

L_{camino} : Radiancia camino

t : Transmisividad atmosferica

E_0 : Irradiancia solar estratosférica

$Cos\theta_z$: Coseno del ángulo cenital solar.

La radiancia camino se calcula a partir de la siguiente expresión (Lim & Choi, 2015).

$$L_{camino} = L_{min} - L_{1\%}$$

Donde

L_{min} : Es radiancia TOA correspondiente al número de cuentas digitales mínimo para cada banda.

$L_{1\%}$: Es el valor de radiancia que tiene al menos el 1% de los pixeles de la imagen.

El $L_{1\%}$ se calcula como (Lim & Choi, 2015)

$$L_{1\%} = \frac{0.01 * t * E_0 * \cos\theta_Z}{d^2 * \pi}$$

Donde

d : Distancia de la tierra al sol en unidades astronómicas.

t : Transmisividad atmosférica.

E_0 : Irradiancia solar estratosférica.

$Cos\theta_z$: Coseno del ángulo cenital solar

3.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.5.1. Técnicas

La recolección de muestras y mediciones in situ se realizó de acuerdo con lo planteado en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos Superficiales. La recolección se realizó en el día y hora que pasó el satélite, el 31 de julio 2023 a las 15 horas UTC.

Para la estimación de variables de calidad del agua: sólidos suspendidos totales, transparencia y clorofila-a, se emplearon técnicas percepción remota, utilizando los datos del sensor Operational Land Imager 2 (OLI 2) del satélite Landsat 9.

3.5.2. Instrumentos

- **Para toma de puntos de muestreo.**
  Se utilizó un ***GPS MAP 66S – GARMIN*** para obtener las coordenadas UTM – Zona 18S de los 10 puntos de la zona de estudio.

- **Para toma de muestras y mediciones**
  Se utilizó un cooler para transportar los frascos al lugar de la toma de muestras.
  La recolección de muestras se llevó a cabo según el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, donde se menciona

que la muestra debe ser tomada cogiendo la botella por debajo del cuello, sumergiéndola en dirección opuesta al flujo del agua.

Los frascos con las muestras recolectadas para analizar la clorofila-a fueron envueltas con bolsas negras para evitar que la luz refleje.

Para medir la transparencia del agua se utilizó el Disco de Secchi de 30 cm de diámetro con línea de 20 m. Se sumerge el disco en cada punto de muestreo hasta que este desaparezca y se anota profundidad.

Posteriormente se rellenó la cadena de custodia con el formato solicitado por el laboratorio donde se analizarán las muestras enviadas.

Para el envío de las muestras se utilizaron Ice Packs dentro del recipiente donde se almacenaron con la finalidad de mantener una temperatura de 5 °C.

- **Para el preprocesamiento de imágenes satelitales**

  Las imágenes satelitales Landsat 9 fueron procesados con un computador i7 de 10 gth utilizando los softwares ENVI 5.3, QGIS 3.34, ArcGIS 10.8 y hoja de cálculo.

3.6. Procesamiento para la recolección de datos

Los datos obtenidos de los análisis del laboratorio fueron transferidos a una hoja de cálculo, procesados y analizados. Estos datos se usaron para hallar las regresiones y comparar cada una de las bandas multiespectrales del sensor OLI 2 de Landsat 9/LCDM y determinar la mejor correlación entre bandas.

3.7. Tratamiento de datos

En esta investigación se usó un modelo matemático de regresión lineal o ajuste lineal para poder efectuar las relaciones entre los parámetros de calidad de agua y la banda multiespectral.

La ecuación general de los modelos de regresión lineal, es la siguiente (Crawley, 2013).

$$y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \cdots + \beta_n X_n$$

Donde:

y = la variable de respuesta que se pretende estimar.

X_1 = variables predictivas (valores de reflectancia de las bandas espectrales).

α = Es el intercepto o termino constante.

β = Son todos los coeficientes o pendientes correspondientes a las variables independiente o predictivas.

El modelamiento de los parámetros se desarrolló en las propiedades ópticas que las caracterizan y pueden ser distinguidas a partir de las longitudes de onda captadas por el sensor OLI 2 de Landsat 9/LCDM.

La evaluación de modelos se realizó mediante el coeficiente de determinación (R^2), que mide la proporción de la variación de la variable de respuesta que es explicada por las variables predictivas, el R^2 se calcula como se muestra en la siguiente ecuación.

$$R^2 = \frac{(SSY - SSR)}{SSR}$$

Donde:

SSY = Es la variación total en la variable de respuesta.

SSR = Se refiere a la suma de cuadrados de los residuales.

El valor de R^2 va de 0 a 1 donde el valor de 1 corresponde a un modelo ideal que explica el 100% de la variación en de la variable respuesta, mientras un valor 0 corresponde a una completa falta de ajuste entre los valores observados y los valores estimados por el modelo.

Capítulo IV

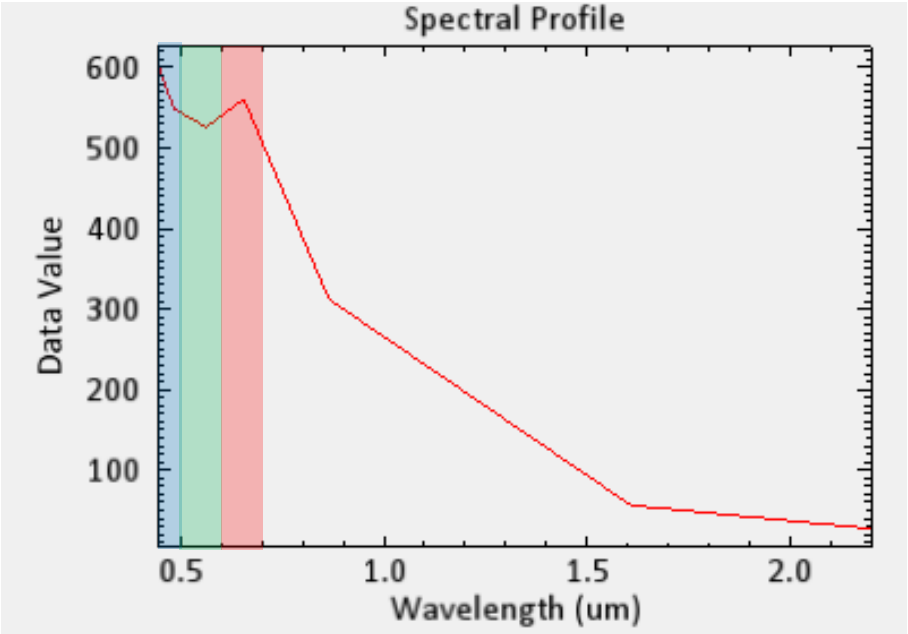
Resultados y Discusión

4.1. Sólidos suspendidos totales

La caracterización espectral es esencial para determinar los valores de sólidos suspendidos totales, y en este contexto, la reflectividad juega un papel fundamental en su comprensión. Es conocido que el agua refleja la luz visible en el rango de 400 nm a 500 nm del espectro electromagnético, siendo su máxima reflectividad el rango de la banda azul. Sin embargo, en la laguna Cashibococha, se observan valores de reflectividad más altos en el espectro visible en comparación con el agua clara, como se muestra en la Figura 6 y se detalla en la Tabla 5, que presenta la reflectividad para cada banda espectral.

Figura 6.

Firma espectral de la laguna Cashibococha



Los elevados niveles de reflectividad observados en la laguna Cashibococha pueden atribuirse a factores como la poca profundidad, la presencia de sólidos, materia orgánica y otras sustancias que afectan su firma espectral. Esto se encuentra en concordancia con la afirmación de Ruiz Ramírez (2017), que sostiene que para comprender las propiedades fisicoquímicas del agua es crucial analizar sus firmas espectrales.

Tabla 5.

Valores de sólidos suspendidos totales y la reflectividad de las bandas multiespectrales.

Muestras	SST mg/L	Banda_2	Banda_3	Banda_4	Banda_5	Banda_6	Banda_7
Muestra 1	15.60	0.03790	0.04267	0.05049	0.03855	0.01412	0.01216
Muestra 2	14.80	0.03743	0.04183	0.04958	0.03615	0.01347	0.01190
Muestra 3	11.60	0.03753	0.04173	0.04966	0.03493	0.01321	0.01154
Muestra 4	18.50	0.03886	0.04275	0.04833	0.04890	0.01493	0.01245
Muestra 5	16.80	0.03730	0.04233	0.05091	0.03500	0.01295	0.01123
Muestra 6	10.40	0.03672	0.04082	0.04882	0.03347	0.01261	0.01130
Muestra 7	26.50	0.03714	0.04048	0.04757	0.03393	0.01313	0.01133
Muestra 8	19.50	0.03829	0.04131	0.04752	0.03545	0.01383	0.01193
Muestra 9	17.20	0.03631	0.03897	0.04462	0.03537	0.01490	0.01232
Muestra 10	13.20	0.03438	0.03722	0.04163	0.03135	0.01425	0.01201

De acuerdo con los análisis presentados en la Tabla 6, se registraron valores mínimos y máximos de 11.60 mg/L y 26.50 mg/L, respectivamente. Estos valores, obtenidos in situ, indican un cambio en el color del agua, como se observa en la laguna Cashibococha, que presenta un tono marrón oscuro durante el periodo de vaciante, en consonancia con el informe del GOREU & ARA, (2023). Este cambio de color sugiere una dispersión de partículas en las regiones del rojo y una absorción de luz en el infrarrojo, fenómeno que se intensifica a medida que se desplaza hacia las longitudes de onda más largas del espectro electromagnético. Este comportamiento, mencionado por Ekercin (2007), subraya la eficacia de la percepción remota como un método exitoso para medir los SST, permitiendo así una evaluación efectiva de este parámetro.

