

Análisis Espacio-Temporal de la Calidad del Agua en la Laguna Chacas utilizando *Myriophyllum quitense* como Bioindicador y Herramientas Geoespaciales en ArcMap (2024–2025)

Yojan David Lopez Condori ^{a*}, Judith Hilaita Quispea ^a, Angie Rebeca Leonardo Rojas ^a, Daysi Suni Huamani^a

^aUniversidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, EP Ingeniería Ambiental Lima, Peru.

Resumen

La investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua de la laguna de Chacas (Juliaca, Puno) mediante el uso de la planta acuática *Myriophyllum quitense* como bioindicador, complementado con análisis físico-químicos y espaciales (SIG con ArcMap). Se realizaron dos campañas de muestreo (2024–2025) en tres puntos del espejo de agua, midiendo los parámetros pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y temperatura. Los resultados mostraron un panorama de deterioro: en junio de 2025 un punto presentó un pH de 10.07, muy por encima del rango permisible (6.5–8.5, D.S. N.º 004-2017-MINAM, el oxígeno disuelto exhibió variaciones amplias (hasta 8.96 mg/L en 2025) y la conductividad evidenció alta mineralización del agua. La temperatura permaneció dentro de rangos adecuados para el ecosistema altoandino. La integración de SIG (ArcMap) permitió además delimitar las zonas con mayor deterioro, orientando la toma de decisiones ambientales. La presencia y estado de *M. quitense* se correlacionaron con estos cambios fisicoquímicos, confirmando su efectividad como bioindicador natural. En conjunto, los hallazgos indican un progresivo deterioro del ecosistema acuático, subrayando la necesidad de acciones preventivas y correctivas basadas en la normativa ambiental vigente.

Palabras clave: *Myriophyllum quitense*, bioindicador, análisis geoespacial, laguna de Chacas, SIG, parámetros fisicoquímicos, sostenibilidad ambiental.

Abstract

This research aimed to evaluate the water quality of Chacas Lagoon (Juliaca, Puno) using the aquatic plant *Myriophyllum quitense* as a bioindicator, complemented by physical-chemical and spatial analysis (GIS with ArcMap). Two sampling campaigns were conducted (2024–2025) at three points in the water surface, measuring pH, dissolved oxygen, electrical conductivity, and temperature. The results showed a picture of deterioration: in June 2025, one point had a pH of 10.07, well above the permissible range (6.5–8.5, Supreme Decree No. 004-2017-MINAM), dissolved oxygen exhibited wide variations (up to 8.96 mg/L in 2025), and conductivity showed high water mineralization. The integration of GIS (ArcMap) also made it possible to delimit the areas with the greatest deterioration, guiding environmental decision-making. The presence and status of *M. quitense* were correlated with these physicochemical changes, confirming its effectiveness as a

* Autor de correspondencia: Yojan Lopez Condori
Km. 06 Carretera salida Arequipa, Chullunquiani, Juliaca
Tel.: 903462056
E-mail: yojan.lopez@upeu.edu.pe

natural bioindicator. Overall, the results indicate a progressive deterioration of the aquatic ecosystem, underscoring the need for preventive and corrective actions based on current environmental regulations.

Keywords: *Myriophyllum quitense*, bioindicator, geospatial analysis, Chacas Lagoon, GIS, parameters physicochemical, environmental sustainability.

1. Introducción

El monitoreo de la calidad hídrica del agua es fundamental para evaluar el impacto de la contaminación de origen antrópico y origen natural sobre los ecosistemas acuáticos y mediante la información obtenida garantiza la sostenibilidad del recurso hídrico. (Ministerio del Ambiente (MINAM, 2022), lo cual el objetivo es evaluar la calidad hídrica de la laguna de Chacas mediante el uso de la macrófita *Myriophyllum quitense* como bioindicador y con un análisis geoespacial con ArcMap durante el periodo 2024–2025.

En zonas altoandinas como la ciudad de Juliaca, ubicada en la provincia de San Román, región Puno, los lagos y lagunas naturales enfrentan una creciente presión por expansión urbana, descargas domésticas no tratadas y los usos inadecuados del suelo por fertilizantes que mediante las escorrentías van directo hacia el lago.

La investigación se centra en la laguna de Chacas, ubicada en el distrito de Juliaca, provincia de San Román, referencia (salida Lampa). Se plantea como objetivo principal evaluar la calidad hídrica de la laguna mediante el uso de la macrófita como bioindicador *Microphyllum quitense*. Integrando un análisis geoespacial mediante el software ArcMap, con el propósito de identificar las zonas de riesgo.

Zapana Apaza (2019), indica que esta laguna ha sido punto de preocupación por parte de los pobladores debido a la evidente contaminación de sus aguas al pasar los años. Sin embargo, existe escasa evidencia científica reciente que evalúe su estado utilizando herramientas integradas de monitoreo constante y biotecnología actualizada.

La especie *Microphyllum quitense* demostró cambios fisicoquímicos en la laguna de Chacas lo que la convierte en una herramienta biológica para detectar variaciones en la calidad ambiental. Su presencia y estado fueron evaluados en dos etapas de monitoreo realizadas en los años 2024 y 2025, utilizando tres puntos de muestreo aleatorios dentro de la laguna. Los resultados obtenidos revelaron diferencias significativas en el agua.

Estudio realizado por (Marca-Zevallos et al. 2024) “Influencia de factores ambientales en la composición de macrofitas acuáticas en lagos (cochas) de la Amazonía sur del Perú”. Donde evaluó la composición de macrofitas acuáticas en 10 lagos tipo cocha. En la investigación analizó la influencia de variables ambientales como el pH, oxígeno disuelto, temperatura, sólidos disueltos y la morfometría de los cuerpos de agua sobre la riqueza y distribución de especies.

Callata Tapia (2015), “Monitoreo y evaluación del cuerpo de agua de la bahía interior de Puno - Lago Titicaca”, demuestra cómo las variaciones en parámetros físico-químicos pueden afectar la biodiversidad acuática. Su estudio utilizó métodos integrados de muestreo en campo, reforzando la importancia de datos empíricos para el diagnóstico hídrico en zonas altoandinas.

1.1. Macrófitas

Según (Marca-Zevallos et al., 2024) menciona que las macrófitas acuáticas son plantas que pueden ser observadas a simple vista y se desarrollan temporal o permanentemente en ambientes acuáticos.

1.2. *Myriophyllum quitense* (Llyachu)

Según (Madueño & Orellana, 2021) La especie *Myriophyllum quitense*, Son plantas herbáceas, acuáticas, sumergidas y flotantes, enraizadas, perennes, formando grupos densos. Los tallos son de longitud variable, huecos, casi transparente a veces semi - leñosos. Las hojas están en verticilos y se ven 4 o 5 al mismo nivel, miden hasta 1,5 cm de largo, las hojas sumergidas tienen muchas divisiones y son delgadas como hilos, las hojas emergentes son enteras de color verde amarillo.

