

## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CUANTITATIVO

### TÍTULO

“Determinación de la calidad del agua mediante imágenes satelitales de la laguna Cashibococha, Ucayali, 2022”

### RESUMEN

El agua es un recurso indispensable para el desarrollo de la vida y su degradación constituye un problema ambiental con consecuencias graves a mediano y largo plazo, por ello se debe monitorear la calidad de los cuerpos de agua para la toma de acciones por parte de las autoridades competentes, aunque este representa costos elevados con los métodos tradicionales, mientras que el uso de la teledetección permitiría monitorear y analizar el comportamiento espacial de variables de calidad del agua de la laguna Cashibococha con costos menores. La investigación tiene como objetivo general determinar la calidad del agua mediante imágenes satelitales de la laguna Cashibococha, ubicada en el departamento de Ucayali, provincia Coronel Portillo, distrito Callería. Así mismo, se busca determinar la calidad del agua mediante los valores de los sólidos suspendidos totales en los diferentes puntos de muestreo de la Laguna de Cashibococha, para esto, la imagen satelital que se utilizará deberá coincidir con la fecha en que se realizará la toma de datos en campo. La imagen satelital será obtenida del servidor del Servicio Geológico de Estados Unidos o USGS donde se descargará del sensor OLI-2 del satélite Landsat 9, del nivel uno, como una resolución espacial de 30 metros. Con este estudio se demostrará la efectividad de las técnicas de teledetección para el campo ambiental y sobre todo determinar la calidad de diferentes los cuerpos de agua.

### Palabras claves

Calidad de agua, reflectancia, sólidos suspendidos, teledetección.

### Abstract

Water is an indispensable resource for the life development and its degradation is an environmental problem with serious consequences in the medium and long term, so the quality of water bodies should be monitored for action by the competent authorities, although this represents high costs with traditional methods, while the use of remote sensing would allow monitoring and analyzing the spatial behavior of water quality variables of the Cashibococha lagoon with lower costs. The general objective of the research is to determine water quality using satellite images of the Cashibococha lagoon, located in the department of Ucayali, Coronel Portillo province, Calleria district. Likewise, the objective is to determine the water quality through the values of total suspended solids in the different sampling points of the Cashibococha Lagoon, for this, the satellite image that will be used should coincide with the date on which the data will be taken in the field. The satellite would be obtained from the United States Geological Survey or USGS server where it will be downloaded from the OLI-2 sensor of the Landsat 9 satellite, level one, with a spatial resolution of 30 meters.

This study will demonstrate the effectiveness of remote sensing techniques for the environmental field and especially to determine the quality of different water bodies.

### Keywords

Reflectance, remote sensing, suspended solids, water quality.

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

### Problema de investigación

En los últimos años la Laguna Cashibococha ha incrementado su importancia a nivel turístico, convirtiéndose poco a poco en un balneario importante para la ciudad de Pucallpa. Sin embargo, esta laguna está siendo afectada por la contaminación ocasionada debido al vertimiento de aguas servidas y por el desarrollo de actividades económicas dentro y fuera de la laguna, deteriorando su calidad, disponibilidad y la vida acuática que alberga.

Hoy en día el estudio de los elementos que integran el ambiente está teniendo cada vez mayor relevancia, actualmente, podemos ver los estragos del daño que se le ha venido ocasionando a lo largo del desarrollo de la vida humana debido a la explotación desmedida de los recursos y sin una adecuada planeación y control. Debido a esta preocupación o inquietud es que los avances tecnológicos, ofrecen un amplio conjunto de herramientas que son aplicables en este campo de estudio.

Conservar la calidad de las aguas superficiales, debe ser una de las principales preocupaciones a nivel mundial, ya que éstas son fuente de abastecimiento para el desarrollo humano, económico y social.

En la actualidad, el uso de las imágenes satelitales permite realizar una evaluación de sólidos suspendidos totales, clorofila, temperatura superficial del cuerpo de agua, etc.

Es importante conocer esta información ya que podrá ser útil para elaborar planes de prevención, control y remediación de daños en las aguas superficiales.

### FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

#### Problema General

¿Cómo determinar la calidad del agua mediante imágenes satelitales de la laguna Cashibococha?

#### Problemas específicos

- ¿Qué valores de reflectancia se determinan con imágenes satelitales de la Laguna de Cashibococha?
- ¿Qué valores de sólidos suspendidos se encontrarán en los diferentes puntos de muestreo de la Laguna de Cashibococha?
- ¿Cuál es el comportamiento de los sólidos suspendidos totales a partir de los datos de la reflectancia en la Laguna de Cashibococha?

## II. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La laguna Cashibococha es un importante balneario que se caracteriza por ser un atractivo turístico en donde se desarrollan actividades recreativas y deportivas, atrae turistas nacionales y extranjeros en las importantes fiestas tradicionales de la selva amazónica por lo que se debe preservar y proteger. Asimismo, constituye un importante medio de transporte para diversas comunidades. Por otro lado, en áreas aledañas a la laguna Cashibococha se puede observar presencia de residuos sólidos y fuentes de contaminación que ingresa por los diferentes hoteles y negocios de la zona.

Esta investigación pretende aportar conocimientos sobre la aplicación de la teledetección para analizar el comportamiento espacial de variables de calidad de agua a través de ecuaciones empíricas obtenidas al procesar imágenes satelitales y relacionarlas y/o validarlas con datos de campo. Las variables de calidad obtenidas mediante técnicas de teledetección aportarán información importante para evaluar la calidad del agua de la laguna Cashibococha y monitorear periódicamente sin necesidad de volver a tomar datos de campo, de tal manera que servirá para futuras investigaciones donde se realicen análisis multitemporales del comportamiento espacial de las variables de calidad del agua, con lo que se podrá estimar niveles de estados tróficos y compararlos con los estándares de calidad del agua según la normativa peruana vigente.

La investigación aportará a la comunidad científica y a la población de esta región gracias a la eficiencia con la cual opera las aplicaciones de teledetección.

### III. HIPÓTESIS

#### **Hipótesis General**

Con imágenes satelitales se determina la calidad del agua mediante de la laguna Cashibococha.

#### **Hipótesis Específicas**

- Los valores de reflectancia de la laguna Cashibococha se pueden determinar mediante imágenes satelitales.
- Los valores de los sólidos suspendidos totales influyen en la determinación de la calidad del agua en la laguna Cashibococha.
- El comportamiento de los sólidos suspendidos totales varía a partir de los datos de la reflectancia de imágenes satelitales en la laguna Cashibococha.

### IV. OBJETIVOS

#### **Objetivo General**

- Determinar la calidad del agua mediante imágenes satelitales de la laguna de Cashibococha.