Tabla 6.

Análisis de las muestras tomadas en campo de sólidos suspendidos totales

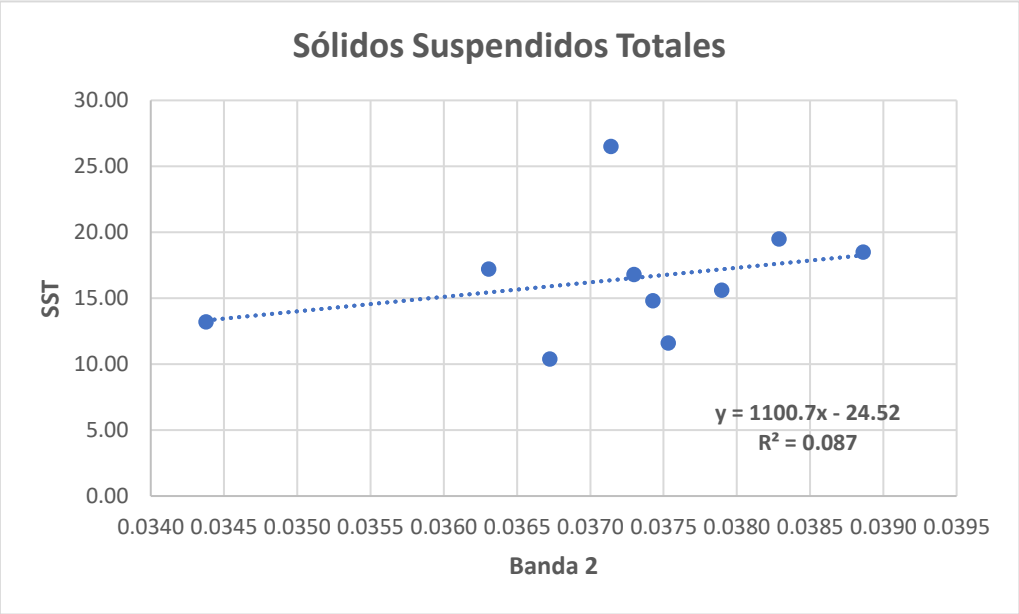
Muestras	Este	Norte	SST mg/L
Muestra 1	538710	9080808	15.60
Muestra 2	538832	9080304	14.80
Muestra 3	538437	9079831	11.60
Muestra 4	538027	9079613	18.50
Muestra 5	538257	9079212	16.80
Muestra 6	538089	9078666	10.40
Muestra 7	537900	9078139	26.50
Muestra 8	537502	9077643	19.50
Muestra 9	537281	9077083	17.20
Muestra 10	537042	9076514	13.20

El análisis de laboratorio revela que el valor que supera los límites aceptables, según el DS N° 004-2017-MINAM, es la muestra 7, con una concentración de 26.50 mg/l de SST. Si esta concentración de SST se encuentra en toda la laguna Cashibococha, podría afectar su calidad al reducir la cantidad de luz que alcanza el agua, acortando así su vida útil debido a la acumulación de partículas en suspensión. Este impacto significativo en la vida acuática concuerda con las observaciones de Kulkarni (2011).

Estas concentraciones elevadas pueden atribuirse a procesos de erosión y transporte fluvial, especialmente relacionados con el tráfico de botes turísticos, como señala Chapman (1992). De acuerdo con sus afirmaciones, las lagunas con mayores concentraciones de SST tienden a tener una calidad de agua inferior en comparación con aquellas con menores niveles de SST, que presentan una calidad del agua más alta.

Figura 7.

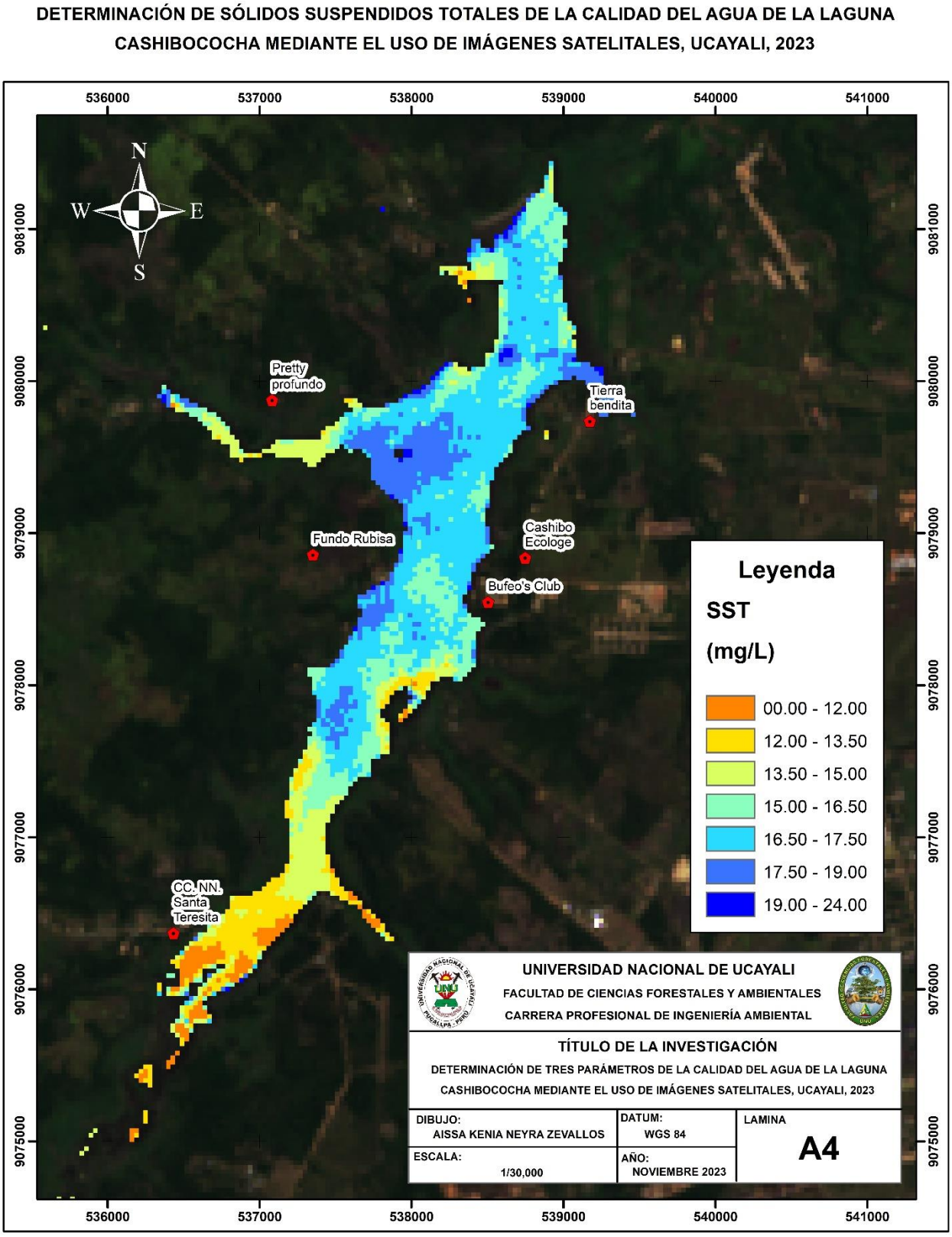
Regresión lineal de SST en la banda 02 de la laguna Cashibococha



La regresión lineal que mostró un mejor rendimiento en relación con las bandas multiespectrales fue la banda B2. Esta banda, correspondiente al rango azul, tiene una longitud de onda que guarda una relación directa con la concentración de sólidos suspendidos totales. Como resultado, se presenta la ecuación empírica correspondiente: a + b * OLI 2. Los coeficientes de regresión para esta ecuación son 1100.7 y 24.52, con un coeficiente de correlación de 0.087, establecido a partir de la comparación de los datos de campo con los datos obtenidos del sensor.

Figura 8.

Mapa de valores de SST en la laguna Cashibococha.

