

# Aplicación de teledetección para el análisis de concentración de Clorofila en la Cuenca Pucará

Charca-Vilca, Jordan Kingler; Chipani-Layme, Aldo Efrain; Catacora-Castro, Nayeli Raquel

*EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión*

---

## **Resumen.**

El presente estudio analiza la concentración de Clorofila-A en la cuenca hidrográfica Pucara, ubicada en el departamento de Puno, Perú, donde se utilizaron técnicas de teledetección a partir de imágenes satelitales del sensor OLI del satélite Landsat 8. La importancia del agua como recurso vital y su estrecha relación con la salud ambiental impulsaron la investigación, que se centra en medir indirectamente la presencia de fitoplancton y procesos de eutrofización en los cuerpos de agua de la cuenca. Se aplicó un modelo de regresión multivariado basado en cinco bandas espectrales (B1 a B5) para estimar las concentraciones de clorofila-a, procesando los datos en el software especializado de ArcGIS 10.8.2.

Los resultados encontrados muestran concentraciones que varían entre 0.012 como valor mínimo y 24.989  $\mu\text{g/L}$  como valor máximo, identificándose zonas con diferente estado trófico. Los ríos como el Ramis, Azángaro y Llalimayo presentaron aguas limpias u oligotróficas con baja productividad biológica, mientras que en diferentes tramos del río Ayaviri y Ventanilla reflejaron un estado eutrófico con alta productividad biológica. Aunque no se encontraron zonas hipertróficas.

Este análisis realizado evidencia que algunos sectores de la cuenca Pucara se encuentran en riesgo de eutrofización a causa de aportes de nutrientes derivados de actividades humanas, destacando la importancia de la vigilancia y monitoreo ambiental continua. Se concluye que la teledetección ofrece una herramienta eficaz para la evaluación ambiental, facilitando la gestión hídrica sostenible y la identificación de zonas críticas que requieren intervención para preservar la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos.

*Palabras claves: Teledetección, Clorofila-A, Cuenca Pucara*

## **Abstract.**

This study analyzes chlorophyll-a concentrations in the Pucara watershed, located in the department of Puno, Peru. Remote sensing techniques were used using satellite images from the Landsat 8 satellite's OLI sensor. The importance of water as a vital resource and its close relationship with environmental health prompted this research, which focuses on indirectly measuring the presence of phytoplankton and eutrophication processes in the

watershed's bodies of water. A multivariate regression model based on five spectral bands (B1 to B5) was applied to estimate chlorophyll-a concentrations, processing the data in specialized ArcGIS 10.8.2 software.

The results show concentrations ranging from 0.012 as the minimum value to 24.989  $\mu\text{g/L}$  as the maximum value, identifying areas with different trophic status. Rivers such as the Ramis, Azángaro, and Llalimayo presented clean or oligotrophic waters with low biological productivity, while different stretches of the Ayaviri and Ventanilla Rivers reflected a eutrophic state with high biological productivity. However, no hypertrophic zones were found.

This analysis shows that some sectors of the Pucara Basin are at risk of eutrophication due to nutrient inputs derived from human activities, highlighting the importance of continuous environmental surveillance and monitoring. It is concluded that remote sensing offers an effective tool for environmental assessment, facilitating sustainable water management and the identification of critical areas requiring intervention to preserve water quality and the health of aquatic ecosystems.

*Keywords: Remote sensing, Chlorophyll-A, Pucara Basin*

---

## **1. Introducción.**

El agua es un recurso vital para la vida y en específico el desarrollo de comunidades por esa razón sabemos que el recurso hídrico debe de ser administrado de una forma integral en beneficio de los ecosistemas que hacen uso de sus servicios, llevando así a la sociedad a asumir responsabilidades entorno a su cantidad, calidad, conservación y control de uso adecuado para los fines que las autoridades dispongan. En la actualidad, la exigencia en términos de calidad y cantidad por parte de los diferentes sectores poblacionales, energéticos, agricultura, industriales, etc. Ocasionan que los recursos hídricos sean sometidos a la vulnerabilidad de la contaminación. (Martínez Valdés & Villalejo García, 2018).