Tabla 1

Clasificación taxonómica según (Pasapera García et al., 2022)

Categoría	Descripción
Especie	<i>Myriophyllum quitense</i>
Nombre común	<i>llachu</i>
Reino	<i>Plantae</i>
Género	<i>Myriophyllum</i>

1.3. Distribución

Se registró en la zona sur y norte del lago Titicaca, localidades de Chucuito, Península de Acora, Platería, Ilave, Juli, Pomata, Yunguyo, Tilali, Conima, Moho y Huancané. (Pasapera-García et al., 2022).

Según Callata Tapia (2015), indica la temperatura es un factor abiótico que regula procesos vitales para los organismos vivos, así también afecta como las propiedades químicas y físicas de otros factores abióticos en un ecosistema.

2. Materiales y métodos

2.1. Participantes

Para adquisición de muestras de la Laguna de Chacas del distrito de Juliaca en la Provincia de San Román se halla en las inmediaciones de las localidades de Cocan y Chacas ambos perteneciente a la cuenca Hidrográfica del río Coata.

2.2. Aplicación del SIG.

Según Callata Tapia (2015), menciona que un Sistema de Información Geográfica es una herramienta que permite la integración de bases de datos espaciales y la implementación de diversas técnicas de análisis de datos. Por tanto, cualquier actividad relacionada con el espacio, puede beneficiarse del trabajo con S.I.G

2.3. Laguna de Chacas

Según Zapana Apaza (2019), menciona que esta laguna forma parte de la cuenca del Río Coata y está rodeada por varias comunidades campesinas. Limita con la población de Kokan al este, Cochakinra al oeste, Unokolla al sur y Chicas al norte. Además, es importante destacar que la Laguna de Chacas pertenece a la cuenca hidrográfica del lago Titicaca, lo que la conecta con uno de los cuerpos de agua más grandes y significativos de la región.

2.4. Mapear zonas críticas mediante ArcMap.

El uso de ArcMap nos permite visualizar y analizar espacialmente las áreas críticas y en etapa de riesgo. de tal manera cuál ha sido la variación hídrica de la laguna de Chacas entre 2024 y 2025, según el estado del bioindicador *Myriophyllum quitense* y qué zonas presentan mayor deterioro de acuerdo con el análisis geoespacial.

2.5. Participantes

Para adquisición de muestras de la Laguna de Chacas del distrito de Juliaca en la Provincia de San Román se halla en las inmediaciones de las localidades de Cocan y Chacas ambos perteneciente a la cuenca Hidrográfica del río Coata.

2.6. Instrumentos

2.6.1. Materiales de campo

- ✓ Termómetro
- ✓ Guantes
- ✓ Envases de vidrio
- ✓ Rastrillo
- ✓ Bote
- ✓ Bolsas herméticas
- ✓ Flexómetro
- ✓ Cooler
- ✓ Cinta de maskingtape

- ✓ Ice pack

2.6.2. Equipos de laboratorio

- ✓ Tubímetro
- ✓ Potenciómetro
- ✓ Multiparámetro

2.6.3. Materiales de laboratorio

- ✓ Agua destilada
- ✓ Vaso precipitado

2.7. Análisis de datos

2.7.1. Descripción de la localización

Se realizó la extracción de muestras de agua en la laguna de Chacas, que tiene un área de 5,861193 km². En primer lugar, se seleccionaron tres puntos de muestreo, los cuales se muestran en la Figura 2. Luego, se emplearon coordenadas UTM para ubicar estos puntos en imágenes satelitales a través de la plataforma SAS Planet. En el entorno de la laguna se identificaron viviendas de pobladores, un parque recreativo en sus orillas, zonas agrícolas, rebaños de ganado ovino y vacuno, así como aves buscando alimento. Además, algunos pobladores se encontraban realizando actividades de pesca