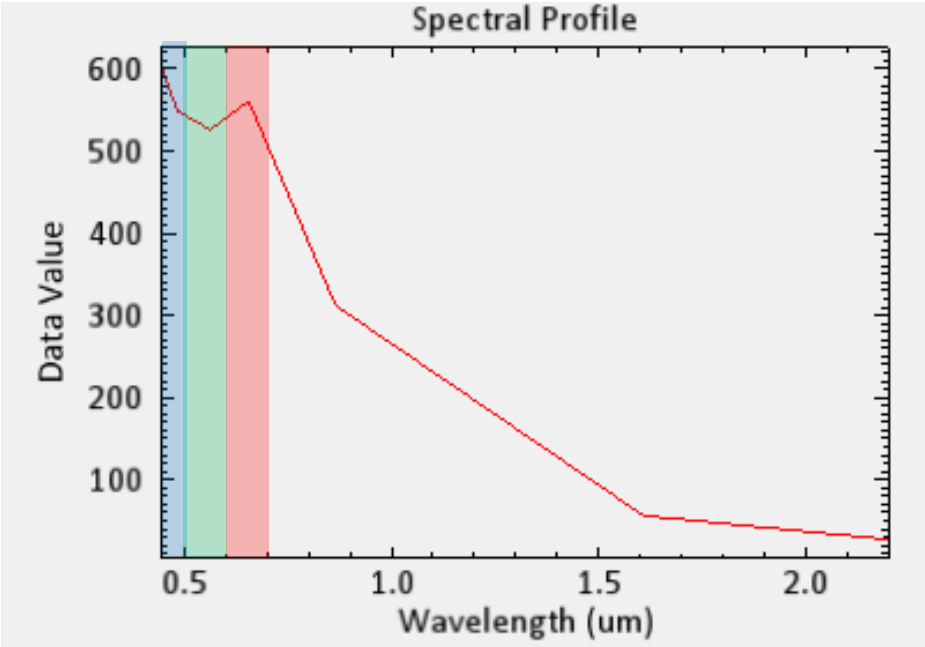


4.2. Transparencia del agua

La reflectividad en la laguna Cashibococha aumenta debido a la presencia de materiales en suspensión. Además, cuando el agua muestra turbidez, la respuesta espectral difiere de la que se observa en aguas claras, experimentando modificaciones en regiones específicas del espectro. Estas variaciones se ilustran en la Figura 9 y se detallan en la Tabla 7.

Figura 9.

Firma espectral de la laguna Cashibococha



La baja transparencia del agua en la laguna Cashibococha, indicada por su falta de claridad, sugiere que hay una cantidad limitada de luz que logra pasar a través de ella. Esta limitación dificulta la evaluación integral de la calidad del agua, ya que la transparencia no refleja de manera completa la presencia de todos los elementos y su relación mutua. Este aspecto ha sido destacado previamente por Domínguez Gómez et al. (2009).

Tabla 7.

Valores de transparencia y su reflectividad de las bandas multiespectrales

Muestras	SD	Banda 02	Banda 03	Banda 04	Banda 05	Banda 06	Banda 07
Muestra 1	0.45	0.03790	0.04267	0.05049	0.03855	0.01412	0.01216
Muestra 2	0.47	0.03743	0.04183	0.04958	0.03615	0.01347	0.01190
Muestra 3	0.57	0.03753	0.04173	0.04966	0.03493	0.01321	0.01154
Muestra 4	0.46	0.03886	0.04275	0.04833	0.04890	0.01493	0.01245
Muestra 5	0.60	0.03730	0.04233	0.05091	0.03500	0.01295	0.01123
Muestra 6	0.55	0.03672	0.04082	0.04882	0.03347	0.01261	0.01130
Muestra 7	0.44	0.03714	0.04048	0.04757	0.03393	0.01313	0.01133
Muestra 8	0.51	0.03829	0.04131	0.04752	0.03545	0.01383	0.01193
Muestra 9	0.47	0.03631	0.03897	0.04462	0.03537	0.01490	0.01232
Muestra 10	0.53	0.03438	0.03722	0.04163	0.03135	0.01425	0.01201

Los análisis de la Tabla 8 revelaron valores de transparencia dentro de la laguna Cashibococha que oscilan entre 0.44 m y 0.60 m. Es relevante señalar que Riofrío et al. (2003), encontraron niveles de transparencia en la laguna que variaban entre 0.21 a 0.59 m, mientras que el informe del ARAU (2023), registró un valor mínimo de 0.06 m de transparencia durante la temporada de máxima vaciante, siendo este el registro más bajo.

Tabla 8.

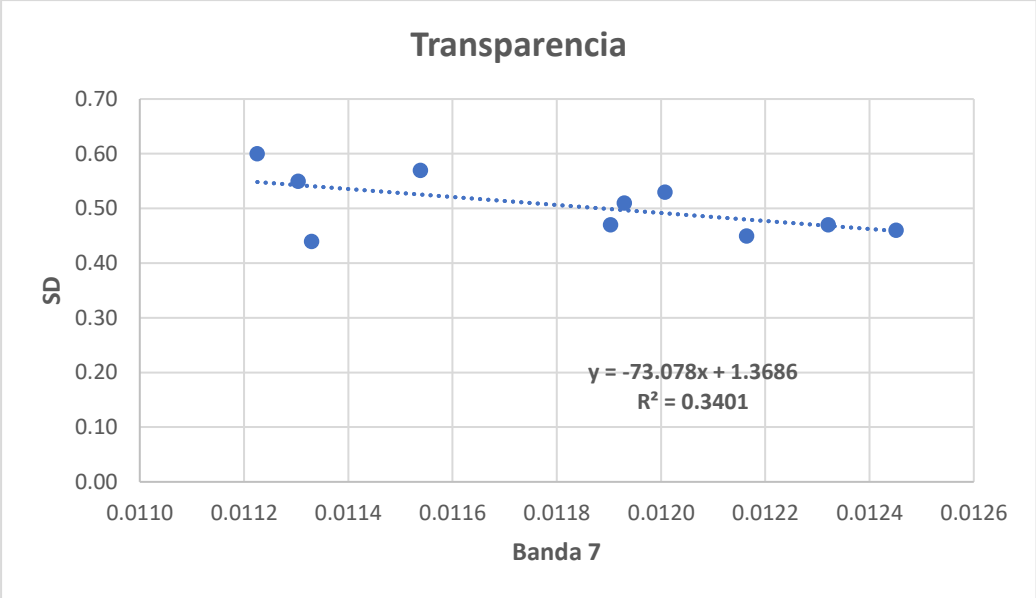
Análisis de las muestras tomadas en campo de transparencia.

Muestras	Este	Norte	Transparencia (m)
Muestra 1	538710	9080808	0.45
Muestra 2	538832	9080304	0.47
Muestra 3	538437	9079831	0.57
Muestra 4	538027	9079613	0.46
Muestra 5	538257	9079212	0.60
Muestra 6	538089	9078666	0.55
Muestra 7	537900	9078139	0.44
Muestra 8	537502	9077643	0.51
Muestra 9	537281	9077083	0.47
Muestra 10	537042	9076514	0.53

Las mediciones realizadas en el campo en la laguna Cashibococha, donde se observa un agua opaca o turbia, indican la dificultad que enfrentan las plantas acuáticas para llevar a cabo la fotosíntesis, lo cual tiene un impacto negativo en el ecosistema acuático y la diversidad biológica presente. Además, es relevante mencionar que en un estudio previo, Riofrío et al. (2003), identificaron 52 especies de fitoplancton en la laguna, siendo la división Chlorophyta la que presentó la mayor cantidad de especies.

Figura 10.

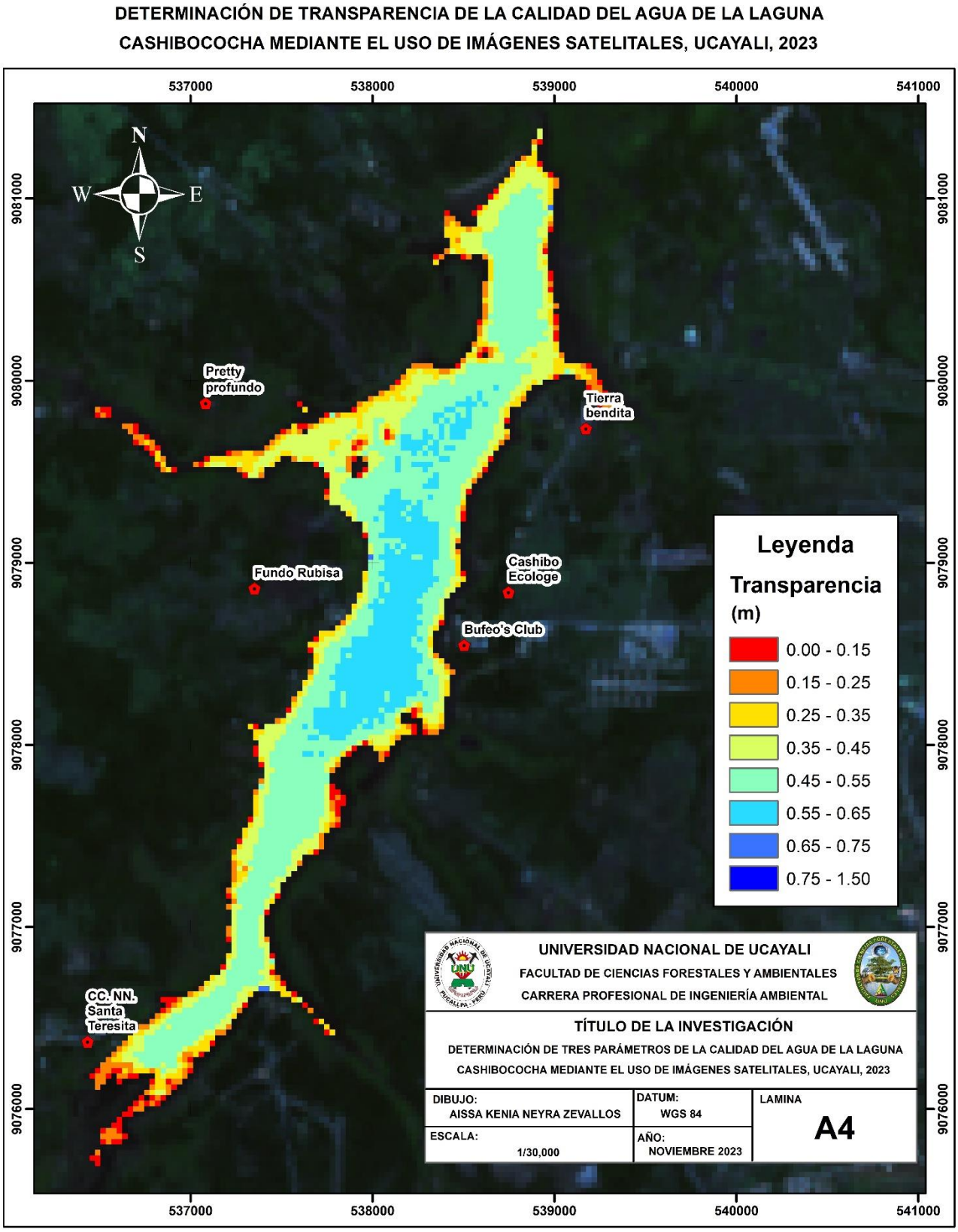
Regresión lineal de transparencia en la banda 07 de la laguna Cashibococha