Siendo de esta manera la evaluación de la calidad del agua se realiza a partir de un conjunto de variables físicas, químicas y biológicas, que nos proporcionan resultados obtenidos en un laboratorio que solo son interpretados y/o analizados por profesionales entendidos en la materia. El uso de los índices de calidad de agua (ICA), facilitan la comunicación de los resultados obtenidos y estos se expresen de manera comprensible para todas las partes interesadas en conocer la calidad del recurso hídrico en estudio, una manera de contribuir a la mejor interpretación y entendimiento de los datos de monitoreo

de las aguas es a través de los Índices de calidad de Agua (ICA), que son herramientas que permiten asignar un valor de calidad a partir del análisis de diversos parámetros, la idea es convertir los datos en información y está en conocimiento. (Tunas, 2014)

La evaluación de la calidad del agua es un elemento clave de la gestión integrada de los recursos hídricos, en particular en las cuencas hidrográficas con alta sensibilidad ecológica e importancia socioecológica. La cuenca de Pucara, en el departamento peruano de Puno, es un ejemplo paradigmático de cuenca endorreica, donde las masas de agua no desembocan en el mar, sino que alimentan directamente al lago Titicaca, uno de los ecosistemas acuáticos más importantes de Sudamérica (García Aragón, 2016).

En diferentes estudios se encontró que los cuerpos de agua en esta región presentan signos de deterioro de la calidad, debidos en su mayoría a actividades agrícolas, vertimiento de aguas residuales sin tratamiento y procesos de erosión y sedimentación intensificados por el cambio climático. En un informe de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) el cual evaluó 91 puntos de monitoreo en Puno, incluyendo 18 en la cuenca Pucará, y se encontraron variantes significativas en la calidad del agua superficial (ANA,2020). Es por ello que esta característica permite que cualquier alteración en la calidad del agua tenga impactos acumulativos y extensos sobre los ecosistemas y la salud humana.

De la misma manera, algunos estudios hidrogeológicos realizados en la parte alta de la cuenca del río Pucará han identificado características hidrogeológicas y propiedades hidroquímicas del agua subterránea, recolectadas en la microcuenca Chacapalca, ubicada en el distrito de Ocuvi. Revelando a través de estos estudios que los acuíferos fisurados de naturaleza volcánica son de baja productividad y que la zona de recarga se ubica en la parte alta de la microcuenca, donde los acuíferos se alimentan directamente de la precipitación pluvial (Yanapa, 2016).

En este contexto, la clorofila-A se convierte en una variable clave para el monitoreo de la salud ambiental de sistemas acuáticos. Su medición directa es costosa y limitada espacialmente.

La concentración de clorofila en el agua es un indicador clave para evaluar la calidad de los ecosistemas acuáticos, siendo que la misma nos ayuda a determinar la presencia y actividad del fitoplancton, el mismo siendo fundamental en la producción primaria de los cuerpos de agua. Bajo esta idea entendemos que la clorofila-a es el pigmento fotosintético predominante en las algas y su medición se realiza comúnmente mediante técnicas espectrofotométricas, fluorimétricas o cromatográficas. (Mendez, s/f)

Para el correcto análisis de la clorofila en muestras de agua se suele basar en la extracción de pigmentos mediante solventes como la acetona y su posterior cuantificación a través de espectrofotometría. Permittiéndonos a través de este método obtener datos precisos sobre la concentración de clorofila-a y otros feopigmentos, proporcionando información relevante sobre la productividad biológica y posibles procesos de eutrofización (CIPOLLETTI, 2023); sin embargo, mediante modelos espectrales derivados de imágenes satelitales, se puede obtener una representación espacial precisa y continua de este parámetro.

La metodología aplicada en este estudio se basa en el uso de las bandas 1 a 5 del sensor OLI de Landsat 8, con procesamiento digital en el entorno del software ArcGIS. La fórmula empleada, derivada de modelos multivariados, permite estimar la concentración de clorofila-A con una aproximación adecuada para fines de monitoreo ambiental a escala de cuenca.

El presente artículo tiene como propósito mostrar una aplicación práctica del análisis de clorofila-A mediante teledetección en la cuenca Pucara durante el periodo 2024–2025. Se espera que los resultados obtenidos contribuyan a mejorar la comprensión de los procesos de eutrofización en los cuerpos de agua de la región y sirvan como insumo técnico para autoridades ambientales, gestores hídricos y comunidades locales. Asimismo, se busca fortalecer la integración entre la tecnología satelital y la planificación ambiental, promoviendo un enfoque territorial más sostenible y resiliente en la gestión del agua.