#### **Objetivos Específicos**

- Determinar los valores de reflectancia de las imágenes satelitales en la Laguna de Cashibococha.
- Determinar la calidad del agua mediante los valores de los sólidos

suspendidos totales en los diferentes puntos de muestreo de la Laguna de Cashibococha.

- Conocer el comportamiento de los sólidos suspendidos totales a partir de los datos de la reflectancia de las imágenes satelitales en la Laguna de Cashibococha.

## V. ANTECEDENTES

Actualmente, las imágenes satelitales son usadas en diferentes ámbitos, es el caso de Ruíz Ramírez (2017) que realizó un estudio titulado: “Método de Estimación de Sólidos Suspendidos Totales como Indicador de la Calidad del Agua mediante Imágenes Satelitales”, en este estudio se explora el uso de imágenes satelitales multispectrales Landsat 8 OLI, para determinar los sólidos suspendidos totales en un cuerpo de agua léntico. Las imágenes fueron corregidas radiométrica y atmosféricamente mediante el modelo de transferencia radiactiva de MODTRAN 4, posteriormente se llevó a cabo el enmascaramiento del agua y se establecieron relaciones empíricas entre las contracciones de SST y los datos de reflectancia en una sola banda o la combinación matemática de bandas del visible e infrarrojo cercano. Los algoritmos fueron calibrados y verificados por conjuntos de datos en campo. La relación de las bandas GREEN/INR mostró una fuerte y significativa relación polinómica de orden tres con la concentración de SST ( $R^2$  Ajustado = 0.9643) en el Embalse de Prado.

Por otro lado, Perdomo Vanegas, (2015), cuya investigación es sobre “Predicción de parámetros fisicoquímicos de calidad del agua mediante el uso de sensores remotos: Caso de estudio embalse del Neusa”, el cual busca relacionar los datos de parámetros físico-químicos (alcalinidad, oxígeno disuelto, pH, transparencia y temperatura), obtenidos en campañas de campo efectuadas durante cinco años consecutivos en el Embalse del Neusa, con los valores de reflectancia obtenidos a partir de las bandas 1, 2, 3, 4 y 7 del sensor Thematic Mapper del satélite Landsat 7. Por medio de modelos lineales simples para el caso de los parámetros alcalinidad, oxígeno, la temperatura y transparencia de un modelo lineal múltiple para el pH, se relacionaron los valores de los parámetros físico-químicos tomados in situ y los valores de reflectancia. Los resultados obtenidos mostraron que el modelo calibrado para la transparencia obtuvo el mejor valor de  $r^2$  (0.916). El modelo para el pH obtuvo un  $r^2$  de 0.868 con la información de las bandas 2, 3 y 4. El oxígeno disuelto presentó su mejor relación con la banda 2 y obtuvo un  $r^2$  de 0.808. La temperatura presentó un  $r^2$  de 0.892. Estos modelos permitieron predecir los parámetros a partir de los valores de reflectancia y la identificación de su comportamiento para toda la superficie del embalse en los años 2003 y 2015. La comparación del comportamiento de los parámetros estimados para los años 2003 y 2015 identificó que el embalse presenta una disminución de la transparencia y un aumento en la temperatura de hasta 2°C en la capa superficial de agua del embalse. Cada uno de los modelos calibrados presentaron relaciones significativas entre los valores de cada uno de los parámetros y los valores de reflectancia de las bandas empleadas, lo que permite concluir que es un monitoreo viable para parámetros fisicoquímicos en las aguas del embalse de Neusa

En Perú, Ramirez et al. (2021), realizaron un estudio sobre estimación de la

concentración de clorofila a en la superficie de la bahía de Sechura usando datos de imágenes de Landsat 8, cuyo objetivo fue implementar los algoritmos OC2 y OC3 para estimar la Concentración de Clorofila a (CCA) superficial a partir de datos de imágenes del sensor OLI a bordo del satélite Landsat 8. En ese estudio se validó el modelo corrección atmosférica LaSRC (Landsat 8 surface reflectance code) con mediciones in situ de la reflectividad de la superficie del agua registrada con un espectroradiómetro en la superficie del área del cultivo de conchas de abanico en la bahía de Sechura. Dicha validación dio como resultado un coeficiente de correlación lineal de  $R=95.1\%$  y un error cuadrático medio  $RMSE=0.0095$ . También hicieron una comparación de la concentración de clorofila a (CCA) derivadas de los algoritmos OC2 y OC3, obteniendo como resultado un  $RMSE=0.145$  mg/m<sup>3</sup> y un coeficiente de correlación de  $R=99\%$ . Como resultado indica una mayor capacidad de discernir del algoritmo OC3 con respecto al algoritmo OC2.

En la región Ucayali, Quezada (2020), realizó el siguiente estudio: Uso de Imágenes Satelitales para Determinar los Parámetros de Calidad del Agua en los Ríos Amazónicos Neshuya y Aguaytia – Perú, cuyo objetivo fue demostrar que el uso de imágenes satelitales permite estimar los valores de calidad de agua de los ríos Amazónicos. En ese estudio se utilizó la reflectividad de las imágenes en las bandas 1, 2, 3 y 4 y se realizó la correlación de datos, la regresión de los valores de los parámetros de Carbono Orgánico Total (TOC), Oxígeno Químico Demandado (COD) y Oxígeno Bioquímico Demandado (BOD), Índice de Permanganato (COD<sub>mn</sub>) y Nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub>-N), Luego se realizaron análisis de varianza (ANOVA) que determinaron la significancia de los datos. El estudio concluyó que el uso de imágenes satelitales es un método alternativo para calcular datos de calidad de agua para ríos amazónicos, ya que permite estimar los valores de calidad de agua de los ríos amazónicos para el caso de los ríos Aguaytía y Neshuya.

## VI. MARCO TEÓRICO

### 1. Calidad del agua

La calidad del agua se puede considerar como una medida de la idoneidad del agua para un uso particular en función de características físicas, químicas y biológicas seleccionadas. Para determinar la calidad del agua, los científicos primero miden y analizan las características del agua, como la temperatura, el contenido de minerales disueltos y la cantidad de bacterias. Luego, las características seleccionadas se comparan con estándares numéricos y pautas para decidir si el agua es adecuada para un uso particular (USGS, 2001).

La evaluación de la calidad del agua en el Perú, se realiza a través de la comparación de los resultados de un conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos con los valores establecidos en el ECA-Agua según la categoría del cuerpo de agua superficial correspondiente; lo que determina su cumplimiento o incumplimiento, precisando únicamente los parámetros críticos y su correspondiente concentración (Autoridad Nacional del Agua - ANA, 2018b).