La regresión lineal que mostró un mejor desempeño en relación con las bandas multiespectrales fue la banda B7. Esta banda, correspondiente al infrarrojo medio, tiene una longitud de onda que guarda una relación directa con la transparencia en la laguna Cashibococha. Como resultado, se presenta la respectiva ecuación empírica: a + b * OLI 7. Los coeficientes de regresión para esta ecuación son -73.078 y 1.3686, con un coeficiente de correlación de 0.3401, establecido a partir de la comparación de los datos de campo con los datos obtenidos del sensor.

Figura 11.

Mapa de valores transparencia en la laguna Cashibococha.



4.3. Clorofila-a

Desde el punto de vista espectral, la clorofila-a generalmente muestra un mejor comportamiento en las bandas del azul y rojo. En el caso específico de la laguna Cashibococha, se observa una mayor reflectividad en el rango del azul. Este comportamiento se encuentra en concordancia con lo planteado por Subramaniam et al., (2001), quien menciona que a causa de la presencia de la clorofila (pigmento fotosintético) en las células del fitoplancton se forman dos picos preponderantes en el espectro de absorción, siendo el pico principal en la banda azul y el secundario en la región del rojo.

Este comportamiento se ilustra en la Figura 12.

Figura 12.

Firma espectral de la laguna Cashibococha

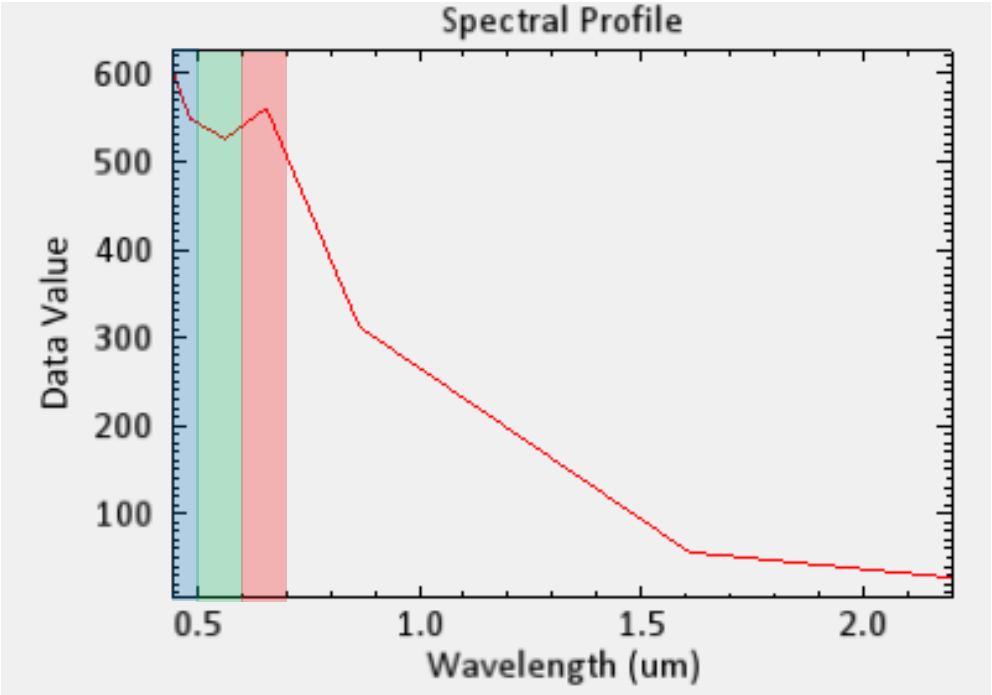


Tabla 9.

Valores de clorofila-a y su reflectividad de las bandas multiespectrales

Muestras	Clorofila-a (mg/L)	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7
Muestra 1	0.049	0.03790	0.04267	0.05049	0.03855	0.01412	0.01216
Muestra 2	0.064	0.03743	0.04183	0.04958	0.03615	0.01347	0.01190
Muestra 3	0.047	0.03753	0.04173	0.04966	0.03493	0.01321	0.01154
Muestra 4	0.058	0.03886	0.04275	0.04833	0.04890	0.01493	0.01245
Muestra 5	0.044	0.03730	0.04233	0.05091	0.03500	0.01295	0.01123
Muestra 6	0.067	0.03672	0.04082	0.04882	0.03347	0.01261	0.01130
Muestra 7	0.054	0.03714	0.04048	0.04757	0.03393	0.01313	0.01133
Muestra 8	0.069	0.03829	0.04131	0.04752	0.03545	0.01383	0.01193
Muestra 9	0.042	0.03631	0.03897	0.04462	0.03537	0.01490	0.01232
Muestra 10	0.045	0.03438	0.03722	0.04163	0.03135	0.01425	0.01201

Los análisis de la Tabla 9 revelaron valores de clorofila-a dentro de la laguna Cashibococha se encuentran entre 0.042 y 0.069 mg/L. Es importante tener en cuenta que las concentraciones de clorofila-a pueden variar a lo largo del día, en diferentes estaciones del año y a diversas profundidades, lo cual concuerda con Chapman (1992).

Tabla 10.

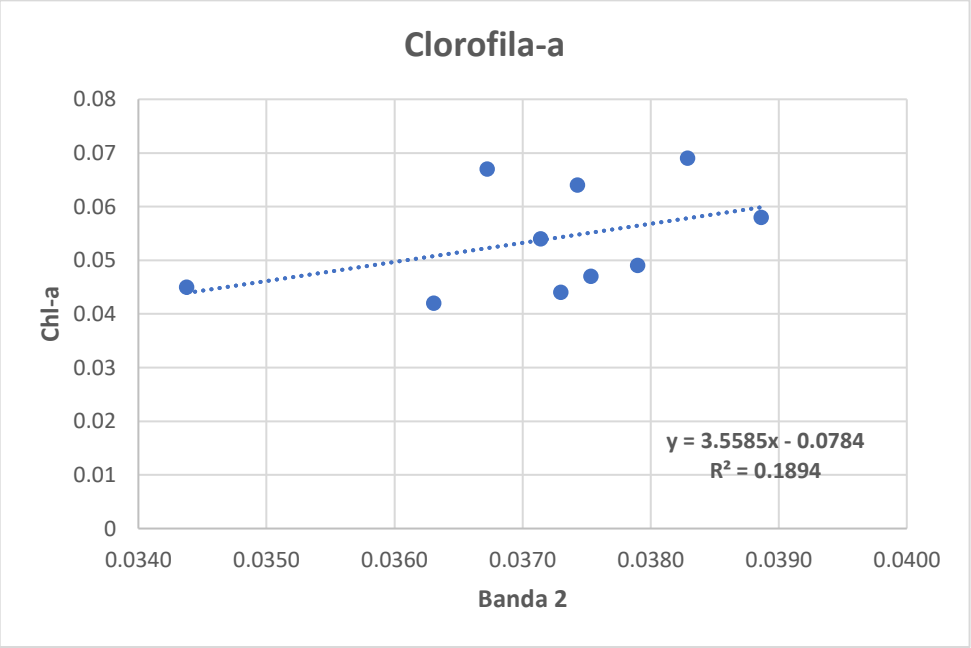
Análisis de las muestras tomadas en campo de clorofila-a

Muestras	Este	Norte	Clorofila-a mg/L
Muestra 1	538710	9080808	0.049
Muestra 2	538832	9080304	0.064
Muestra 3	538437	9079831	0.047
Muestra 4	538027	9079613	0.058
Muestra 5	538257	9079212	0.044
Muestra 6	538089	9078666	0.067
Muestra 7	537900	9078139	0.054
Muestra 8	537502	9077643	0.069
Muestra 9	537281	9077083	0.042
Muestra 10	537042	9076514	0.045

En relación con la clorofila-a, los puntos muestreados revelaron valores mínimos y máximos de 0.042 mg/L y 0.069 mg/L, respectivamente, como se detalla en la Tabla 10. Estos valores superan los límites establecidos por la normativa DS N° 004-2017-MINAM, que establece un valor aceptable de 0.008 mg/L para este indicador, niveles elevados de clorofila-a pueden sugerir una alta actividad fotosintética y una mayor presencia de nutrientes, como nitratos y fosfatos, que favorecen el crecimiento del fitoplancton. Sin embargo, en exceso, la proliferación de algas, especialmente de cianobacterias, puede conducir a problemas como la eutrofización, que afecta negativamente la calidad del agua al agotar el oxígeno y producir toxinas perjudiciales para otros organismos acuáticos y, en algunos casos, para la salud humana.