## **2. Metodología.**

### **2.1. Zona de estudio**

Políticamente la Cuenca Hidrográfica Pucara, pertenece a la vertiente del Lago Titicaca, y se encuentra ubicada en la región del Perú, en las Provincias de Azángaro, Lampa y Melgar, en el departamento de Puno. La cuenca es considerada cerrada o endorreica debido a que sus ríos no tienen salida al mar vertiendo sus aguas al Lago Titicaca. La demarcación política de la cuenca se indica en la siguiente imagen 01, Imagen 01 del Anexo. (Garcia Aragon, 2016)

## Imagen 01

*Ubicación de la Cuenca Pucara.*



*Fuente propia 2025*

## 2.2. Población y muestra:

La población que se consideró en este estudio, pertenece a toda el área geográfica de la cuenca Pucara desde el año 2024-2025, el cual fue monitoreada y cubierta a través de imágenes del sensor Landsat 8. Para la evaluación de la presencia y distribución de la clorofila se optó por muestrear toda la población geográfica bajo un enfoque censal, el cual no permitió obtener un panorama detallado del estado ambiental de la cuenca Pucara.

## 2.3 Procedimiento Metodología:

Dentro de la metodología del presente estudio se tomó como referencia principal el Manual de teledetección aplicada al monitoreo de la concentración de Clorofila-A utilizando imágenes Landsat 8, elaborado por Carlos José Chavarría Gaitán, bajo el respaldo académico de la Universidad de San Carlos de Guatemala, (2022). Este manual nos proporciona los lineamientos técnicos y procedimientos específicos para el análisis e interpretación de los datos obtenidos por los satélites orientados a la estimación de la

Clorofila-A en los cuerpos de agua, mediante algoritmos validados y el uso de bandas espectrales del sensor Landsat 8.

### 2.3.1 Obtención de las imágenes satelitales:

Para la obtención de los datos en imágenes satelitales se acudió a la plataforma del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés: United States Geological Survey), el cual proporciona el acceso a imágenes captadas por varios satélites de manera gratuita. Para la obtención de datos se eligió específicamente las imágenes generadas por el satélite Landsat 8, debido a su alta resolución espacial (30 metros) y la capacidad de analizar variables biofísicas, las imágenes seleccionadas fueron consideradas con criterios como cobertura libre, temporalidad dentro del año 2024 y la representación adecuada en condiciones hídricas con relación a la clorofila, donde se emplearon las bandas espectrales específicas del satélite Landsat 8, cuyas características se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 1**

*Características de las Bandas del Satélite Landsat 8.*

<b>SENSOR</b>	<b>N° DE BANDA</b>	<b>NOMBRE DE BANDA</b>	<b>LONGITUD DE ONDA (MICRÓMETROS)</b>	<b>RESOLUCIÓN (METROS)</b>
OLI	1	Costera	0.43 – 0.45	30
OLI	2	Azul	0.45 – 0.51	30
OLI	3	Verde	0.53 – 0.59	30
OLI	4	Rojo	0.63 – 0.67	30
OLI	5	Infrarrojo Cercano (NIR)	0.85 – 0.88	30

*Fuente propia 2025*

### 2.3.2. Procesamiento de datos

Una vez obtenidas las imágenes satelitales requeridas, específicamente (Banda 1, 2, 3, 4 y 5) y realizando la delimitación espacial de la zona de estudio que corresponde a toda el área de la cuenca de Pucara, se realizó el procesamiento digital de los datos utilizando el Software especializado ArcGIS, donde se aplicaron las correcciones

radiométricas y espaciales necesarias. A partir de estos datos se procedió a realizar los cálculos de concentración de Clorofila-A mediante la aplicación de un Algoritmo espectral específico, siguiendo la siguiente fórmula:

$$\text{Chl-a} = 1.05 + 103.37 * B1 - 221.63 * B2 + 119.1 * B3 - 19.09 * B4 + 21.39 * B5$$