Figura 1

Mapa geografica del area de muestreo con el software ARCmaps

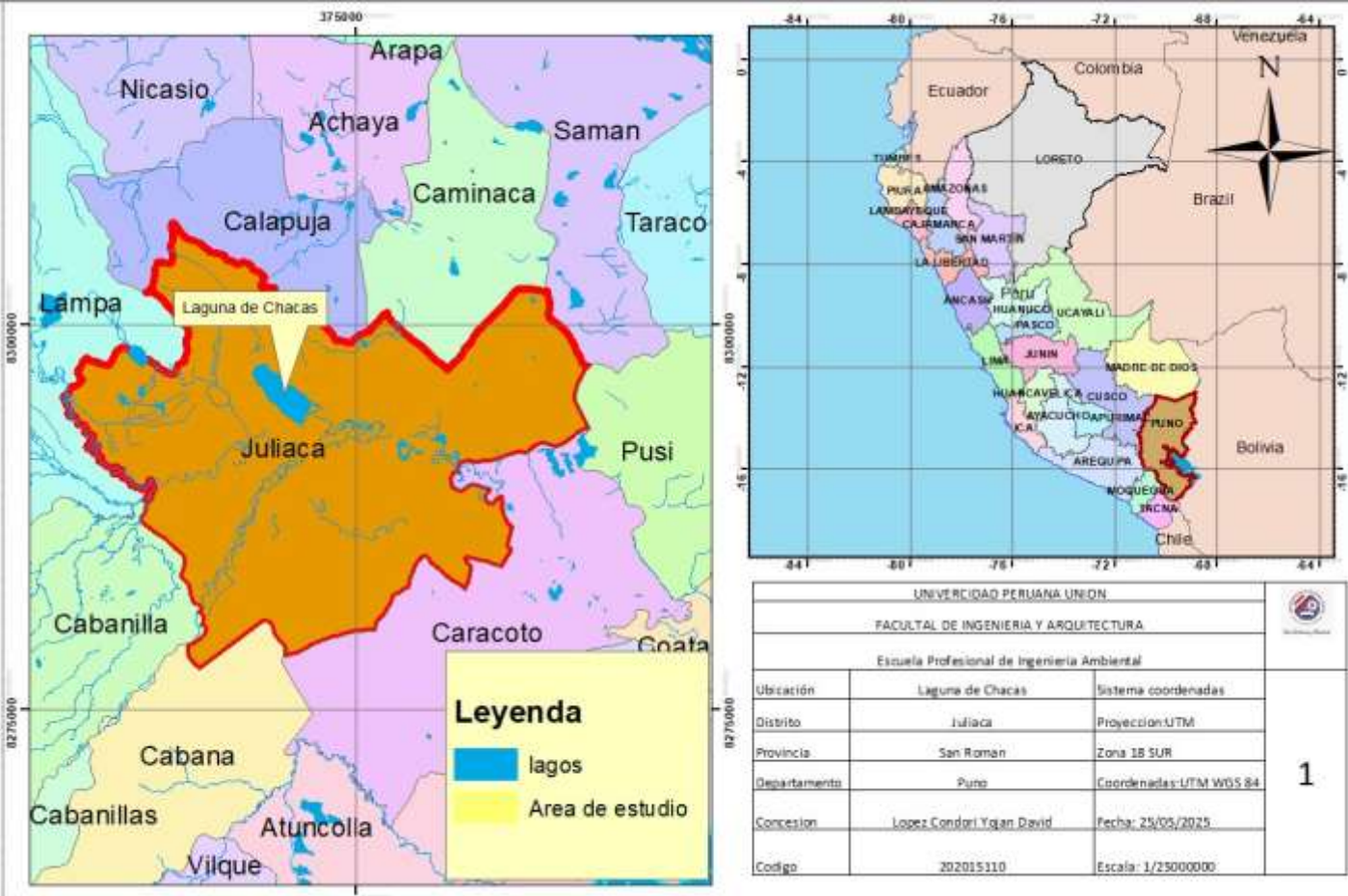


Figura 2

Imagen satelital de SAS planet del lugar de la estraccion de la muestra



2.8. Procedimiento de Campo

Durante el proceso de adquisición de muestras, nos ubicamos en la laguna de Chacas, situada en la provincia de San Román, región Puno en lo cual se ve en la figura 1 y 2. Se seleccionaron tres puntos mediante un muestreo aleatorio simple, priorizando zonas con presencia abundante de *Myriophyllum quitense* para la recolección de agua en su entorno. No obstante, en el punto 1 se identificó una escasa presencia de esta macrófita y una alta densidad de totora (*Schoenoplectus californicus*). Según información proporcionada por los comuneros locales, esta disminución de *Myriophyllum quitense* estaría relacionada con la actividad alimenticia de la gallareta chica (*Fulica leucoptera*), especie que se alimenta de dicha planta. Para la extracción de las muestras, se hizo uso de una embarcación que permitió acceder a zonas con profundidades entre 50 y 60 cm. La primera medición realizada fue la temperatura del agua, utilizando un termómetro. Posteriormente, se recolectaron las muestras en frascos debidamente rotulados, correspondientes a cada punto de muestreo. Para preservar la integridad de las muestras y evitar el aumento de temperatura, se utilizaron coolers con refrigerantes tipo Ice Pack durante el almacenamiento y transporte, asegurando que llegaran al laboratorio en el menor tiempo posible.

2.9. Procedimiento de laboratorio

Para la recopilación de datos de calidad del agua, se inició el procedimiento utilizando Equipos de Protección Personal (EPP), como medida de bioseguridad y prevención de contaminación cruzada. Posteriormente, se emplearon vasos precipitados en los que se depositaron 100 mL de muestra de agua recolectada en cada uno de los tres puntos establecidos. La medición del pH y la temperatura se realizó utilizando un potenciómetro, lo que permitió obtener valores precisos y confiables. Asimismo, se utilizó un equipo multiparámetro, mediante el cual se determinaron la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto presentes en cada muestra.

Tabla 2

Ubicación Satelital en UTM

Nº del punto	Este (x)	Norte (y)	Hora
1	369746.79	8294797.04	12.12
2	369671.23	8294874.06	13.13
3	369617.51	8294884.82	13.25

3. Resultados y Discusión

3.1. Resultados 1

Tabla 3

Parámetros físico-químicos de la muestra de agua de la laguna de Chacas, Juliaca, Junio 2024

<i>N°</i>	<i>pH</i>	<i>Temperatura (C)</i>	<i>C.E (μS/cm)</i>	<i>O.D (mg/L)</i>
1	8.5	17.7	546	1.35
2	9.32	17.1	516	3.14
3	8.25	17.7	537	7.76

3.2. Resultados 2

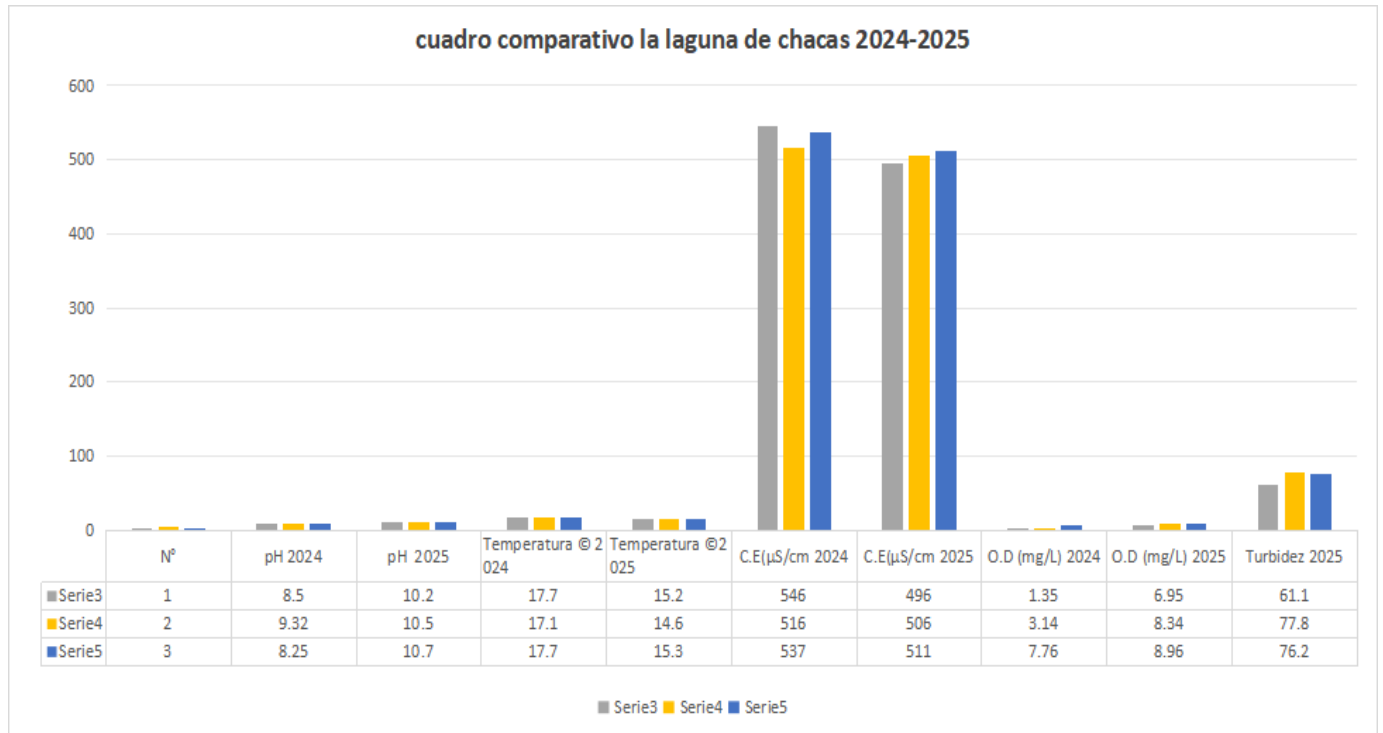
Tabla 4

Parametros fisico-quimicos de la muestra de agua de la laguna de Chacas, Juliaca, Junio 2025