Figura 13.

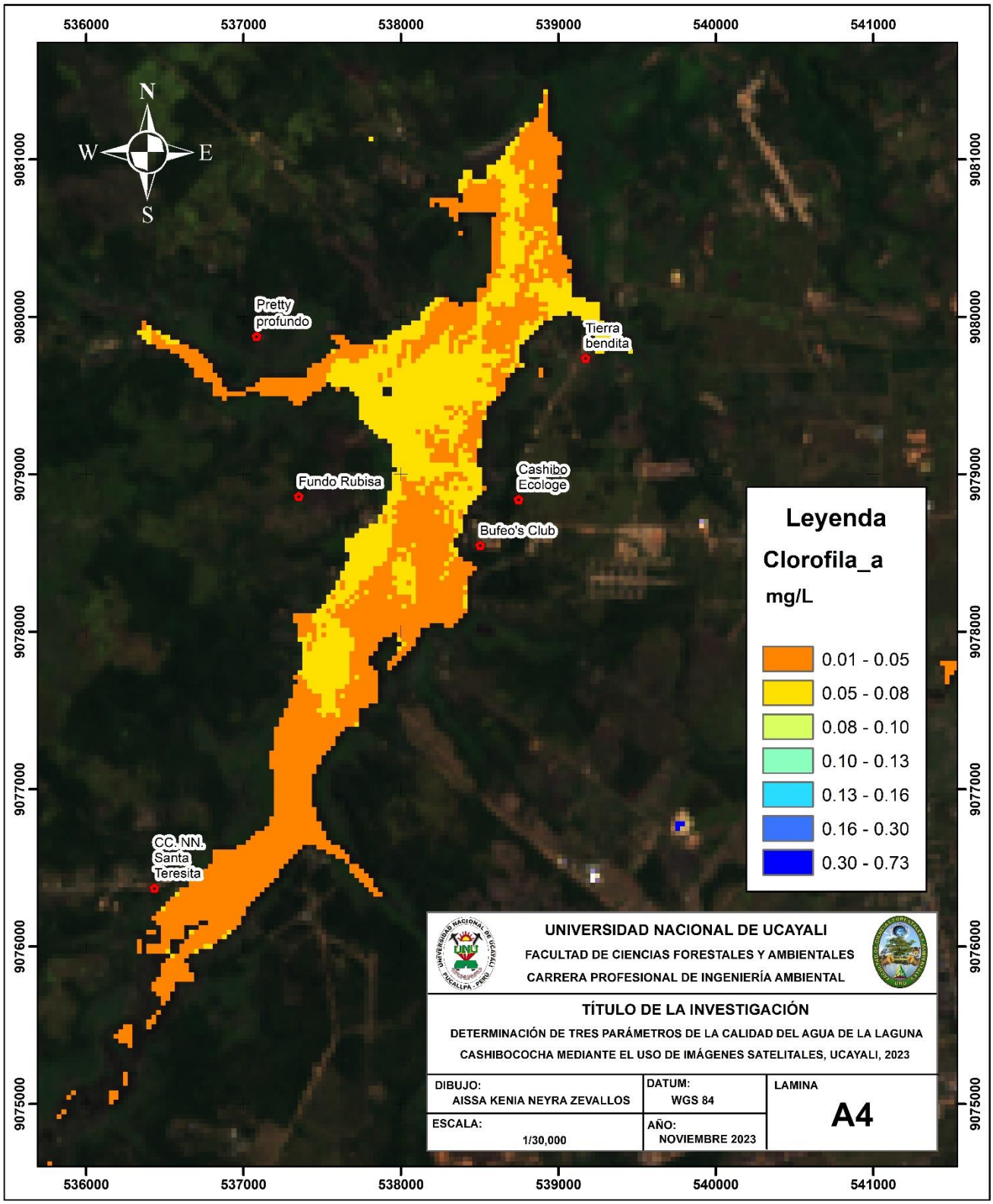
Regresión lineal de clorofila-a en la banda 02 de la laguna Cashibococha



La regresión lineal que demostró un mejor rendimiento en relación con las bandas multiespectrales fue la banda B2. Esta banda, correspondiente al rango azul, tiene una longitud de onda que guarda una relación directa con la clorofila-a en la laguna Cashibococha. Como resultado, se presenta la respectiva ecuación empírica: a + b * OLI 2. Los coeficientes de regresión para esta ecuación son de 3.5585 y 0.0784, con un coeficiente de correlación de 0.1894, según la comparación de los datos de campo con los datos obtenidos del sensor. Es relevante destacar que estos valores son inferiores a los encontrados por Ayala Jesús y Herrera Díaz (2019) quienes obtuvieron una correlación de 0.77.

Figura 14.

Mapa de valores de clorofila-a en la laguna Cashibococha



Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Para el parámetro de sólidos suspendidos totales, se observó una reflectividad elevada en la luz visible en comparación con un cuerpo de agua claro. A medida que aumenta los valores de sólidos suspendidos totales (SST), la reflectividad superficial también aumenta. En la laguna Cashibococha, los valores oscilan entre 11.60 mg/L y 26.50 mg/L, dentro de los límites aceptables según ECA-Agua. Estas variaciones se atribuyen a la presencia de materiales en suspensión. Se desarrollaron ecuaciones lineales utilizando la banda multiespectral B2 de Landsat 9 – OLI 2, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.087.

- La medición de la transparencia en la laguna Cashibococha reveló valores comprendidos entre 0.44 m y 0.60 m, indicando la presencia de materiales en suspensión que afectan la claridad del agua. Esto provoca dificultades fotosintéticas para las plantas acuáticas y afecta el ecosistema, caracterizado por una alta reflectividad. Se establecieron ecuaciones lineales utilizando la banda multiespectral B7 de Landsat 9 – OLI 2, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.3401.

- Para la clorofila-a, se determinaron valores entre 0.042 mg/L y 0.069 mg/L, superando los límites establecidos en el ECA-Agua. La reflectividad óptima en la laguna Cashibococha se encuentra en las bandas azul y rojo del espectro electromagnético. Se desarrollaron ecuaciones lineales utilizando la banda multiespectral B2 de Landsat 9 – OLI 2, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.1894.

5.2. Recomendaciones

- Establecer un programa de monitoreo continuo en la laguna Cashibococha para obtener datos en el transcurso de los años y evaluar las tendencias de los valores de clorofila-a, sólidos suspendidos totales y transparencia. Este monitoreo continuo proporcionaría una comprensión más completa de la dinámica de estos parámetros y permitiría identificar posibles cambios estacionales o tendencias a lo largo de varios años.

- Desarrollar modelos predictivos utilizando técnicas de aprendizaje automático (machine learning) para estimar los valores de clorofila-a, sólidos suspendidos totales y transparencia en la laguna Cashibococha. Estos modelos podrían incorporar variables climáticas, datos hidrológicos y otros factores relevantes para mejorar la capacidad predictiva. La implementación de modelos predictivos permitirá anticipar cambios en la calidad del agua y facilitará la toma de decisiones proactiva en la gestión de recursos hídricos.

- Llevar a cabo un análisis temporal detallado de la dinámica del fitoplancton en la laguna Cashibococha. Esto implica estudiar la variabilidad estacional y comprender mejor los patrones de floraciones algales y las posibles influencias estacionales en la calidad del agua. Un enfoque temporal más amplio permitiría identificar eventos cíclicos o cambios a largo plazo en la ecología acuática de la laguna.

- Desarrollar e implementar medidas concretas de conservación y restauración para mitigar cualquier impacto negativo en la laguna Cashibococha. Esto podría incluir la revegetación de áreas circundantes, la implementación de zonas de amortiguamiento, y prácticas agrícolas sostenibles para reducir la escorrentía de nutrientes. La aplicación de medidas de conservación contribuirá a mantener la calidad del agua a largo plazo.

- Llevar a cabo un análisis detallado de las firmas espectrales asociadas con cada uno de los parámetros que son objetos de estudio con el fin de mejorar la comprensión y precisión en la evaluación de la calidad del agua en la laguna Cashibococha.

Referencias Bibliográficas

Amado Alvarez, J., Pérez Cutillas, P., Alatorre Cejudo, L. C., Ramírez Valle, O., Segovia Ortega, E. F., & Alarcón Cabañero, J. J. (2019). Análisis multiespectral para la estimación de la turbidez como indicador de la calidad del agua en embalses del estado de Chihuahua, México. *Revista Geográfica de América Central*, *62*, 33–61. https://doi.org/10.15359/rgac.62-1.2

Ariza, A. (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Misssion). *Instituto Geográfico Agustín Codazzi*, 36–41.

Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/209

Autoridad Nacional del Agua. (2018). *Clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales*. https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2439

Ayala Jesús, C., & Herrera Díaz, M. A. (2019). *Monitoreo de la calidad del agua del lago Chinchaycocha, mediante técnicas de teledetección espacial.* (América Latina). https://ambiente-sustentabilidad.org/index.php/revista/article/view/46

Briceño de Urbaneja, I., Pérez, W., Miguel, D. S., & Ramos, S. (2018). Determinación de calidad de agua en el Lago Vichuquén, con imágenes de satélite Landsat 8, sensor OLI, año 2016, Chile. *Revista de Teledetección*, *52*, Article 52. https://doi.org/10.4995/raet.2018.10126

Brizuela, A. B., Aguirre, C. A., & Velasco, I. (2007). *Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Landsat 5 para análisis multitemporal*. http://www.aet.org.es/congresos/xii/arg27.pdf

Chapman, D. (1992). *Water Quality Assessments—A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring—Second Edition*. https://doi.org/10.4324/9780203476710

Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de la Teledeteccion Espacial* (2da ed.). EDICIONES RIALP.

Chuvieco, E. (2008). *Teledeteccion Ambiental: La observacion de la tierra desde el espacio* (3era ed.). Ariel Ciencia.

Chuvieco, E. (2016). Fundamentals of Satellite Remote Sensing: An Environmental Approach. *Journal of Spatial Information Science*. https://doi.org/10.5311/JOSIS.2017.14.359

Congedo, L. (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, *6*(64), 3172. https://doi.org/10.21105/joss.03172

Crawley, M. J. (2013). *The R book* (Second edition). Wiley. http://www.bio.ic.ac.uk/research/mjcraw/therbook/index.htm

Domínguez Gómez, J. A., Chuvieco Salinero, E., & Sastre Merlín, A. (2009). Monitoring transparency in inland water bodies using multispectral images. *International Journal of Remote Sensing*, *30*(6), 1567–1586. https://doi.org/10.1080/01431160802513811

Doña, C., Sánchez, J. M., Caselles, V., Domínguez, J. A., & Camacho, A. (2014). Empirical relationships for monitoring water quality of lakes and reservoirs through multispectral images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, *7*(5), 1632–1641. https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2301295

Ekercin, S. (2007). Water Quality Retrievals from High Resolution Ikonos Multispectral Imagery: A Case Study in Istanbul, Turkey. *Water, Air, and Soil Pollution*, *183*, 239–251. https://doi.org/10.1007/s11270-007-9373-5

Estrada Abanto, L. M., & Macahuachi Rojas, D. E. (2023). Análisis del comportamiento espacial de la concentración de clorofila-a, solidos suspendidos totales y transparencia en la laguna Yarinacocha con imágenes satelitales, Ucayali 2022. *Universidad Nacional de Ucayali*. http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/6473

Gholizadeh, M. H., Melesse, A. M., & Reddi, L. (2016). A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques. *Sensors*, *16*(8), Article 8. https://doi.org/10.3390/s16081298

Gómez Díaz, J. L., & Dalence Martinic, J. S. (2014). Determinación del parámetro sólidos suspendidos totales mediante imágenes de sensores ópticos en un tramo de la cuenca media del Río Bogotá (Colombia). *UD y la geomática*, *9*, Article 9. https://doi.org/10.14483/23448407.7943

GOREU, & ARA. (2023). *Recuperación del servicio de conservación de la flora y fauna silvestre de las lagunas de Cashibococha, Shanshococha y Huitococha, del distrito de Yarinacocha, región Ucayali.*

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*.

Kulkarni, A. (2011). Water Quality Retrieval from Landsat TM Imagery. *Procedia Computer Science*, *6*, 475–480. https://doi.org/10.1016/j.procs.2011.08.088

Labrador García, M., Brondo, J., & Arbelo, M. (2012). *Satélites de teledetección para la gestión del territorio*.

Lim, J., & Choi, M. (2015). Assessment of water quality based on Landsat 8 operational land imager associated with human activities in Korea. *Environmental Monitoring and Assessment*, *187*(6), 384. https://doi.org/10.1007/s10661-015-4616-1

Manrique Reol, E. (2003). *Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis*. http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/8958

Monge Pineda, S. (2015). *Desarrollo del método para la cuantificación de la clorofila-a en muestras de agua, por espectroscopia ultravioleta visible* [Bachelor, Universidad de El Salvador]. https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/8556/

Municipalidad Distrital de Yarina. (2017). *PROGRAMA DE EDUCACION, CULTURA Y CIUDADANIA AMBIENTAL DE LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE YARINACOCHA*. 10.

NASA. (2015). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook*.

Organización de las Naciones Unidas. (2014). *Calidad del agua*. https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml

Organización Mundial de Meteorología. (2012). *International Glossary of Hydrology*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000221862

Orjuela Romero, E. A., & Díaz Ruiz, J. D. (2019). *Mapeo de la turbidez utilizando firmas espectrales obtenidas mediante el procesamiento de imágenes satelitales en el embalse de Tominé*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1161

Paulino Rojas, C., Xu, H., Alburqueque, E., & Velaochaga, G. (2016). Estimación de concentración de clorofila-a en el lago Titicaca usando imágenes satelitales MERSI. *Instituto del Mar del Perú - IMARPE*. https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/3111

Quezada García, M. G. (2020). *Uso de imágenes satelitales para determinar los parámetros de calidad del agua en los ríos amazónicos Neshuya y Aguaytía—Perú*. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4550

Riofrío, J., Samanez, I., Carrasco, F., & Clavo, M. (2003). Caracterización limnológica de la laguna de Cashibococha (UcayaliPerú) durante el año 2001. *Revista Peruana de Biología*, *10*(2), Article 2. https://doi.org/10.15381/rpb.v10i2.2501

Rivera Ruiz, D. C. (2020). *Estimación de parámetros de calidad de agua en la Laguna Santa Elena usando imágenes satelitales.*

Ruiz Ramírez, D. C. (2017). *Método de estimación de sólidos suspendidos totales como indicador de la calidad del agua mediante Imágenes satelitales* [Trabajo de grado - Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59720

Sobrino Navas, R. (2015). *APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN Y MODELOS DE REGRESIÓN EN LA CARACTERIZACIÓN DEL LAGO DE SANABRIA.*

Subramaniam, A., Brown, C. W., Hood, R. R., Carpenter, E. J., & Capone, D. G. (2001). Detecting Trichodesmium blooms in SeaWiFS imagery. *Deep Sea Research Part II:*

Topical Studies in Oceanography, *49*(1–3), 107–121. https://doi.org/10.1016/S0967-0645(01)00096-0

USGS, (Servicio Geológico de Estados Unidos). (2019). *Landsat Nine*. https://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2019/09/L9-factsheet-web.pdf