*\*Nota: Todas las bandas pertenecen al Landsat 8*

**Donde:**

**Chl-a:** Clorofila-A

**B1:** Banda 1

**B2:** Banda 2

**B3:** Banda 3

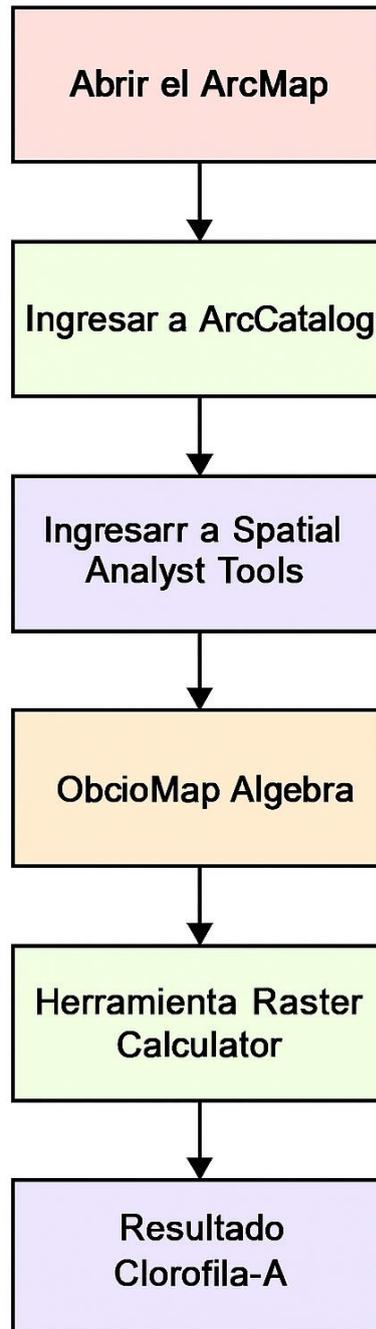
**B4:** Banda 4

**B5:** Banda 5

La fórmula utilizada es un modelo que representa una regresión lineal múltiple, donde se combinan los valores de reflectancia de 5 bandas espectrales para calcular la cantidad de concentración de la clorofila presente en el agua. Y los coeficientes multiplicadores representan el grado de sensibilidad de una banda específica con respecto a la Clorofila-A, de acuerdo a su comportamiento espectral.

Donde la fórmula permite estimar de forma remota y no invasiva la concentración de la Clorofila-A, lo que facilita el monitoreo ambiental de lagos, lagunas y ríos sin la necesidad de realizar muestreos físicos y continuos.

**a) Procedimiento en ArcGIS:**



## 2.4. Materiales y herramientas:

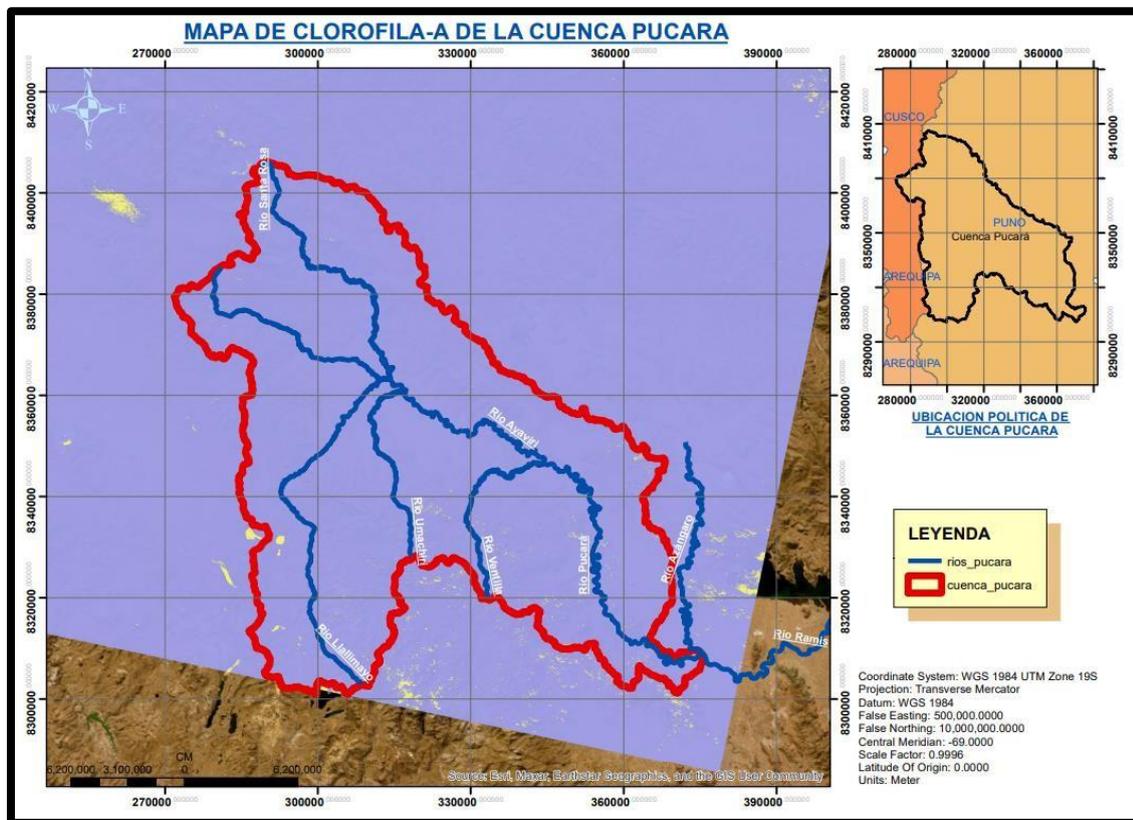
Para el análisis de estos resultados se usó: ArcGIS 10.8.2., USGS Earth Explorer (Imágenes Satelitales de Landsat 8), Geo Servidores de MINAM, una Laptop I5, 8 GB RAM y una libreta de apuntes