<i>N°</i>	<i>pH</i>	<i>Temperatura (C)</i>	<i>C.E (μS/cm)</i>	<i>O.D (mg/L)</i>	<i>Turbidez (NTU)</i>
1	10.2	15.2	496	6.95	61.1
2	10.5	14.6	506	8.34	77.8
3	10.7	15.3	511	8.96	76.2

Figura 3

Cuadro comparativo de la laguna de Chacas, Juliaca, San roman, Puno, Peru



Fuente propia: Cuadro comparativo

Entre los años 2024 y 2025 de la figura 3, se observaron cambios importantes en los parámetros fisicoquímicos de la laguna de Chacas. El pH aumentó significativamente, pasando de valores moderadamente alcalinos (8.25–9.32) a rangos muy elevados (10.2–10.7) en 2025, superando el límite permitido por la normativa ambiental (máx. 8.5), lo que representa un riesgo alto para la biota acuática. La temperatura del agua disminuyó ligeramente, de aproximadamente 17.7 °C a 15.3 °C, sin implicar un riesgo ecológico evidente. La conductividad eléctrica mostró una leve reducción (de 546 a 511 μS/cm), aunque se mantuvo dentro de valores que sugieren presencia de sales disueltas, lo cual implica un riesgo moderado. En contraste, el oxígeno disuelto aumentó de manera considerable (de 1.35 a 8.96 mg/L), indicando una mejora notable en la calidad del agua y condiciones más favorables para la vida acuática. Sin embargo, en 2025 se registró alta turbidez (61–78 NTU), lo que revela un riesgo medio asociado a escorrentías o contaminación superficial. En conjunto, aunque hubo mejoras en algunos aspectos, la calidad hídrica en 2025 presenta un nivel de riesgo general moderado a alto, destacando la necesidad de intervención ambiental para mitigar los efectos del desequilibrio químico observado.

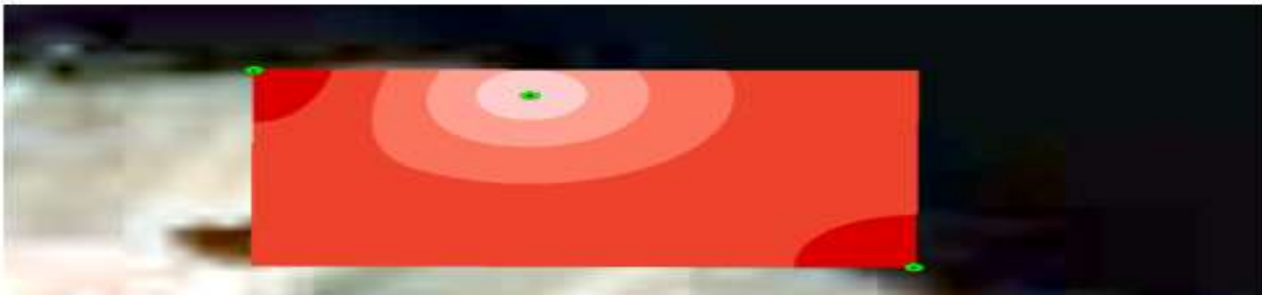
Figura 4

Interpolacion con el software ARCMaps con la herramienta Tradink, Junio 2024

Interpolación de pH



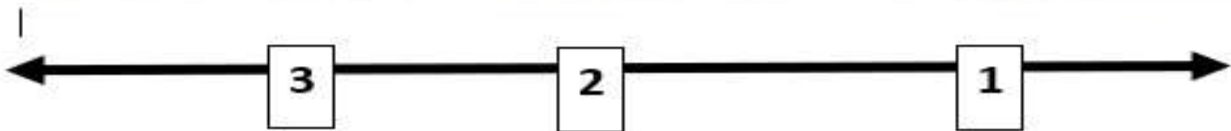
Interpolación Temperatura



Interpolación Conductividad Eléctrica



Interpolación Oxígeno



3.3. Relación de parámetros e interpolación, junio 2024

Tabla 5

Leyenda de la escala de colores para la interpolación espacial de pH.

Clase	Color	Rango aproximado	Interpretación espacial
-------	-------	------------------	-------------------------

Muy bajo	Rosa claro	< 8,25	Ausente en la zona muestreada, indicaría pH levemente alcalino bajo (no observado).
Medio	Rosa medio	8,25 – 8,50	Bordes laterales (Puntos 1 y 3), donde el agua presenta alcalinidad moderada.
Alto	Rosa saturado	8,50 – 9,00	Transición desde los márgenes hacia el centro, reflejando disolución creciente de carbonatos.
Muy alto	Rojo	9,00 – 9,20	Entorno inmediato del Punto 2, donde la alcalinidad es marcadamente elevada respecto a los extremos.
Máximo	Rojo intenso/brillante	> 9,20	Núcleo central exacto (Punto 2, pH 9,32), punto de máxima alcalinidad analizada.

3.3.1. Temperatura °C

Tabla 6

Leyenda de la escala de colores para la interpolación espacial de Temperatura (°C)

Clase	Color	Rango aproximado	Interpretación espacial
Muy bajo	Rosa claro	< 17,1	No se registran temperaturas inferiores, el “fresco” verdadero no aparece en la transecta.
Medio	Rosa medio	17,1 – 17,3	Zona central adyacente al Punto 2, indicando temperatura de fondo moderada.
Alto	Rosa saturado	17,3 – 17,5	Áreas intermedias, ligera elevación por aporte solar o flujo reducido.
Muy alto	Rojo	17,5 – 17,7	Bordes laterales (Puntos 1 y 3), donde la temperatura alcanza su registro más alto dentro de la muestra.
Máximo	Rojo intenso/brillante	> 17,7	Preciso en los Puntos 1 y 3 (17,7 °C), zonas de temperatura crítica máxima registrada.