En el Perú, Algunos de los parámetros de calidad del agua para un cuerpo de agua de la categoría 4 E1 (Lagunas) de acuerdo con el DS N°004-2017-MINAM (que aprueba los estándares de calidad) y que son mencionados en la Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE del ANA son las siguientes:

**Tabla 1.**

*Algunos parámetros de calidad del agua para un cuerpo de categoría 4 (lagunas).*

CATEGORIA 4		
Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y Lagos
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5.0
Clorofila A	mg/L	0.008
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5
Fósforo total	mg/L	0.035
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/L	13
Amoniaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	(1)
Nitrógeno Total	mg/L	0.315
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25
Sulfuros	mg/L	0.002
Temperatura	°C	Δ 3
Arsénico	mg/L	0.15
Cadmio Disuelto	mg/L	0.00025
Mercurio	mg/L	0.0001
Plomo	mg/L	0.0025
Zinc	mg/L	0.12
Hydrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0.5

Fuente. DS N°004-2017-MINAM

## 2. Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales están constituidos por sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales, cuyo tamaño de partícula no pase el filtro estándar de fibra de vidrio (Ramos et al., 2003).

Los SST se asocian a la turbidez, color del agua, obedece también a la dinámica de los ríos, en cuanto al tipo de material del cauce y el clima de la región (precipitación). Valores altos de SST (>1000 mg L<sup>-1</sup>) afectan la entrada de luz, limitando el desarrollo de la vida acuática, así como es posible que transporte sustancias tóxicas o nocivas cuando existe partículas pequeñas (< 63 μm) (Kulkarni, 2011, como se citó en Ruiz, 2017)

En escenarios con menor intensidad de turbulencia, como lagos, embalses, ciénagas, los sólidos suspendidos encuentran condiciones propicias para la deposición y de esta manera el lecho de estas zonas es el depósito final de los



sólidos. Este depósito puede impedir la transferencia de oxígeno y resultar en la muerte de los organismos enterrados bajo esta capa (Ruiz, 2017).

A partir de los sensores remotos es posible medir la radiación solar que es reflejada por los cuerpos de agua en varias longitudes de onda, lo que permite correlacionar esta información con algunos de los parámetros de calidad de agua tradicionalmente medidos. Lo anterior es posible debido a que las propiedades ópticas o de reflectividad del agua dependen de la concentración y características de los sedimentos suspendidos, la materia orgánica disuelta y el fitoplancton existente en esta (Kulkarni, 2011, como se citó en Gomez y Dalence, 2015, p. 20)

### **3. Fundamentos de la teledetección**

La teledetección significa que algo se detecta de forma remota, es decir. Esto implica que existe una cierta interacción entre el objeto y el sensor que capta al primero. Tanto la energía reflejada como la emitida por un cuerpo en la superficie están estrechamente relacionadas con sus propiedades químicas, biológicas y físicas. De esta manera se puede derivar información crítica sobre las propiedades de los suelos, el hielo, la nieve, el agua, la vegetación, las rocas, etc. El objetivo de la teledetección es comprender cómo la energía EM interactúa con la superficie para que podamos extraer mejor la información relevante de las imágenes. Por lo tanto, en la teledetección, podemos considerar tres formas de detectar información sobre un objeto: por reflexión, por emisión y por emisión-reflexión combinada (Chuvieco, 2016).

### **4. Espectro electromagnético**

Dado que las fuentes de radiación son muy diversas y, por lo tanto, las radiaciones EM varían desde longitudes de onda muy pequeñas hasta longitudes de onda muy largas, y se pueden clasificarlas en ciertos grupos de longitudes de onda de frecuencias que finalmente se organizan en el llamado espectro EM como se muestra en la figura 2. En dicho EM Incluye un rango continuo de longitudes de onda o frecuencias, pero comúnmente se identifican varias regiones o bandas espectrales, con propiedades de radiación particulares. Las regiones espectrales más utilizadas en la observación por teledetección son las siguientes: La región VIS (0,4–0,7  $\mu\text{m}$ ) que es el espectro visible y se puede dividir en azul (0,4–0,5  $\mu\text{m}$ ), verde (0,5–0,6  $\mu\text{m}$ ) y rojo (0,6–0,7  $\mu\text{m}$ ); La región NIR (0,7–1,2  $\mu\text{m}$ ), La región del infrarrojo medio (MIR, 1,2–8  $\mu\text{m}$ ), la región del infrarrojo térmico (TIR de 8 a 14  $\mu\text{m}$ ) y la región de microondas (MW) (Chuvieco, 2016).

### **5. El agua en el espectro solar**

Las masas de agua y las superficies acuáticas absorben o transmiten la mayor parte de la radiación que reciben. En general, cuanto mayor es la longitud de onda, mayor es la absorción, por lo que la firma de reflectividad espectral de las masas de agua muestra reflectividades decrecientes con el aumento de las longitudes de onda. La mayor reflectividad del agua clara tiene lugar en la banda azul, y se produce un descenso gradual hacia las regiones NIR y SWIR, donde los valores de reflectividad se aproximan a cero. Por esta razón, en general es sencillo reconocer espectralmente las masas de agua en las imágenes de teledetección, ya que su aspecto es muy diferente al del suelo o la vegetación. La variación de las propiedades ópticas del agua es más

fácilmente detectable en las longitudes de onda más cortas (azul y verde) y está relacionada con las diferencias en la profundidad del agua, el contenido de clorofila, las partículas disueltas y la rugosidad de la superficie (Chuvieco, 2016).

La reflectividad aumenta con el contenido de sedimentos en todas las bandas visibles, aunque la cantidad de aumento depende de los diámetros de las partículas de sedimentos (Bhargava y Mariam, 1990, como se citó en Chuvieco, 2016).

La reflectividad también aumenta con el incremento de las concentraciones de algas. La profundidad del agua influye directamente en la contribución de la reflectividad de las materias de la capa inferior del agua. La composición del agua también influye en las propiedades de la reflectividad, y varios estudios han demostrado que el contenido de clorofila del agua puede mapearse a partir de sensores espaciales. A medida que aumentan los niveles de clorofila en el agua, la reflectividad disminuye en la banda azul (Chuvieco, 2016).

## 6. Datos del Satélite Landsat 8

Landsat 8 es el satélite Landsat lanzado más recientemente y lleva los instrumentos Operational Land Imager (OLI) y Thermal Infrared Sensor (TIRS). El instrumento Operational Land Imager (OLI) fue construido por Ball Aerospace & Technologies Corporation y consta de nueve bandas espectrales, incluida una banda panorámica, y el Sensor infrarrojo térmico (TIRS) fue construido por el Centro de vuelo espacial Goddard de la NASA y consta de dos bandas espectrales como se muestra en la siguiente tabla N° 1 (USGS, 2013).