## 3. Resultados y discusiones.

Se emplearon imágenes satelitales del sensor Landsat 8 (Banda 1, 2, 3, 4 y 5, las cuales son fundamentales para la estimación espectral) correspondientes al periodo entre el 21 de mayo del 2024 y el 21 de mayo del 2025, seleccionadas por su disponibilidad, calidad radiométrica y ausencia de nubosidad. Las imágenes fueron corregidas atmosféricamente mediante el método DOS1 (Dark Object Subtraction 1), una técnica utilizada para eliminar los efectos de dispersión atmosférica, posteriormente las imágenes fueron recortadas espacialmente al área de interés del cuerpo de agua mediante la aplicación de una máscara ráster.

### Imagen 02

*Mapa de Clorofila-A en la cuenca Pucara.*



*Fuente propia 2025*

Según García Fernández y Moreno Moreno (2024), por medio de la teledetección se ha demostrado que es una herramienta esencial para la estimación de la clorofila-a en cuerpos de agua, facilitando el monitoreo de la calidad sin necesidad de muestreos físicos continuos.

**Tabla 2**

*Concentración de clorofila-A divididos por áreas. En la cuenca*

<b>Ríos en la cuenca</b>	<b>área km<sup>2</sup></b>	<b>Concentración (µg/L)</b>
<b>Pucara</b>		
Rio Ramis	320.0011	0.012
Rio Azángaro	321.346	1.111
Rio Llalimayo	565.9968	1.205
Rio Ayaviri 1	718.2368	2.809
Rio Chuncapamayo	762.1447	5.111
Rio Santa Rosa	107.7436	5.566
Rio Umachiri	792.1224	5.666
Rio Ayaviri 2	683.4545	5.989
Rio Pucara	232.3671	8.931
Rio Ventilla	441.3741	10.123
Rio Ayaviri 3	253.1212	16.212
Rio Ayaviri 4	343.2071	24.989

*Fuente propia 2025*

Los datos de la Tabla 2 muestran las concentraciones de la Clorofila-A en los diversos ríos de la cuenca de Pucara, que muestran concentraciones extremadamente bajas hasta los valores relativamente altos.

**Tabla 3**

*Valores mínimos y máximos de Clorofila-A encontrados.*

<b>Concentración</b>	<b>(µg/L)</b>	<b>Zonas Críticas</b>
Mínima	0.012	Rio Ramis
Máxima	24.989	Rio Ayaviri 4

*Fuente propia 2025*

Entre los valores obtenidos en el presente estudio se tiene una oscilación entre 0.012 µg/L y 24.989 µg/L, lo que indica una heterogeneidad en los niveles de productividad biológica. De ser comparados estos resultados con el Índice de Estado Trófico de Carlson

(1977), se observa que algunos ríos como el Ramis, Azángaro y Llalimayo presentan aguas limpias y oligotróficas, esto sugiere una baja concentración de nutrientes en el agua y una productividad primaria reducida. Estudios previos han demostrado que los sistemas acuáticos oligotróficos tienden a tener una mayor transparencia del agua y una menor presencia de fitoplancton (Delegido et al., 2014).