3.3.2. Conductividad Eléctrica (μS/cm)

Tabla 7

Leyenda de la escala de colores para la interpolación espacial de la Conductividad Eléctrica (μS/cm).

Clase	Color	Rango aproximado	Interpretación espacial
-------	-------	------------------	-------------------------

Muy bajo	Rosa claro	< 516	Inexistente en la lámina, ningún sector muestra conductividad significativamente baja.
Medio	Rosa medio	516 – 530	Área central (Punto 2, 516 $\mu\text{S}/\text{cm}$), reflejo de conductividad iónica moderada.
Alto	Rosa saturado	530 – 540	Zona centro-izquierda, indicando aumento progresivo de iones disueltos.
Muy alto	Rojo	540 – 545	Extremo derecho cerca del Punto 3 (537 $\mu\text{S}/\text{cm}$), próximo al pico de conductividad.
Máximo	Rojo intenso/brillante	> 545	Punto 1 (546 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con la más alta carga iónica y posible influencia de vertidos salinos o industriales.

3.3.3. Oxígeno Disuelto (mg/L)

Tabla 8

Leyenda de la escala de colores para la interpolación espacial de Oxígeno Disuelto (mg/L)

Clase	Color	Rango aproximado	Interpretación espacial
Muy bajo	Rosa claro	< 3,14	Extremo derecho (Punto 1, 1,35 mg/L), señalando estrés hipóxico o elevada demanda biológica/contaminación.
Medio	Rosa medio	3,14 – 5,00	Entorno inmediato al Punto 2 (3,14 mg/L), donde la oxigenación es moderada.
Alto	Rosa saturado	5,00 – 6,50	Banda intermedia entre el centro y margen izquierdo, sugiriendo zonas de reoxigenación parcial.
Muy alto	Rojo	6,50 – 7,50	Cercanía al Punto 3, reflejando elevada aeración o fotosíntesis acuática.
Máximo	Rojo intenso/brillante	> 7,50	Punto 3 (7,76 mg/L), área con la máxima solubilidad de oxígeno dentro del tramo muestreado.

Figura 4

Interpolacion con el software ARCMAPS con la herramienta Tradink, Junio 2025

Interpolación de pH



Interpolación Temperatura



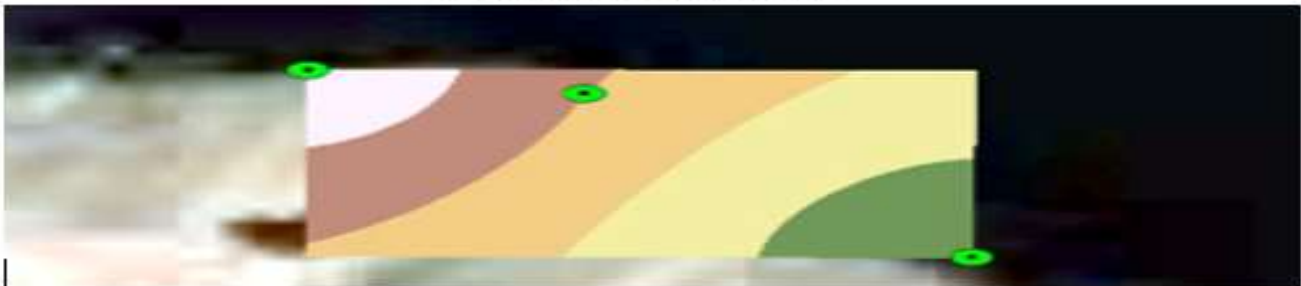
Interpolación Conductividad Eléctrica



Interpolación Oxígeno Disuelto



Interpolación Turbidez



3.4. Relación de parámetros e interpolación, Junio 2025

3.4.1. Interpolación pH (Potencial de Hidrogeno)

Tabla 9

Leyenda de la escala de colores para la interpolación espacial del pH.

Clase	Color	Rango aproximado	Interpretación espacial
Muy bajo	Verde	9,8 – 10,2	Se localiza en torno al Punto 1 (pH 10,2), zonas ligeramente menos alcalinas.
Medio	Amarillo claro	10,2 – 10,4	Cubre el área adyacente al Punto 2 (pH 10,5), indicando un nivel moderado de alcalinidad carbonatada.
Alto	Ámbar	10,4 – 10,6	Transición entre centro y margen izquierdo, reflejando disolución creciente de sales carbonatadas.
Muy alto	Marrón oscuro	10,6 – 10,7	Corresponde al entorno inmediato del Punto 3 (pH 10,7), donde la alcalinidad alcanza su nivel más elevado dentro de los muestreos.
Máximo	Blanco/Saturado	> 10,7	Eventuales manchas puntuales fuera de área muestreada, potencialmente debidas a vertidos alcalinos concentrados.

3.4.2. Interpolación de Temperatura °C

Tabla 10

Leyenda de la escala de colores para la interpolación espacial de Temperatura (°C)

Clase	Color	Rango aproximado	Interpretación espacial
Muy bajo	Verde	14,4 – 14,6	Zonas frías alrededor del Punto 2 (14,6 °C), posiblemente influenciadas por descarga subterránea.
Medio	Amarillo claro	14,6 – 15,0	Banda central entre Puntos 2 y 1, temperatura moderada para procesos microbiológicos.
Alto	Ámbar	15,0 – 15,2	Cercanías del Punto 1 (15,2 °C), indicativo de recalentamiento leve por exposición solar.
Muy alto	Marrón oscuro	15,2 – 15,3	Adyacente al Punto 3 (15,3 °C), máxima temperatura registrada.

Máximo	Blanco/Saturado	> 15,3	Parches puntuales fuera de la transecta central, zonas con estancamientos o aporte superficial caliente.
--------	-----------------	--------	--

3.4.3. Interpolación de Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Tabla 11

Leyenda de la escala de colores para la interpolación espacial de la Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Clase	Color	Rango aproximado	Interpretación espacial
Muy bajo	Verde	490 – 496	Zona en torno al Punto 1 (496 $\mu\text{S}/\text{cm}$), mínima carga iónica de la sección muestreada.
Medio	Amarillo claro	496 – 502	Franja intermedia hacia el Punto 2 (506 $\mu\text{S}/\text{cm}$), indicando aporte gradual de solutos.
Alto	Ámbar	502 – 508	Transición próxima al Punto 2–3, donde la conductividad aumenta por disolución de sales.
Muy alto	Marrón oscuro	508 – 511	Inmediaciones del Punto 3 (511 $\mu\text{S}/\text{cm}$), pico de concentración iónica.
Máximo	Blanco/Saturado	> 511	Puntos aislados con descargas salinas o contaminantes disueltos más allá de la zona de estudio.