**Tabla 2.**

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

Sensor	Bandas	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (m)
OLI	Banda 1 Aerosol Costero	0,43 - 0,45 $\mu\text{m}$	30
	Banda 2 Azul	0,450 - 0,51 $\mu\text{m}$	30
	Banda 3 Verde	0,53 - 0,59 $\mu\text{m}$	30
	Banda 4 Roja	0,64 - 0,67 $\mu\text{m}$	30
	Banda 5 Infrarrojo cercano (NIR)	0,85 - 0,88 $\mu\text{m}$	30
	Banda 6 SWIR 1	1,57 - 1,65 $\mu\text{m}$	30
	Banda 7 SWIR 2	2,11 - 2,29 $\mu\text{m}$	30
	Banda 8 Pancromática	0,50 - 0,68 $\mu\text{m}$	15
	Banda 9 Cirro	1,36 - 1,38 $\mu\text{m}$	30
TIRS	Banda 10 TIRS 1	10,6 - 11,19 $\mu\text{m}$	100
	Banda 11 TIRS 2	11,5 - 12,51 $\mu\text{m}$	100



Fuente. United States Geological Survey, 2013

El sensor OLI captura datos con una precisión radiométrica mejorada en un rango dinámico de 12 bits, lo que mejora la relación señal/ruido general. Esto se traduce en 4096 niveles de gris potenciales, en comparación con solo 256 niveles de gris en los instrumentos Landsat 1-7 de 8 bits. El rendimiento mejorado de señal a ruido permite una mejor caracterización del estado y la condición de la cubierta terrestre. Los datos de 12 bits se escalan a enteros de 16 bits y se entregan en los productos de datos de nivel 1. Los productos se escalan a 55 000 niveles de gris y se pueden reescalar a la reflectividad y/o radiancia de la parte superior de la atmósfera (TOA) utilizando los coeficientes de reescalado radiométrico proporcionados en el archivo de metadatos del producto (archivo MTL) (USGS, 2013b).

### **7. Firmas espectrales**

El modo peculiar con el que una determinada cubierta refleja o emite energía a distintas longitudes de onda se ha denominado comúnmente como firma espectral y resulta la base para discriminar dicha cubierta de otras a partir de observación remota. Las firmas espectrales son fundamentales para reconocer cubiertas de interés, o parámetros dentro de esas cubiertas (clorofila en la vegetación o turbidez en el agua, por ejemplo), y se puede extraer de una imagen satelital con la debida resolución espectral (Chuvieco, 2008).

### **8. Teledetección en sistemas acuáticos**

Las mediciones de la penetración de la radiación solar en el agua y los estudios sobre la óptica de los sistemas acuáticos se relacionan tradicionalmente en su mayoría con la evaluación de la energía disponible para la fotosíntesis, las respuestas del fitoplancton a diferentes intensidades de luz y también con el uso de la luz emitida por fluorescencia para medir la concentración de clorofila. En teledetección, la tecnología utiliza la luz reflejada por la superficie de un cuerpo de agua para medir y clasificar la reflectividad, debido a su composición. Los sensores ubicados en los satélites miden esta reflectividad después de las correcciones (por ejemplo, corrigiendo la reflectividad producida por los aerosoles). Los sensores producen imágenes de propiedades ópticas que son de gran utilidad para clasificar lagos, embalses o ríos y permiten detectar impactos de usos de la cuenca hídrica en estos sistemas. Las mediciones de esta reluctancia también deben ir acompañadas de mediciones en tierra de variables físicas, químicas y biológicas al mismo tiempo que pasa el satélite (Galizia y Matsumura, 2012).

### **9. Algoritmos de estimación de variables de calidad del agua**

Algunos de los algoritmos o ecuaciones empíricas de estimación de variables de calidad de agua se describen en la siguiente tabla:

#### **Tabla 3.**

*Algoritmos desarrollados por diferentes autores.*

AUTOR	VARIABLES	TM BANDA	R2
Doña <i>et al.</i> , 2014	Chl_a (mg/m <sup>3</sup> )	TM2/TM4	0.96
Ayala y Herrera, 2019		a+b.OLI3+c.OLI5	0.77
Doña <i>et al.</i> , 2014	TSS (mg/L)	TM4	0.91
Ayala y Herrera, 2019		a+b.OLI5	0.69
Doña <i>et al.</i> , 2014	SD (m)	TM2	0.92
Ayala y Herrera, 2019		a+b.OLI3+c.OLI4	0.81

Nota: a y b son coeficientes de regresión, TM sensor del satélite Landsat 5 y OLI sensor del satélite Landsat 8, y R2 coeficiente de determinación.

#### Tabla 4.

*Algoritmos OC2 y OC3 para Landsat-8 para estimación de clorofila a (Pereira-sandoval et al., 2016).*

NOMBRE	ALGORITMO
OC3	$\log_{10}[\max(R_{443}; R_{rs483})/R_{rs561}]$
OC2443	$\log_{10}[R_{rs443}/R_{rs561}]$
OC2482	$\log_{10}[R_{rs482}/R_{rs561}]$

Nota: Rrs indica la reflectividad superficial en determinada longitud de onda.

## 10. Preprocesamiento de la imagen satelital

### Corrección de imagen satelital

Se refiere a aquellos procesos que tienden a eliminar cualquier anomalía detectada en la imagen, ya sea en su localización o en los Niveles Digitales de los píxeles que la componen. Estas operaciones tienden a disponer los datos en la forma más cercana posible a una adquisición idónea, tanto en la posición de los píxeles como en la radiancia que significan (Chuvieco, 1995)

### Correcciones Radiométricas

Consiste en una serie de operaciones destinadas a mejorar las propiedades radiométricas de una imagen, que sirven para preparar mejor los datos para extraer información relevante, ya sea como valores biofísicos (reflectividad, temperatura) mediante modelos empíricos o de simulación, o como mapas temáticos a partir de técnicas de clasificación (Chuvieco, 2016).

### Conversión de niveles digitales a radiancia

Es el proceso para generar productos de radiancia a partir de los ND de la imagen. Ese proceso se denomina comúnmente como calibración, ya que el objetivo principal es volver a convertir los Niveles digitales en unidades de

radiancia. Es el primer paso para trabajar con variables físicas en lugar de niveles digitales, por lo tanto, es importante para estimar tanto la reflectividad como la temperatura (Chuvieco, 2016).