**Tabla 4**

*Índice del Estado Trófico (TSI) de la Clorofila-A.*

<b>TSI</b>	<b>Clorofila-a (µg/L)</b>	<b>Estado Trófico</b>	<b>Productividad Biológica</b>
<30–40	0–2.6	Oligotrófico	Baja productividad
40–50	2.6–7.3	Mesotrófico	Productividad moderada
50–70	7.3–56	Eutrófico	Alta productividad
70–100+	56–155+	Hipertrófico	Muy alta productividad

*Fuente. Índice de estado trófico de Carlson, 1977*

Al comparar los valores de la tabla 2 valores con los rangos de TSI de la Tabla 4, se pueden identificar las diferentes categorías de la productividad biológica y distintos estados tróficos que representan la salud y calidad del agua en la cuenca.

**Tabla 5**

*Niveles de Clorofila-A TSI*

<b>Nivel de Clorofila-a</b>	<b>TSI</b>	<b>Ríos</b>	<b>Significado Ambiental</b>
Bajo	< 40	Ramis, Azángaro y Llalimayo	Agua limpia u oligotrófica (baja productividad biológica)
Medio	40 – 50	Ayaviri, Chuncamayú, Santa Rosa y Umachiri	Agua mesotrófica (productividad moderada)
Alto	50-70	Ayaviri (2,3 y 4) y ventanilla	Agua eutrófica (alta productividad)
Muy Alto	>70	Ninguno	Agua hipertrófica (Muy alta productividad)

*Fuente propia 2025*

En la presente tabla se puede apreciar tramos del río Ayaviri y Ventanilla con concentraciones elevadas de clorofila-a, situándose dentro del rango eutrófico (7.3–56 µg/L),

lo que indica una alta actividad biológica y una mayor carga de nutrientes en el agua. Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2020), estos niveles podrían deberse a los resultados del vertimiento de aguas residuales y el uso intensivo de fertilizantes agrícolas en la zona. La presencia de actividad eutrófica sugiere una potencial alteración en la calidad del agua, afectando el oxígeno disuelto y promoviendo la proliferación de algas, lo cual concuerda con las observaciones realizadas en otras cuencas del Perú (Martínez Valdés & Villalejo García, 2018).

A partir de este análisis podemos clasificar los estados tróficos de la cuenca de Pucara con presencia de Clorofila-A de la siguiente manera:

- **Bajo:** Estos ríos tienen la concentración de Clorofila-A muy baja, las cuales indican que estos ríos tienen una baja carga de nutrientes en el agua (Nitrógeno y Fósforo), por lo tanto, baja productividad primaria. Es decir, son sistemas relativamente limpios y con bajo riesgo de eutrofización.
- **Medio:** Estos ríos representan un estado de transición, donde se observa un incremento de nutrientes y de mayor actividad biológica. Aunque la productividad es moderada, podrían ser zonas vulnerables a futuros procesos de eutrofización si la carga de nutrientes continúa aumentando.
- **Alto:** Los valores de los ríos corresponden a un estado eutrófico caracterizado por una alta productividad biológica, con potenciales consecuencias como la proliferación de algas y problemas de calidad de agua (disminuyendo el oxígeno disuelto, afectación a la biodiversidad).
- Además se considera que el río Ayaviri presenta concentraciones elevadas en diferentes tramos, lo que significa que este río está recibiendo aportes de posibles nutrientes de las descargas domésticas, agrícolas o ganaderas.
- **Muy Alto:** No se registraron concentraciones mayores a 56 µg/L en ninguno de los ríos, por lo tanto, no se identifican zonas hipertróficas en la cuenca, es decir, aunque hay área con productividad elevada, no llegan a los niveles extremos de eutrofización.

#### 4. Conclusiones.

Los resultados obtenidos mediante el procesamiento y análisis de las imágenes satelitales de Landsat 8 muestran claramente la distribución espacial y los rangos de concentración de Clorofila-A en los principales ríos de la cuenca de Pucara durante el periodo

2024-2025. Y la metodología permitió generar un mapa temático que muestra la variabilidad en la concentración de la Clorofila-A a lo largo de red hidrográfica de la cuenca.

Los datos cuantitativos presentados revelan que hay ríos con bajas concentraciones de Clorofila-A, así como también hay valores donde se identifican tramos en los ríos que presentan concreciones altas como es el caso de río Ayaviri, resultado que indica estados mesotróficos y eutróficos en dichas zonas, caracterizado por un aumento en la carga de nutrientes y mayor actividad biológica. Estos resultados son consistentes con las observaciones de campo y reportes de previos que señalan presiones antropogénicas en la cuenca, como descargas domesticas sin tratamiento y prácticas agrícolas intensivas.