3.4.4. Interpolación de Oxígeno Disuelto (mg/L)

Tabla 12

Leyenda de la escala de colores para la interpolación espacial Oxígeno Disuelto (mg/L)

Clase	Color	Rango aproximado	Interpretación espacial
Muy bajo	Verde	6,9 – 7,5	Áreas próximas al Punto 1 (6,95 mg/L), que pueden experimentar estrangulamiento de oxígeno.
Medio	Amarillo claro	7,5 – 8,0	Banda intermedia de reaeración moderada, mejorando las condiciones aeróbicas.
Alto	Ámbar	8,0 – 8,3	Alrededor del Punto 2 (8,34 mg/L), condiciones óptimas para la desnitrificación y biodegradación.
Muy alto	Marrón oscuro	8,3 – 8,96	Cercanías del Punto 3 (8,96 mg/L), pico de oxigenación posiblemente por turbulencias o fotosíntesis intensa.

Máximo	Blanco/Saturado	> 8,96	Manchas puntuales de supersaturación, vinculadas a cascadas o vegetación acuática densa.
--------	-----------------	--------	--

3.4.5. Interpolación de Turbidez (NTU)

Tabla 13

Leyenda de la escala de colores para la interpolación espacial de la Turbidez

Clase	Color	Rango aproximado	Interpretación espacial
Muy bajo	Verde	60 – 65 NTU	Sector del Punto 1 (61,1 NTU), relativamente libre de sólidos suspendidos.
Medio	Amarillo claro	65 – 75 NTU	Franja que comprende parte del Punto 3 (76,2 NTU) y los alrededores, turbidez moderada.
Alto	Ámbar	75 – 78 NTU	Zona central en torno al Punto 2 (77,8 NTU), indicativa de mayor arrastre de sedimentos.
Muy alto	Marrón oscuro	78 – 85 NTU	Áreas donde se concentran remociones puntuales de fondo o escurrimientos violentos.
Máximo	Blanco/Saturado	> 85 NTU	Manchas de arrastre extremo, probablemente inducidas por eventos de lluvia intensa o descargas industriales.

3.4.6. Evaluación e interpretación del parámetro del potencial de Hidrogeno (pH), junio 2024

En la tabla número 3, se observan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del agua realizado en el mes de Junio de 2024 en la laguna de Chacas, ubicada en San Román – Juliaca, se evaluaron tres puntos de tres puntos de muestreo de cuerpo de agua. En el primer punto de muestreo, se obtuvo un valor de pH de 8.5, indicando un carácter alcalino. Este tipo de agua puede tener un sabor ligeramente amargo y se asocia comúnmente con la presencia de bicarbonatos, carbonatos u otros compuestos alcalinos presentes en el entorno natural. Aunque se encuentra dentro de un rango aceptable, es importante considerar que valores por encima de 8 ya reflejan una desviación hacia condiciones no neutras.

El segundo punto registró un pH de 9.32, siendo elevado dentro del rango de alcalinidad entre los tres los tres puntos. Lo que podría influir en la solubilidad de ciertos compuestos y afectar la disponibilidad de nutrientes o metales.

En el tercer punto, el pH fue de 8.25, lo que también clasifica el agua como alcalina, aunque en un nivel más moderado. Este valor complementa la tendencia general observada en todos los puntos monitoreados, que es la de una laguna con aguas alcalinas. En este caso, los resultados indican que el agua de la laguna de Chacas presenta una condición alcalina consistente en los tres puntos evaluados, lo cual podría estar influenciado por factores naturales y antrópicos presentes en la zona.

3.4.7. Evaluación e interpretación del parámetro del potencial de Hidrogeno (pH), junio 2025

En la tabla 4, correspondiente al mes de Junio de 2025 se llega a observar que, en el primer punto, el pH fue de 8.56, indicando que se trata de un agua alcalina, la cual puede presentar un sabor ligeramente amargo. En el segundo punto, el valor fue de 9.32, confirmando que también hay un rango elevado de alcalinidad. Finalmente, en el tercer punto se obtuvo un valor de 8.25, indicando la presencia de un agua alcalina moderada. En resumen, los tres puntos evaluados muestran una tendencia constante de agua alcalina en la laguna de Chacas.

Según (Juan M, 2008) sus resultados del pH en su crecimiento de la *Myriophyllum quitense* en un pH de 5,5 a 6,5 promueve el crecimiento de hongos y un pH de 8,2 dan como resultado una biomasa baja, pero el contenido de proteínas en los tallos no fue tan delicado al pH, demostrando que en aguas alcalinas débil de 8,5 provocó un aumento en el contenido de proteínas en las hojas y tallos, sugiere que en un ambiente alcalino puede promover la síntesis de proteínas y crecimiento a las plantas acuáticas.

3.4.8. Evaluación del parámetro del oxígeno disuelto (O.D), junio 2024

Según la tabla 3 la evaluación del OD es crucial para determinar la calidad del agua y la capacidad de soportar vida acuática. El OD de 1 mg/L indica una baja concentración de oxígeno disuelto en el agua nivel crítico ya que nos da a conocer que falta oxígeno suficiente para mantener vida acuática. En nuestro primer punto es de 1,35 nivel crítico. Segundo punto de OD 3.14 mg/L sigue siendo bajo, es un nivel un poco más saludable que el anterior. Para muchos peces y otros organismos acuáticos, este nivel aún es insuficiente.

3.4.9. Evaluación del parámetro del oxígeno disuelto (O.D), junio 2025

En la tabla número 4, el oxígeno disuelto (O.D) en el primer punto presentó un valor de 4.5 mg/L, lo cual representa una condición aceptable, aunque moderadamente baja, que puede limitar la vida acuática más sensible. En el segundo punto, se registró un valor de 3.9 mg/L, reflejando una leve disminución del oxígeno, lo que podría indicar cierta carga orgánica o menor circulación del agua. En el tercer punto, el valor fue de 4.7 mg/L, siendo ligeramente más alto. En conjunto, los tres puntos muestran niveles moderados de oxígeno disuelto, lo cual permite el sostenimiento de algunas especies acuáticas, aunque podría verse comprometido si se incrementa la materia orgánica o disminuye la temperatura.

También Miguel D. (2015) en su investigación sobre la *Microphyllum quitense* para el oxígeno disuelto los valores oscilaron: máximo (6.5mg/L), mínimo (4.00 mg/L) con un promedio de (5.35 mg/L) lo cual ha presentado una disminución a través del tiempo producto de la presencia de macrofitas como las *Microphyllum quitense* en situación que favorece el consumo de OD. En laboratorio según los resultados de amoníaco oscilaron: máximo (0.5mg/L), mínimo (0.05 mg/L) con un promedio de (0.24 mg/L) presentan un aumento ya que el punto muestreado

se encuentra cerca de la orilla y en consecuencia sujeto a las actividades que se desarrollan: lavado de ropa con detergentes ricos en fosfatos.