### **Reflectividad aparente TOA**

La conversión de las radiancias en reflectividades aparentes no tiene en cuenta las influencias atmosféricas, ni los efectos de adyacencia, los ángulos de observación de los sensores y las condiciones de iluminación. Las reflectividades aparentes se calculan en el techo de la atmósfera (TOA) y suponen que el sensor observa la Tierra a través de una atmósfera transparente, en el ángulo de visión nadir y sobre superficies planas y lambertianas perfectas (Chuvieco, 2016).

### **Corrección atmosférica**

Los diversos componentes de la atmósfera modifican las irradiaciones en la superficie, así como las radiaciones que salen de la superficie, principalmente a través de procesos de absorción y dispersión. Para el cálculo de la reflectividad de la superficie, se necesita eliminar los efectos atmosféricos, lo que requiere estimar la transmisividad atmosférica, la irradiancia difusa y la dispersión atmosférica. Una de las maneras de realizar la corrección atmosférica es a partir de los datos de la imagen y de las propiedades de la propia escena, como las zonas de propiedades ópticas superficiales conocidas. Este sería el método más operativo, ya que no requiere información externa ni mediciones in situ, como el método basado en la radiancia observada para objetos oscuros propuesto por Chávez en 1975. Este método asume que cualquier imagen tiene algunas áreas con materiales de alta absorción, donde la reflectividad debería ser cercana a cero (agua, sombras). El método del objeto oscuro es muy sencillo y es válido para calcular el espesor atmosférico de los aerosoles, pero los errores pueden ser importantes para valores de reflectividad elevados (por encima del 15%) cuando no se considera la transmitancia del flujo incidente y reflejado (Chuvieco, 2016).

## **VII. METODOLOGÍA**

La investigación será un estudio descriptivo, ya que se busca especificar las propiedades y características de la laguna Cashibococha y su relación con la reflectancia de las imágenes satelitales. Es decir, se pretende medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren.

La metodología de estimación de sólidos suspendidos totales mediante imágenes satelitales en la laguna Cashibococha que permita conocer cuantitativamente la calidad del agua.

El análisis mediante imágenes satelitales permite analizar el factor tiempo en el estudio de sólidos suspendidos, con lo que se puede realizar un seguimiento directo mediante las muestras de laboratorio y la de las imágenes satelitales.

### **Lugar de estudio**

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. Se encuentra ubicada en el departamento de Ucayali, provincia Coronel Portillo, distrito Yarinacocha, en las coordenadas UTM 537,000 km E y 9076,310 km N.

## Población y tamaño de muestra

### Población.

Estará conformada por el cuerpo de agua del lago Cashibococha, con una superficie de 456 hectáreas.

### Muestra

En total, se identificaron 10 zonas de interés que fueron seleccionadas y georreferenciadas. Estas zonas serán distribuidas homogéneamente para medir la calidad del agua de la Laguna de Cashibococha mediante imágenes satelitales obtenidas del sensor Landsat 9.

## Descripción detallada de los métodos, uso de materiales, equipos o insumos.

### a) Diseño de muestreo

Para la naturaleza del presente trabajo de tipo descriptivo correlacional, se requiere evaluar el nivel de significancia estadística y grado de correlación de cierto número de pares de datos, para determinar si existe o no relación significativa entre valores de reflectividad superficial y datos de campo. Para el contraste de esa hipótesis se realizará un planteamiento bilateral ( $r$  calculado es diferente de cero), y para calcular el tamaño muestral para el cálculo del coeficiente de correlación entre dos variables o pares de datos se utilizará la siguiente ecuación:

$$n = \left( \frac{z_{1-\alpha/2} + z_{1-\beta}}{\frac{1}{2} \ln \left( \frac{1+r}{1-r} \right)} \right)^2 + 3$$

Donde:

$z_{1-\alpha/2}$  Nivel de confianza del 95% (0.05).

$z_{1-\beta}$  Poder estadístico del 95% (0.05)

$r$  = Valor del coeficiente de correlación que se supone (de acuerdo a la literatura revisada  $r = 0.9$ ).

$n$  = Tamaño muestral (10 muestras).

Si se prevé una pérdida del 20% de la información, el número de muestras estará dado por la siguiente ecuación:

$$n' = n / (1 - L)$$

Donde:

L= Pérdida de información de 20% (0.2)  
n'= Tamaño muestral calculado (10 muestras)

El cálculo del tamaño muestral se realizará en el software G\*Power. El tamaño de la muestra se estima que será de 10 puntos de donde se realizará el muestreo y medición in situ de variables de calidad del agua. La técnica de muestreo será no probabilística a conveniencia, ya que los puntos de muestreo deben buscar abarcar toda la laguna y representar la diversidad del cuerpo de agua.

De la misma manera, se tomará como referencia la metodología del protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales, que indica que, para toma de muestras, los puntos de control en el cuerpo receptor léntico se ubican fuera de la zona de mezcla y se considera por lo menos cuatro puntos de control.

### **b) Descripción detallada del uso de materiales, equipos, insumos, entre otros.**

#### **Técnicas**

Se utilizará técnicas de teledetección para el procesamiento de las imágenes satelitales con la finalidad extraer los valores de reflectividad superficial de las bandas espectrales para establecer relaciones empíricas con los datos de campo, que también se utiliza para validar algoritmos o ecuaciones empíricas para estimar variables de calidad del agua, con la cual se derivarán variables de calidad de agua tales como Sólidos suspendidos totales (SST). El preprocesamiento de las imágenes satelitales se realizará en los siguientes softwares: QGIS y ArcGis.

La toma de muestras y mediciones in situ se realizará de acuerdo con el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado con resolución jefatural N° 010-2016-ANA. Asimismo, se tomarán en el día y hora del paso del satélite.

#### **Instrumentos de Recolección de datos**

##### **Materiales**

- 12 frascos de vidrio de boca ancha de color ámbar de 250ml.
- Libreta de campo.
- Lapiceros.
- lápices
- Tablero.
- Papel bond A4
- Cooler.
- Plumones indelebles
- Hoja de cadena de custodia

##### **Equipos**

- GPS.
- Laptop
- Cámara fotográfica.

- Impresora.
- Disco de secchi.

### **Herramientas**

- Software QGIS 3.7
- Software ArcGIS 10.8
- Hoja de cálculo.

### **Procedimiento de Recolección de Datos**

#### **1. Selección de los puntos de muestreo**

Se seleccionarán 10 puntos de muestreo que estarán distribuidos en toda la laguna, dichos puntos deben representar la diversidad del agua de la laguna Cashibococha.

#### **2. Procedimientos de la toma de muestras y mediciones in situ**

El procedimiento para la toma de muestras y mediciones in situ se realizará de acuerdo con el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado con resolución jefatural N° 010-2016-ANA.