Aunque no se identificaron zonas hipertróficas en la cuenca, la existencia de áreas con niveles eutróficos en el rio Ayaviri y otros ríos debe ser considerada como una alerta temprana para la gestión ambiental. Es fundamental continuar con el monitoreo y reforzar las políticas de manejo de aguas residuales, uso agrícola sostenible y educación ambiental para prevenir la progresión hacia estados de eutrofización mas severos.

## Bibliografía.

- ANA. (2020). ANA resultados de la calidad del agua de 91 puntos identificados en Puno. Gob.pe. <https://www.gob.pe/institucion/ana/noticias/323432-ana-difundio-resultados-de-la-calidad-del-agua-de-91-puntos-identificados-en-puno>
- Carlson, R. E. (1977). "A trophic state index for lakes." *Limnology and Oceanography*, 22(2), pp. 361-369.
- Chavarría Gaitán, Carlos José (2022). "Teledetección Aplicada al Monitoreo de la Concentración de Clorofila-A utilizando imágenes Landsat 8". Guatemala. Obtenido de:  
<https://drive.google.com/file/d/1sYDmozM29sU0PUAVdNNVEYmqwXwQe1v9/view>
- CIPOLLETTI. (2023, julio). *DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA a Y FEOPIGMENTOS*. Gob.ar. <https://www.aic.gob.ar/sitio/archivos/202312/anexo%20vii.%20protocolo%20clorofila.pdf>
- Delegido, J., Verrelst, J., Rivera, J. P., & Moreno, J. (2014). "Modelos espectrales para la estimación de clorofila en ecosistemas acuáticos." *Remote Sensing of Environment*, 148, pp. 1-12.
- Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental, (2022). "Evaluación de modelos de Clorofila-a con imágenes Sentinel 2 en el embalse Palmar, Río Negro, Uruguay". Montevideo, Uruguay. Obtenido en:  
[https://www.ambiente.gub.uy/oan/documentos/Serie\\_InfTec\\_SivInformacionAmbienta\\_Clorofilaa\\_junio2022.pdf](https://www.ambiente.gub.uy/oan/documentos/Serie_InfTec_SivInformacionAmbienta_Clorofilaa_junio2022.pdf)
- INDICADORES AMBIENTALES. (s/f). Gub.uy. Recuperado el 30 de mayo de 2025, de [https://www.ambiente.gub.uy/indicadores\\_ambientales/ficha/oan-concentracion-de-clorofila-a/](https://www.ambiente.gub.uy/indicadores_ambientales/ficha/oan-concentracion-de-clorofila-a/)
- García Aragon, F. (2016). "Informe N°100-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI". Lima, Perú. Obtenido de:  
[https://repositorio.oefa.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12788/410/Informe\\_100-2016-OEFA-DE-SDLB-CEAI.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.oefa.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12788/410/Informe_100-2016-OEFA-DE-SDLB-CEAI.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- García Fernández, A., & Moreno Moreno, J. (2024). "Teledetección aplicada al monitoreo de calidad del agua: avances y perspectivas." *Revista Internacional de Medio Ambiente*, 12(3), pp. 45-62

- Martínez Valdés, Y., & Villalejo García, V. M. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(1), 58–72.
- Menendez, I. M. (s/f). *Concentración de clorofila en muestras de agua*. Emicasolar.com. Recuperado el 29 de mayo de 2025, de <https://www.emicasolar.com/wp-content/uploads/2021/10/Concentracion-de-clorofila-en-muestras-de-agua.pdf>
- Tunas, L. (2014). Índice canadiense de calidad de las aguas para la cuenca del río Naranjo, provincia Las Tunas, Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3), 11–16.
- Yanapa, B. Q. (2016). Hidrogeología e hidroquímica de la parte alta de la cuenca del río Pucará - microcuenca del río Chacapalca. *www.academia.edu*. [https://www.academia.edu/106574410/Hidrogeologia\\_e\\_hidroquimica\\_de\\_la\\_parte\\_alta\\_de\\_la\\_cuenca\\_del\\_r%C3%ADo\\_Pucar%C3%A1\\_microcuenca\\_del\\_r%C3%ADo\\_Chacapalca](https://www.academia.edu/106574410/Hidrogeologia_e_hidroquimica_de_la_parte_alta_de_la_cuenca_del_rio_Pucar%C3%A1_microcuenca_del_r%C3%ADo_Chacapalca)