Anexos

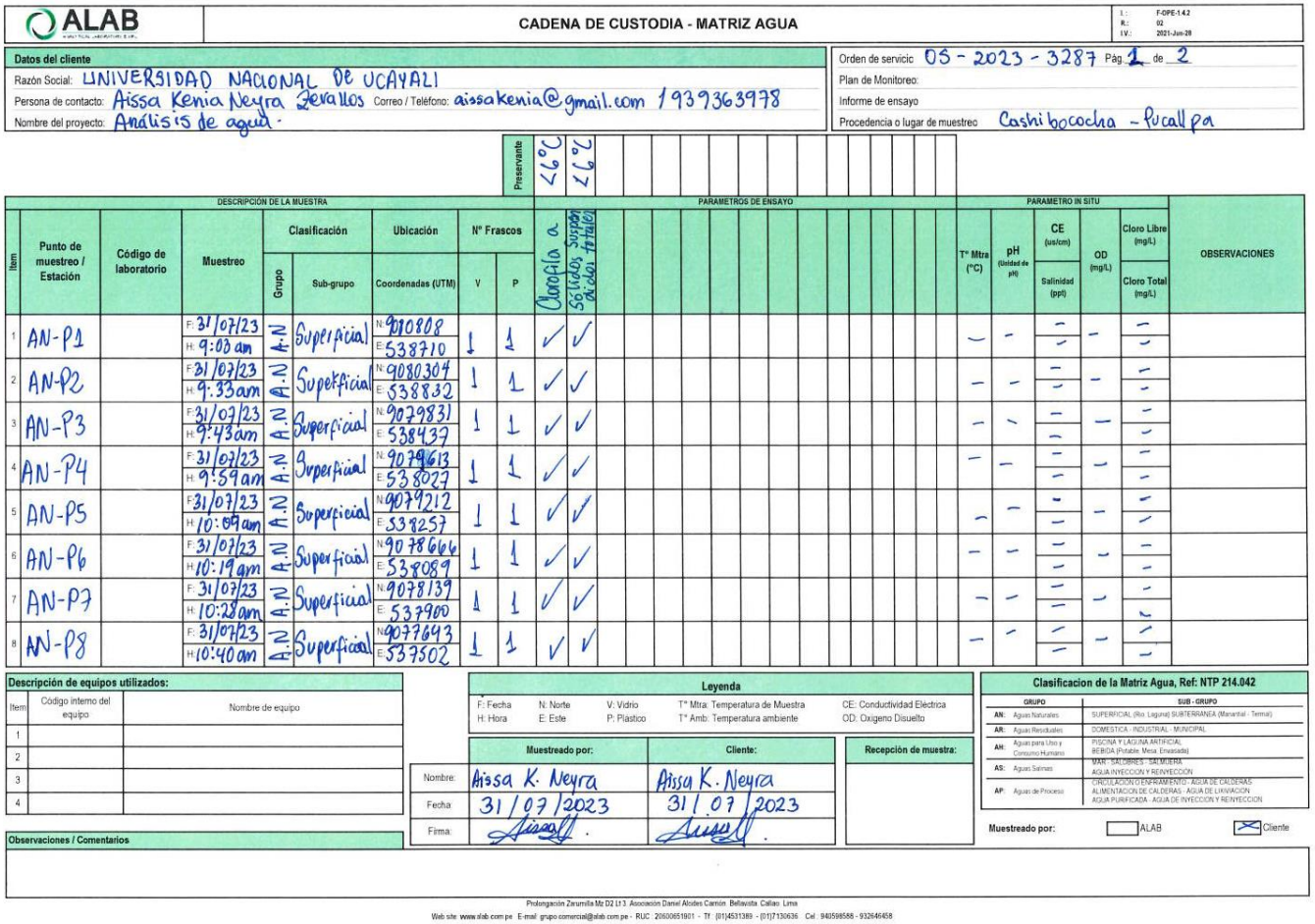
Anexo 1

Matriz de consistencia

TÍTULO: DETERMINACIÓN DE TRES PARÁMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA CASHIBOCOCHA MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES SATELITALES, UCAYALI, 2023				
PROBLEMAS	**OBJETIVOS**	**HIPÓTESIS**	**VARIABLES**	**INDICADORES**
GENERAL: ¿Cómo determinar tres parámetros de la calidad del agua de la laguna Cashibococha mediante el uso de imágenes satelitales? **ESPECÍFICOS:** ¿Qué valores de sólidos suspendidos totales se encontrarán en la laguna Cashibococha mediante el uso de bandas multiespectrales? ¿Qué valores de transparencia del agua se encontrarán en la laguna Cashibococha mediante el uso de bandas multiespectrales? ¿Qué valores de clorofila-a se encontrarán en la laguna Cashibococha mediante el uso de bandas multiespectrales?	**GENERAL** Determinar tres parámetros de la calidad del agua de la laguna Cashibococha mediante el uso de imágenes satelitales. **ESPECÍFICOS** Determinar los valores de sólidos suspendidos totales en la laguna Cashibococha mediante el uso de bandas multiespectrales. Determinar los valores de transparencia del agua en la laguna Cashibococha mediante el uso de bandas multiespectrales. Determinar los valores de clorofila-a en la laguna Cashibococha mediante el uso de bandas multiespectrales.	**HIPÓTESIS** Se podrá determinar tres parámetros de la calidad del agua de la laguna Cashibococha mediante el uso de imágenes satelitales. **HIPÓTESIS ESPECÍFICAS** Se logrará determinar los valores de sólidos suspendidos totales en la laguna Cashibococha mediante el uso de bandas multiespectrales. Se logrará determinar los valores de transparencia del agua en la laguna Cashibococha mediante el uso de bandas multiespectrales. Se logrará determinar los valores de clorofila-a en la laguna Cashibococha mediante el uso de bandas multiespectrales.	**INDEPENDIENTE** Sólidos Suspendidos Totales Transparencia Clorofila-a **DEPENDIENTE** Reflectancia de las imágenes satelitales	Valores de: - Sólidos Suspendidos totales (mg/L). - Transparencia (m) - Clorofila-a (mg/L) - Valores de Reflectividad

Anexo 2

Cadena de custodia 1



ALAB

CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA

I.: F-OPE-1.4.2
R.: 02
F.V.: 2021-Jun-28

Datos del cliente

Razón Social: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
Persona de contacto: Aissa Kenia Neyra Zevallos Correo / Teléfono: aissakenia@gmail.com / 939363978
Nombre del proyecto: Análisis de agua.

Orden de servicio: 05 - 2023 - 3287 Pág. 1 de 2
Plan de Monitoreo:
Informe de ensayo
Procedencia o lugar de muestreo: Cashibococha - Pucallpa

Preservante: 7°C 7°C

Item	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Muestreo	Clasificación: Grupo	Clasificación: Sub-grupo	Ubicación: Coordenadas (UTM)	Nº Frascos: V	Nº Frascos: P	Parámetros de ensayo: Clorofila a	Parámetros de ensayo: Sólidos Suspendidos Totales	Parámetro in situ: T° Mtra (°C)	Parámetro in situ: pH (Unidad de pH)	Parámetro in situ: CE (us/cm) / Salinidad (ppt)	Parámetro in situ: OD (mg/L)	Parámetro in situ: Cloro Libre (mg/L) / Cloro Total (mg/L)	OBSERVACIONES
1	AN-P1		F: 31/07/23 H: 9:03 am	A.N	Superficial	N: 9080808 E: 538710	1	1	✓	✓	–	–	–	–	–	
2	AN-P2		F: 31/07/23 H: 9:33 am	A.N	Superficial	N: 9080304 E: 538832	1	1	✓	✓	–	–	–	–	–	
3	AN-P3		F: 31/07/23 H: 9:43 am	A.N	Superficial	N: 9079831 E: 538437	1	1	✓	✓	–	–	–	–	–	
4	AN-P4		F: 31/07/23 H: 9:59 am	A.N	Superficial	N: 9079613 E: 538027	1	1	✓	✓	–	–	–	–	–	
5	AN-P5		F: 31/07/23 H: 10:09 am	A.N	Superficial	N: 9079212 E: 538257	1	1	✓	✓	–	–	–	–	–	
6	AN-P6		F: 31/07/23 H: 10:19 am	A.N	Superficial	N: 9078666 E: 538089	1	1	✓	✓	–	–	–	–	–	
7	AN-P7		F: 31/07/23 H: 10:28 am	A.N	Superficial	N: 9078139 E: 537900	1	1	✓	✓	–	–	–	–	–	
8	AN-P8		F: 31/07/23 H: 10:40 am	A.N	Superficial	N: 9077643 E: 537502	1	1	✓	✓	–	–	–	–	–	

Descripción de equipos utilizados:

Item	Código interno del equipo	Nombre de equipo
1		
2		
3		
4		

Leyenda

F: Fecha H: Hora N: Norte E: Este V: Vidrio P: Plastico T° Mtra: Temperatura de Muestra T° Amb: Temperatura ambiente CE: Conductividad Electrica OD: Oxigeno Disuelto

	Muestreado por:	Cliente:	Recepción de muestra:
Nombre:	Aissa K. Neyra	Aissa K. Neyra	
Fecha:	31/07/2023	31/07/2023	
Firma:			

Clasificacion de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042

GRUPO	SUB - GRUPO
AN: Aguas Naturales	SUPERFICIAL (Rio, Laguna) SUBTERRANEA (Manantial - Termal)
AR: Aguas Residuales	DOMESTICA - INDUSTRIAL - MUNICIPAL
AH: Aguas para Uso y Consumo Humano	PISCINA Y LAGUNA ARTIFICIAL BEBIDA (Potable, Mesa, Envasada)
AS: Aguas Salinas	SALOBRES - SALMUERA AGUA INYECCION Y REINYECCION
AP: Aguas de Proceso	CIRCULACION O ENFRIAMIENTO - AGUA DE CALDERAS ALIMENTACION DE CALDERAS - AGUA DE LIXIVIACION AGUA PURIFICADA - AGUA DE INYECCION Y REINYECCION

Muestreado por: ☐ ALAB ☒ Cliente

Observaciones / Comentarios

Prolongación Zarumilla Mz D2 Lt 3 Asociación Daniel Alcides Carrión Bellavista Callao Lima
Web site: www.alab.com.pe E-mail: grupo.comercial@alab.com.pe - RUC: 20600651901 - Tf: (01)4531389 - (01)7130636 Cel: 940598588 - 932646458

Documento controlado. Prohibida su reproducción parcial o total sin autorización de ALAB.

ALAB

CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA

I.: F-OPE-1.4.2
R.: 02
I.V.: 2021-Jun-28

Datos del cliente

Razón Social: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
Persona de contacto: Aissa Kenia Neyra Zevallos Correo / Teléfono: aissa kenia@gmail.com / 939363978
Nombre del proyecto: Análisis de agua

Orden de servicio: 05-2023-3287 Pág. 2 de 2
Plan de Monitoreo:
Informe de ensayo
Procedencia o lugar de muestreo

Preservante																							
	<6°C	<6°C																					

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA										PARAMETROS DE ENSAYO												PARAMETRO IN SITU					
Item	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Muestreo	Clasificación		Ubicación	N° Frascos		Clorofila a	Solidos Susp. totales												T° Mtra (°C)	pH (Unidad de pH)	CE (us/cm) / Salinidad (ppt)	OD (mg/L)	Cloro Libre (mg/L) / Cloro Total (mg/L)	OBSERVACIONES
				Grupo	Sub-grupo	Coordenadas (UTM)	V	P																			
1	AN-P9		F: 31/07/23 H: 10:50 am	A.N	Superficial	N: 9077083 E: 537281	1	1	✓	✓												—	—	— / —	—	— / —	
2	AN-P10		F: 31/09/23 H: 10:59 am	A.N	Superficial	N: 9076514 E: 537042	1	1	✓	✓												—	—	— / ✓	—	— / ✓	
3			F: H:			N: E:																					
4			F: H:			N: E:																					
5			F: H:			N: E:																					
6			F: H:			N: E:																					
7			F: H:			N: E:																					
8			F: H:			N: E:																					