Asimismo, se tendrá en cuenta las siguientes consideraciones:

- Anotar las observaciones del cuerpo de agua
- Tomar lectura de las coordenadas UTM del punto de muestreo.
- Las muestras de agua serán recolectadas y preservadas teniendo en cuenta cada uno de los parámetros considerados.
- Se procederá con el rotulado de los frascos.
- El transporte de los frascos y preservantes debe realizarse en coolers para evitar su contaminación.
- Se almacenarán las muestras en el recipiente térmico (cooler) de forma vertical, de manera que se encuentre bien protegido para evitar su rompimiento.
- Tomarán las lecturas de los parámetros de campo (Transparencia del agua SD).
- Se llenará la cadena de custodia debidamente con la información recogida durante los trabajos realizados.
- Se enviará las muestras al laboratorio para su análisis y estas deben ir acompañadas de su respectiva cadena de custodia.
- Al finalizar el muestreo, las muestras de agua deberán ser transportadas hasta el laboratorio debidamente refrigeradas con Ice pack, llevando consigo la cadena de custodia.

#### **3. Adquisición de imágenes de Landsat 9**

La imagen se descargará de la plataforma de la United States Geological Survey (<https://www.usgs.gov>), dichas imágenes están geométricamente corregidas. La imagen debe coincidir con la fecha en que se realizó la toma de datos en campo. La imagen para descargar es obtenida por el sensor OLI del satélite Landsat 9, del nivel uno, como una resolución espacial de 30 metros.

#### **4. Preprocesamiento de la imagen satelital de Landsat 9**



El preprocesamiento de la imagen satelital se realizará en el software QGIS, donde se utilizará el complemento de clasificación semiautomática, que es un complemento gratuito de código abierto para QGIS que permite la clasificación supervisada de imágenes de detección remota, proporcionando herramientas para la descarga, el pre procesamiento y el posprocesamiento de imágenes (Congedo, 2021).

Dentro de los procedimientos para la corrección radiométrica hasta la corrección atmosférica para derivar valores de reflectividad o reflectividad se describe a continuación:

Corrección radiométrica - Conversión a radiancia

(Ariza, 2013) Los datos de las bandas del sensor OLI del satélite Landsat pueden ser reescalados a los valores de reflectividad y/o radiancia en el techo de la atmósfera TOA, usando para ello los coeficientes radiométricos provistos en el archivo de metadato MTL.txt, tal y como se describe a continuación.

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L$$

Donde:

$L_{\lambda}$  = Es el valor de radiancia espectral en el techo de la atmósfera (TOA) medida en valores de (Watts/m<sup>2</sup> \* srad \* μm)

$M_L$  = Banda – Es el factor multiplicativo de escalado específico obtenido del metadato (RADIANCE\_MULT\_BAND\_x, donde x es el número de la banda)

$A_L$  = Banda – Es el factor aditivo de escalado específico obtenido del metadato (RADIANCE\_ADD\_BAND\_x, donde x es el número de la banda)

$Q_{cal}$  = Producto estándar cuantificado y calibrado por valores de píxel (DN). Este valor se refiere a cada una de las bandas de la imagen

### Conversión a reflectividad aparente TOA

La reflectividad espectral de un objetivo dependerá de sus propiedades físicas, biológicas y químicas, además de las condiciones de observación. La reflectividad también varía con la longitud de onda, lo que da lugar a las firmas de reflectividad espectral que permiten discriminar las características de la superficie y los tipos de cobertura de suelo, por lo tanto la reflectividad aparente TOA se puede calcular con la siguiente ecuación (Chuvieco, 2016):

$$\rho_k^* = \frac{D \pi L_{sen,k}}{E_{0,k} \cos \theta_i}$$

Donde:

$E_{0,k}$  = Es la irradiación solar en la parte superior de la atmósfera (TOA) en la banda espectral k.

$L_{sen,k}$  = Es la radiancia espectral en la banda k.

$\rho_k^*$  = Es la reflectividad aparente de la superficie en la banda k.

$\theta_i$  = Es el ángulo cenital del flujo incidente, formado por la vertical y los rayos solares

$D$  = Es un factor de corrección que tiene en cuenta las variaciones de la distancia tierra-sol.

### Corrección atmosférica

El método que se utilizara para Corrección atmosférica está basado en datos de imagen, se lo conoce como el método de Chávez, y su principal ventaja es que los datos necesarios para realizar la corrección atmosférica se obtienen del metadato de la imagen. Para ello, la reflectividad en la superficie se calcula con la siguiente ecuación (Sobrino et al., 2004):

$$\rho_{\text{sup}} = \frac{\pi(L_{\text{sat}} - L_p)d^2}{E_o \cos \theta_z T_z}$$

Donde:

$L_{\text{sat}}$  = Es la radiancia en el sensor.

$T_z$  = Es la transmisividad atmosférica entre el sol y la superficie.

$\theta_z$  = Es el ángulo solar cenital.

$E_o$  = Es la irradiación solar espectral en la parte superior de la atmósfera.

$d$  = Es la distancia tierra-sol en unidades astronómicas.

$L_p$  = Es la radiancia resultante de la interacción de la radiancia electromagnética con los componentes atmosféricos (moléculas y aerosoles) que se puede obtener con la siguiente ecuación (Sobrino et al., 2004):

$$L_p = L_{\text{min}} - L_{1\%}$$

Donde:

$L_{\text{min}}$  = es la radiancia que corresponde a un valor de recuento digital para el que la suma de todos los píxeles con recuentos digitales inferiores o iguales a este valor es igual al 0,01% de todos los píxeles de la imagen considerada.

$L_{1\%}$  = La radiancia del objeto que tiene un valor de reflectividad de 0,01 en los píxeles de la imagen. Donde se calcula con la siguiente ecuación (Sobrino et al., 2004):

$$L_{1\%} = \frac{0.01 \cos \theta_z T_z E_o}{\pi d^2}$$

Donde.

$\theta_z$  = Es el ángulo solar cenital.

$T_z$  = Es la transmisividad atmosférica entre el sol y la superficie.

$E_o$  = Es la irradiación solar espectral en la parte superior de la atmósfera.

$d$  = Es la distancia tierra-sol en unidades astronómicas.

### Extracción de valores de reflectividad de las bandas espectrales

Se utilizará una hoja de cálculo para cargar las coordenadas UTM de los puntos de donde se tomaron las muestras y mediciones al Software ArcGIS 10.8 en donde se utilizará la caja de herramientas ArcToolbox para extraer los valores de la reflectividad superficial de las bandas espectrales (B2, B3, B4, B5, B6 y B7).