3.4.10. Evaluación del parámetro de conductividad eléctrica (C.C), junio 2024

En la tabla número 3, según el cuadro podemos observar que la conductividad eléctrica del primer punto es de 546 $\mu\text{S/cm}$ esto indica la presencia de cantidad moderada de sales disueltas, en el segundo punto nos da una conductividad eléctrica de 516 $\mu\text{S/cm}$. Es una cantidad moderada de sales disueltas en el tercer punto nos da una conductividad eléctrica de 537 $\mu\text{S/cm}$. Conductividad eléctrica moderada, en la Laguna de Chacas, San Román, Juliaca.

3.4.11. Evaluación del parámetro de conductividad eléctrica (C.C), junio 2025

En la tabla número 4, la conductividad eléctrica (C.E) en el primer punto fue de 960 $\mu\text{S/cm}$, lo que sugiere una moderada concentración de sales disueltas en el agua. En el segundo punto se obtuvo un valor de 1102 $\mu\text{S/cm}$, indicando un incremento en la mineralización, lo que puede deberse a las escorrentías o descargas con contenido iónico. En el tercer punto, el valor fue de 870 $\mu\text{S/cm}$, siendo el más bajo del mes. En general, los resultados indican que las aguas de la laguna de Chacas tienen una conductividad media-alta, lo que podría estar relacionado con factores naturales y actividades humanas cercanas.

Según (Miguel D., 2015). De la conductividad eléctrica, que indica la presencia de sales en el agua, lo que hace aumentar su capacidad de transmitir una corriente eléctrica, propiedad que se utiliza en mediciones de campo o de laboratorio, expresadas en micro-Siemens/cm ($\mu\text{S/cm}$) que la presencia de sales afecta el crecimiento de las plantas.

3.4.12. Evaluación de la temperatura (T°), junio 2024

En la tabla número 3 según el cuadro de resultados observamos que la temperatura del primer punto es de 17.7 $^\circ\text{C}$ esto indica un ambiente acuático fresco. En el punto 2 observamos que la temperatura es de 17.1 $^\circ\text{C}$ indica una temperatura fresca. En el punto 3 la temperatura es de 17.7 nos indica que es una temperatura fresca moderada clima templado optima para la vida acuática, en la Laguna de Chacas, San Román - Juliaca.

3.4.13. Evaluación de la temperatura ($^{\circ}\text{T}$), junio 2025

En la tabla número 4, los resultados indican que la temperatura del agua en el primer punto registró una temperatura de 15.2 $^\circ\text{C}$, el segundo punto 14.7 $^\circ\text{C}$ y el tercero 15.5 $^\circ\text{C}$. Estos valores se encuentran dentro del rango típico de cuerpos de agua altoandinos durante temporada seca. La variación leve entre puntos se debe probablemente

a la exposición solar y a la profundidad local. Esta temperatura es adecuada para muchas especies acuáticas, aunque, al ser ligeramente fría, puede influir en la solubilidad del oxígeno y el metabolismo de los organismos presentes.

(Rojas & Suyon, 2020) Indica que la temperatura se fija en su crecimiento en zonas con T° medias entre 18 y 30 °C, con óptimas entre 22 y 25 °C, perdiéndose en zonas con demasiado frío en invierno, con heladas concurrentes o en zonas donde suele producirse la congelación de ambientes acuáticos, segundo factor que controla su distribución es la calidad del agua, optando por medios ricos en nutrientes (eutróficos o mesotróficos), pH neutro o básico que son especies intolerantes a las aguas marinas, sin embargo, logran colonizar estuarios con baja salinidad.

3.5. **Discusión**

El estudio que se realizó en la Laguna de Chacas, ubicada en el distrito de Juliaca, provincia de San Román, departamento de Puno, una zona altoandina del Perú donde los ecosistemas acuáticos tienen gran importancia para el entorno local y regional, expuesta a diversos factores tanto naturales como antrópicos, Durante los meses de Junio de 2024 y Junio de 2025 se monitorearon los siguientes parámetros fisicoquímicos más representativos para estimar su estado ambiental: el potencial de hidrógeno (pH), el oxígeno disuelto (O.D), la conductividad eléctrica (C.E) y la temperatura del agua (°T), los cuales permiten inferir el nivel de conservación o deterioro del ecosistema acuático.

Para la interpretación de estos resultados obtenidos se consideraron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua establecidos mediante el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, especialmente bajo la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales). Asimismo, se tienen en cuenta otras normativas complementarias como la Ley General del Ambiente (Ley N° 28611), la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338), normas técnicas como el Reglamento de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (D.S. N.º 001-2010-ANA), Decreto Supremo N.º 015-2015-MINAM que articulan acciones para la conservación, vigilancia y recuperación de cuerpos de agua naturales bajo principios de sostenibilidad y precaución ambiental.

En cuanto al potencial de hidrógeno (pH), el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, según la categoría 3 (uso para riego de vegetales y bebida de animales), establece que el rango permitido para el pH debe encontrarse entre 6.5 y 8.5 (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, 2017, p. 20). Durante el monitoreo realizado en Junio de 2024, los valores registrados en la laguna de Chacas se mantuvieron dentro de este intervalo, alcanzando como máximo el límite superior de 8.5, lo que indica una condición química aceptable para el cuerpo de agua. Sin embargo, en Junio de 2025 se evidenció una variación significativa, ya que uno de los puntos de monitoreo registró un valor de 9.32, superando el límite establecido por la normativa. Este exceso de alcalinidad puede estar asociado a varios factores, como una alta tasa de fotosíntesis en épocas secas, vertimientos de aguas residuales domésticas o industriales, o procesos de eutrofización que alteran la composición química del agua. Esta situación representa una alteración en la calidad del recurso y requiere ser atendida mediante medidas correctivas, ya que un pH fuera de rango puede afectar la disponibilidad de nutrientes, la toxicidad de ciertos metales y el bienestar de la biota acuática (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, 2017, p. 20).