Descripción de equipos utilizados:

Item	Código interno del equipo	Nombre de equipo
1		
2		
3		
4		

Leyenda

F: Fecha N: Norte V: Vidrio T° Mtra: Temperatura de Muestra CE: Conductividad Electrica
H: Hora E: Este P: Plastico T° Amb: Temperatura ambiente OD: Oxigeno Disuelto

	Muestreado por:	Cliente:	Recepción de muestra:
Nombre:	Aissa K. Neyra	Aissa K. Neyra	
Fecha:	31/07/2023	31/07/2023	
Firma:			

Clasificacion de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042

GRUPO		SUB - GRUPO
AN:	Aguas Naturales	SUPERFICIAL (Rio, Laguna) SUBTERRANEA (Manantial - Termal)
AR:	Aguas Residuales	DOMESTICA - INDUSTRIAL - MUNICIPAL
AH:	Aguas para Uso y Consumo Humano	PISCINA Y LAGUNA ARTIFICIAL BEBIDA (Potable, Mesa, Envasada)
AS:	Aguas Salinas	MAR - SALOBRES - SALMUERA AGUA INYECCION Y REINYECCION
AP:	Aguas de Proceso	CIRCULACION O ENFRIAMIENTO - AGUA DE CALDERAS ALIMENTACION DE CALDERAS - AGUA DE LIXIVIACION AGUA PURIFICADA - AGUA DE INYECCION Y REINYECCION

Muestreado por: ☐ ALAB ☒ Cliente

Observaciones / Comentarios

Prolongación Zarumilla Mz D2 Lt 3. Asociacion Daniel Alcides Carrión. Bellavista. Callao. Lima
Web site: www.alab.com.pe E-mail: grupo.comercial@alab.com.pe - RUC: 20600651901 - Tf: (01)4531389 - (01)7130636 Cel: 940598588 - 932646458

Documento controlado. Prohibida su reproducción parcial o total sin autorización de ALAB.

Anexo 3

Informe de ensayo

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

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

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-14500

N° Id.: 0000082688

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
2.-DIRECCIÓN	: CAR.FEDERICO BASADRE KM. REF: (KM. 6.001 UNU) UCAYALI - CORONEL PORTILLO - CALLERIA
3.-PROYECTO	: DETERMINACIÓN DE TRES PARÁMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA CASHIBOCOCHA MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES SATELITALES, UCAYALI, 2023
4.-PROCEDENCIA	: CASHIBOCOHA - PUCALLPA
5.-SOLICITANTE	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000003287-2023-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2023-08-15

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Agua Natural
2-NÚMERO DE MUESTRAS	: 10
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2023-07-31
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2023-07-31 al 2023-08-15

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

Los resultados contenidos en el presente documento sólo estan relacionados con los items ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17, Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-14500

Nº Id.: 0000082688

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Sólidos Suspendidos Totales (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 24th Ed. 2022.	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Clorofila (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10150 B, 24th Ed. 2022.	Plankton. Chlorophyll

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

"APHA" : American Public Health Association

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

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17, Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-14500

N° Id.: 0000082688

IV. RESULTADOS

ITEM				1	2	3	4
CÓDIGO DE LABORATORIO				M-23-46553	M-23-46554	M-23-46555	M-23-46556
CÓDIGO DEL CLIENTE:				AN-P1	AN-P2	AN-P3	AN-P4
COORDENADAS:				E:0538710	E:0538832	E:0538437	E:0538027
UTM WGS 84:				N:9080808	N:9080304	N:9079831	N:9079613
PRODUCTO:				Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural
SUB PRODUCTO:				Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA			
FECHA y HORA DE MUESTREO :				31-07-2023 09:03	31-07-2023 09:33	31-07-2023 09:43	31-07-2023 09:59
ENSAYO	**UNIDAD**	**L.D.M.**	**L.C.M.**	**RESULTADOS**			
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg/L	2,0	5,0	15,6	14,8	11,6	18,5
Clorofila (*)	mg/L	0,002	0,005	0,599	0,531	0,460	0,587

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

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

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17, Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-14500

Nº Id.: 0000082688

ITEM				5	6	7	8
CÓDIGO DE LABORATORIO				M-23-46557	M-23-46558	M-23-46559	M-23-46560
CÓDIGO DEL CLIENTE:				AN-P5	AN-P6	AN-P7	AN-P8
COORDENADAS:				E:0538257	E:0538089	E:0537900	E:0537502
UTM WGS 84:				N:9079212	N:9078666	N:9078139	N:9077643
PRODUCTO:				Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural
SUB PRODUCTO:				Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA			
FECHA y HORA DE MUESTREO :				31-07-2023 10:09	31-07-2023 10:19	31-07-2023 10:28	31-07-2023 10:40
ENSAYO	**UNIDAD**	**L.D.M.**	**L.C.M.**	**RESULTADOS**			
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg/L	2,0	5,0	16,8	10,4	26,5	19,5
Clorofila (*)	mg/L	0,002	0,005	0,426	0,446	0,383	0,538

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

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

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17, Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-14500

Nº Id.: 0000082688

ITEM	9	10
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-46561	M-23-46562
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AN-P9	AN-P10
COORDENADAS:	E:0537281	E:0537042
UTM WGS 84:	N:9077083	N:9076514
PRODUCTO:	Agua Natural	Agua Natural
SUB PRODUCTO:	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA	
FECHA y HORA DE MUESTREO :	31-07-2023 10:50	31-07-2023 10:59

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg/L	2,0	5,0	17,2	13,2
Clorofila (*)	mg/L	0,002	0,005	0,609	0,377

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

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

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17, Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

www.alab.com.pe

Anexo 4

Informe de ensayo 2

ALAB ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

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

INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado

Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-14504

N° Id.: 0000082692

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
2.-DIRECCIÓN	: CAR.FEDERICO BASADRE KM. REF: (KM. 6.001 UNU) UCAYALI - CORONEL PORTILLO - CALLERIA
3.-PROYECTO	: DETERMINACIÓN DE TRES PARÁMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA CASHIBOCOCHA MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES SATELITALES, UCAYALI, 2023
4.-PROCEDENCIA	: CASHIBOCOHA - PUCALLPA
5.-SOLICITANTE	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000003291-2023-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2023-08-15

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Agua Natural
2-NÚMERO DE MUESTRAS	: 10
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2023-07-31
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2023 07-31 al 2023-08-15

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

Los resultados contenidos en el presente documento sólo estan relacionados con los items ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17, Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-14504

N° Id.: 0000082692

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Clorofila-a (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10150 A2, B, 24th Ed. 2023.	Chlorophyll A

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

"APHA" : American Public Health Association

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

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17, Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-14504

N° Id.: 0000082692

IV. RESULTADOS

ITEM				1	2	3	4
CÓDIGO DE LABORATORIO				M-23-46553	M-23-46554	M-23-46555	M-23-46556
CÓDIGO DEL CLIENTE:				AN-P1	AN-P2	AN-P3	AN-P4
COORDENADAS:				E:0538710	E:0538832	E:0538437	E:0538027
UTM WGS 84:				N:9080808	N:9080304	N:9079831	N:9079613
PRODUCTO:				Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural
SUB PRODUCTO:				Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA			
FECHA y HORA DE MUESTREO :				31-07-2023 09:03	31-07-2023 09:33	31-07-2023 09:43	31-07-2023 09:59
ENSAYO	**UNIDAD**	**L.D.M.**	**L.C.M.**	**RESULTADOS**			
Clorofila-a (*)	mg/L	0,002	0,005	0,049	0,064	0,047	0,058

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

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

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-14504

Nº Id.: 0000082692

ITEM				5	6	7	8
CÓDIGO DE LABORATORIO				M-23-46557	M-23-46558	M-23-46559	M-23-46560
CÓDIGO DEL CLIENTE:				AN-P5	AN-P6	AN-P7	AN-P8
COORDENADAS:				E:0538257	E:0538089	E:0537900	E:0537502
UTM WGS 84:				N:9079212	N:9078666	N:9078139	N:9077643
PRODUCTO:				Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural
SUB PRODUCTO:				Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA			
FECHA y HORA DE MUESTREO :				31-07-2023 10:09	31-07-2023 10:19	31-07-2023 10:28	31-07-2023 10:40
ENSAYO	**UNIDAD**	**L.D.M.**	**L.C.M.**	**RESULTADOS**			
Clorofila-a (*)	mg/L	0,002	0,005	0,044	0,067	0,054	0,069

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

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

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-14504

Nº Id.: 0000082692

ITEM				9	10
CÓDIGO DE LABORATORIO				M-23-46561	M-23-46562
CÓDIGO DEL CLIENTE:				AN-P9	AN-P10
COORDENADAS:				E:0537281	E:0537042
UTM WGS 84:				N:9077083	N:9076514
PRODUCTO:				Agua Natural	Agua Natural
SUB PRODUCTO:				Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA	
FECHA y HORA DE MUESTREO :				31-07-2023 10:50	31-07-2023 10:59
ENSAYO	**UNIDAD**	**L.D.M.**	**L.C.M.**	**RESULTADOS**	
Clorofila-a (*)	mg/L	0,002	0,005	0,042	0,045

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

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

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17, Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

www.alab.com.pe