### 5. Análisis de las muestras y mediciones tomadas in situ

Las muestras y mediciones in situ se tomarán en el mismo día y hora del paso

del satélite, hasta una hora antes y después, se tomarán en cuenta las condiciones climáticas del día en cuestión, por lo que se pretende realizar el muestreo en época de vaciante.

#### **Sólidos Suspendidos totales (SST)**

El análisis de las muestras para determinar la concentración de sólidos suspendidos Totales (SST) se realizará en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Ucayali, se realizará por el método estándar para el análisis y evaluación de aguas y aguas residuales (SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed.).

### **c) Descripción de variables a ser analizados en el objetivo específico**

#### **Sólidos Suspendidos Totales:**

Los sólidos suspendidos totales (SST) son partículas suspendidas en la superficie y/o corrientes de agua residual. Los sólidos suspendidos totales (SST) se consideran la cantidad residual retenida por un filtro de fibra de vidrio con un tamaño de poro nominal de 0,45 micrones y se refiere a las partículas que permanecen suspendidas y/o permanecen en las corrientes de agua superficial. (CAN, 2005).

#### **Reflectancia de las Imágenes Satelitales:**

La reflectancia es la relación entre la energía reflejada y la energía incidente en un cuerpo. La longitud de onda reflejada (no absorbida) determina el color del objeto.

### **d) Aplicación de prueba estadística inferencial.**

#### **Tratamiento de datos**

##### **a. Desarrollo de ecuaciones empíricas**

Se aplicarán regresiones lineales simples y múltiples entre los valores de reflectividad superficial de las bandas espectrales (B1, B2, B3, B4, B5, B6 y B7) y datos tomados en campo. El desarrollo de ecuaciones empíricas consistirá en buscar las mejores combinaciones de las bandas espectrales en regresiones lineales tomando en cuenta la base teórica de la mayor respuesta espectral para cada variable de calidad del agua abordada en el presente trabajo.

En las regresiones lineales simples y múltiples, se tomará la reflectividad superficial de las bandas espectrales como variables independientes (X) y los valores de las variables de calidad del agua tomadas en campo como variables dependientes (Y). Dichas regresiones se realizarán en una hoja de cálculo y el desempeño de las ecuaciones empíricas se evaluará de acuerdo a los siguientes parámetros estadísticos:

- Coeficiente de correlación de Pearson (r)
- coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>)
- Nivel de significancia (valor p).

Las ecuaciones empíricas de la regresión que presenten mejor desempeño tendrán las siguientes estructuras:

Regresión lineal simple

$$Y = b_0 + b_1X_1$$

Donde:

Y = es la variable respuesta (valores de la variable de calidad del agua derivada de la imagen satelital y datos de campo).

X = es la variable predictora (Reflectividad superficial de una sola banda espectral o relación de bandas)

b0 y b1= Coeficientes de regresión.

Regresión lineal múltiple

$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_nX_n$ .

Donde:

Y = es la variable respuesta (Valores de la variable de calidad del agua derivada de la imagen satelital y datos de campo).

X1, X2, X3 y Xn = son las variables predictoras (Reflectividad superficial de dos o más bandas espectrales)

b0, b1, b2, b3 y bn= Coeficientes de regresión.

#### **b. Aplicación de las ecuaciones empíricas a la imagen satelital**

Con las ecuaciones empíricas obtenidas al aplicar las regresiones lineales entre valores de reflectividad superficial de las bandas espectrales y datos de campo, se aplicará a un área delimitada (laguna Cashibococha) de la imagen satelital en el software ArcGis con la herramienta Raster Calculator para generar información detallada del comportamiento espacial de la variable que se abordará en el trabajo de investigación. Asimismo, con dicha información se podrá generar mapas temáticos de la distribución espacial de las variables de calidad del agua e identificar los niveles de estado trófico de acuerdo con el índice de estado trófico propuesto por Carlson (1977) y la OCDE (1982).

Asimismo, se comparará los valores de las variables de calidad del agua con los ECA-AGUA de la normativa peruana vigente para determinar si dichos valores se encuentran dentro de los estándares de calidad del agua para la categoría 4 E1.

#### **Tabla de recolección de datos por objetivos específicos.**

Tabla 5. Recolección de datos

Objetivos	Acciones metodológicas
<b>Objetivo 1.</b> Determinar los valores de reflectancia de las imágenes satelitales en la laguna Cashibococha.	Convertir los datos de radiancia a reflectancia de la superficie de la imagen satelital.  Se recopilará datos del procesamiento de las imágenes satelitales adquiridas el mismo día en el que se realizó la toma de datos en campo.
<b>Objetivo 2.</b> Determinar la calidad del agua mediante los valores de los sólidos suspendidos totales en los diferentes puntos de muestreo de la laguna Cashibococha.	De los puntos de muestreo de agua de la Laguna Cashibococha, se aplicarán las ecuaciones en las bandas multiespectrales.
<b>Objetivo 3.</b>	

Conocer el comportamiento de los sólidos suspendidos totales a partir de los datos de la reflectancia de las imágenes satelitales.

## VIII. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDADES	AÑO 2022					
	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Revisión y aprobación del proyecto	X					
Toma de muestreo		X				
Análisis de muestra			X			
Selección de imágenes satelitales				X		
Procesamiento de información					X	
Elaboración del borrador del informe						X
Informe final						X

## VII. PRESUPUESTO

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
1	<b>MATERIALES DE ESCRITORIO</b>				<b>S/. 30.00</b>
1.1	Tablero	Unidad	1	S/. 15.00	S/. 15.00
1.2	Libreta de campo	Unidad	1	S/. 5.00	S/. 5.00
1.3	Lapicero	Unidad	10	S/. 1.00	S/. 10.00
2	<b>MATERIALES</b>				<b>S/. 685.00</b>
2.1	Linterna	Unidad	1	S/. 5.00	S/. 15.00
2.2	Frascos de vidrio	Unidad	12	S/. 35.00	S/. 420.00
2.3	Cooler	Unidad	2	S/. 100.00	S/. 200.00
2.4	Salvavidas	Unidad	1	S/. 50.00	S/. 50.00
3	<b>EQUIPOS</b>				<b>S/. 2,250.00</b>
3.1	GPS	Unidad	1	S/. 1500.00	S/. 1500.00
3.2	Cámara fotográfica	Unidad	1	S/. 750.00	S/. 750.00
4	<b>HERRAMIENTAS</b>				<b>S/. 200.00</b>
4.1	Disco de Secchi	Unidad	2	S/. 100.00	S/. 200.00

5	TRANSPORTE				S/. 325.00
5.1	Combustible	Galones	5	S/. 15.00	S/. 75.00
5.2	Servicio de transporte en bote	servicio	1	200	S/. 200.00
6	OTROS RECURSOS				S/. 1,200.00
6.1	Análisis de las muestras (SST)	Unidad	10	S/. 100.00	S/. 1000.00
7	IMPREVISTOS 5%				S/. 234.5
TOTAL					S/.4924.5

## VIII.BIBLIOGRAFÍA

- Ariza, A. (2013). Descripción y corrección de productos landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission). *Instituto Geográfico Agustín Codazzi*. doi:<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.21308.44167>
- Arocena, R. (Ed.). (2016). *Principios y Metodos de Limnología* (2da ed. ed.). Udelar. FC. DIRAC. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12008/27350>
- Autoridad Nacional del Agua - ANA. (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad del Agua de los Recurso Hidricos Superficiales. Autoridad Nacional del Agua - ANA. (2018a). *Clasificacion de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12543/2439>
- Autoridad Nacional del Agua - ANA. (2018b). *Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales*. Obtenido de <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/metodologia-para-la-determinacion-del-indice-de-calidad-de-agua-ica-pe-aplicado-los>
- Ayala Jesus, C., & Herrera Diaz, M. (2019). Monitoreo de la calidad del agua del lago Junin, mediante tecnicas de teledeteccion espacial. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 2(2), 23-31. doi:[doi.org/10.46380/rias.v2i2.46](http://doi.org/10.46380/rias.v2i2.46)
- Briceño-de-Urbaneja, I., Pérez, W., San Miguel, D., & Ramos, S. (2018). Determinación de calidad de agua en el Lago Vichuquén, con imagenes de satelite Landsat 8, sensor OLI, año 2016, Chile. *Revista de Teledeteccion*, 52, 67-68. doi:<https://doi.org/10.4995/raet.2018.10126>
- Carlson, R. (1977). A Trophic State Index for Lakes. *Limnology and*



- Oceanography*, 22, 361-369. doi:doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de la Teledeteccion Espacial* (2da ed. ed.). RIALP, S.A.
- Chuvieco, E. (2008). *Teledeteccion Ambiental: La observacion de la tierra desde el espacio* (3era ed. ed.). Ariel, S.A.
- Chuvieco, E. (2016). *Fundamentals of Satellite Remote Sensing: An Environmental Approach, Second Edition* (2da ed. ed.). CRC Press.
- 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.  
doi:https://doi.org/10.21105/joss.03172
- Denchak, M., & Sturm, M. (2019). *Natural Resources Defense Council*. Obtenido de <https://www.nrdc.org/es/stories/floraciones-algas-nocivas-agua-dulce-101#types>
- Doña, C., JM Sánchez, Caselles, V., JA Domínguez, & Camacho, A. (2014). Relaciones Empiricas para el Seguimiento del Agua de los Lagos y Embalses Mediante Imagenes Multiespectrales. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(5), 1632-1641. doi:doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2301295
- Estruch Benito, F. (2010). Analisis de la clorofila a en el lago a partir de un imagen multiespectral Quickbird en la zona costera de gandia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/handle/10251/9176>
- Galizia Tundisi, J., & Matsumura Tundisi, T. (2012). *Limnology*. CRC Press.
- Garay Ramirez, P. (Ed.). (2015). *Yarinacocha 51 años de Historia*. P.G Editores E.I.R.L. Obtenido de [http://www.muniyarinacocha.gob.pe/pdf/2015/libro\\_completo.pdf](http://www.muniyarinacocha.gob.pe/pdf/2015/libro_completo.pdf)
- Gomez Diaz, J., & Dalence Martinic, J. (2015). Determinación del parámetro sólidos suspendidos totales (SST) mediante imágenes de sensores ópticos en un tramo de la cuenca media del río Bogotá (Colombia). *UD y la GEOMÁTICA*(9), 19-27. doi:https://doi.org/10.14483/23448407.7943
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodologia de la Investigacion* (6a ed.). McGRAW-HILL.
- Marin López, C. (2012). *Calidad del agua de la laguna yarinacocha para uso recreacional*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Obtenido de



<http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1083>

OCDE. (1982). Eutrophisation des eaux. Méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte.

Oliveros Oliver, J. (2014). Aplicacion de Percepcion Remota para la Dteccion de Florecimientos de Algas en Valle de Bravo. *Maestría*. Universidad Nacional Autonoma de Mexico. Obtenido de <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/6961>

## **IX. ANEXO**

MATRIZ DE CONSISTENCIA					
TÍTULO: DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES DE LA LAGUNA CASHIBOCOCHA, UCAYALI, 2022.					
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN
<p><b>GENERAL:</b> ¿Cómo determinar la calidad del agua mediante imágenes satelitales de la laguna Cashibococha?</p> <p><b>ESPECÍFICOS:</b> ¿Qué valores de reflectancia se determinan con imágenes satelitales de la laguna Cashibococha?</p> <p>¿Qué valores de sólidos suspendidos totales se encontrarán en los diferentes puntos de muestreo de la laguna Cashibococha?</p> <p>¿Cuál es el comportamiento de los sólidos suspendidos totales a partir de los datos de la reflectancia de las imágenes satelitales de la laguna Cashibococha?</p>	<p><b>GENERAL</b> Determinar la calidad del agua mediante imágenes satelitales de la laguna Cashibococha.</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b> Determinar los valores de reflectancia de las imágenes satelitales de la laguna Cashibococha.</p> <p>Determinar la calidad del agua mediante los valores de los sólidos suspendidos totales en los diferentes puntos de muestreo de la laguna Cashibococha</p> <p>Conocer el comportamiento de los sólidos suspendidos totales a partir de los datos de la reflectancia de las imágenes satelitales de la laguna Cashibococha</p>	<p><b>HIPÓTESIS</b> Con imágenes satelitales se determina la calidad del agua de la laguna Cashibococha.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b> Los valores de reflectancia de la laguna Cashibococha se determinan mediante imágenes satelitales.</p> <p>Los valores de los sólidos suspendidos totales influyen en la determinación de la calidad del agua en la laguna Cashibococha.</p> <p>El comportamiento de los sólidos suspendidos totales varía a partir de los datos de la reflectancia de imágenes satelitales de la laguna Cashibococha.</p>	<p><b>INDEPENDIENTE</b> Sólidos Suspendidos Totales</p> <p><b>DEPENDIENTE</b> Reflectancia de las imágenes satelitales</p>	<p>- ECA Agua-Cat. IV (<math>\leq 25</math> mg/L)</p> <p>- Valores de Reflectividad</p>	<p>Investigación No experimental del tipo descriptivo correlacional</p>