Ahora en relación al oxígeno disuelto (O.D), el ECA no fija un valor específico para la categoría 3; sin embargo, desde el punto de vista técnico, se considera que niveles por debajo de 5 mg/L pueden ser insuficientes para

sostener una comunidad acuática saludable (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, 2017, p. 20). En Junio de 2024, los niveles de oxígeno disuelto fluctuaron entre 5.1 y 5.6 mg/L, lo cual es adecuado para garantizar procesos biológicos esenciales y mantener el equilibrio del ecosistema. No obstante, en Junio de 2025 se observó una disminución preocupante, con valores de 3.9 y 4.5 mg/L, lo cual podría deberse a un aumento de materia orgánica, procesos de descomposición, poca renovación de agua o presencia de nutrientes que propicien la eutrofización. Esta disminución de oxígeno puede afectar directamente a peces, macroinvertebrados y otras formas de vida acuática, lo que evidencia un deterioro en la calidad ambiental del ecosistema. Asimismo, aunque el ECA no establece un límite para la conductividad eléctrica (C.E), este parámetro se emplea para interpretar la cantidad de sales y minerales disueltos en el agua. En Junio de 2024, los valores registrados fueron menores a 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual se considera aceptable en sistemas andinos. Sin embargo, para Junio de 2025 se llegó hasta 1102 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual indica una mayor mineralización del agua y posiblemente el ingreso de contaminantes inorgánicos como fertilizantes, residuos urbanos o drenajes de suelos agrícolas (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, 2017). Aunque no infringe directamente una normativa, este incremento es un indicador de alerta ambiental que debe ser monitoreado de forma continua.

Respecto a la temperatura del agua ($^{\circ}\text{T}$), el ECA no establece un valor absoluto, pero sí advierte que no deben producirse variaciones mayores a $\pm 3^{\circ}\text{C}$ respecto a las condiciones naturales del cuerpo de agua (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, 2017, p. 20). En ambos años, los valores estuvieron entre 14.7°C y 15.5°C , lo que refleja una condición térmica estable típica de lagunas altoandinas. La temperatura del agua no representa, en este caso, un riesgo ambiental evidente, aunque su monitoreo continuo es clave ya que influye en la solubilidad del oxígeno y la actividad metabólica de los organismos acuáticos. En resumen, el análisis comparativo demuestra que, si bien algunos parámetros se han mantenido estables, otros como el pH, el oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica muestran una tendencia al deterioro entre 2024 y 2025, lo que hace necesario implementar acciones preventivas y correctivas en cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

A continuación, se mostrará las normativas aplicadas, primeramente, tenemos La Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente constituye el marco normativo base del sistema ambiental peruano. Esta ley garantiza el derecho de toda persona a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para su desarrollo, así como el deber de participar activamente en su protección (Ley N° 28611, 2005). Además, establece principios como el de sostenibilidad y el principio precautorio, y destaca la importancia de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) como herramientas fundamentales en la gestión ambiental (Ley N° 28611, 2005, art. 31).

Por su parte, la Ley N° 29338 – Ley de Recursos Hídricos, declara al agua como patrimonio de la Nación y resalta su carácter público, siendo inalienable e imprescriptible (Ley N° 29338, 2009, art. 2). Asimismo, promueve la gestión integrada de los recursos hídricos, garantizando el acceso prioritario al agua para necesidades humanas esenciales (Ley N° 29338, 2009, art. III). La ley también establece el principio de sostenibilidad y la necesidad de participación ciudadana en la planificación y vigilancia del recurso, además de fomentar el conocimiento ancestral en su uso y preservación (Ley N° 29338, 2009, art. III, núm. 5).

El Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM establece los lineamientos para la vigilancia, control y cumplimiento de los estándares de calidad ambiental del agua, promoviendo su evaluación continua. Este refuerza el

marco normativo para garantizar que los ECA sean efectivamente aplicados por las entidades competentes en todas las etapas del ciclo del agua (MINAM, 2015).

Finalmente, el Reglamento de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (D.S. N° 001-2010-ANA) organiza la protección y el uso del recurso hídrico por cuencas, estableciendo medidas concretas de monitoreo y recuperación de fuentes hídricas, y asignando responsabilidades claras a autoridades locales y regionales. Este reglamento enfatiza un enfoque descentralizado y participativo en la gestión del agua (ANA, 2010).

4. Conclusiones

El análisis reveló que la laguna de Chacas presenta actualmente signos de deterioro en su calidad hídrica. Los parámetros estudiados mostraron aguas alcalinas consistentes: en junio de 2025 un punto de muestreo registró pH=10.07, superando el máximo permitido (8.5) por el D.S. N° 004-2017 (Categoría 3). Simultáneamente, el oxígeno disuelto aumento significativa en 2025 (1.35–8.96 mg/L en los puntos medidos, por encima de niveles adecuados), y la conductividad eléctrica bajo mininamente hasta (hasta 506 μ S/cm en 2025). Estas variaciones sugieren que factores antrópicos como los aportes orgánicos o de sales agrícolas) están afectando la laguna. La presencia y condición de *M. quitense* reflejaron dichos cambios fisicoquímicos, validando su utilidad como bioindicador natural del estado del ecosistema. En resumen, se concluye que, aunque la temperatura del agua se mantuvo estable dentro del rango esperado, los parámetros pH, oxígeno disuelto y conductividad evidenciaron una tendencia al deterioro entre 2024 y 2025file-vya7gjfw5rgcblqsnmdtr. Esto indica la urgencia de implementar medidas preventivas y correctivas para restaurar la calidad del agua, tal como exigen las normativas ambientales peruanas vigentes.

5. Recomendaciones

Mantener el pH dentro del rango permisible (6.5–8.5): Controlar las fuentes de alcalinidad (por ejemplo, evitar vertidos sin tratar de detergentes o aguas residuales) y considerar técnicas de neutralización del agua. Esto asegurará el cumplimiento del límite máximo establecido por el D.S. N.º 004-2017

Aumentar la oxigenación del agua: Reducir las cargas de materia orgánica (mejorando el tratamiento de aguas residuales domésticas) y mantener la circulación del agua (mediante flujos naturales o aereadores). Se ha observado que en 2025 los niveles de oxígeno disuelto descendieron por debajo de 5 mg/L, umbral crítico para la vida acuática

Mantenerlo por encima de ese umbral ayudará a sostener la biota acuática.

Reducir la entrada de sales y nutrientes: Promover prácticas agrícolas sostenibles en la cuenca (uso responsable de fertilizantes, protección de suelos) y gestionar adecuadamente los desagües agrícolas. La alta conductividad observada (hasta ~1100 μ S/cm) indica ingreso de sales/minerales; limitar estas fuentes ayudará a evitar la acumulación de contaminantes inorgánicos.

Monitoreo continuo con SIG y bioindicadores: Continuar el seguimiento de la calidad del agua y de *M. quitense* en diversos puntos, utilizando SIG (ArcMap) para identificar periódicamente zonas críticas. El uso

de la planta como bioindicador y el análisis espacial facilitará orientar intervenciones focalizadas y verificar la efectividad de las medidas implementadas

- Aplicar la normativa ambiental vigente: Garantizar el cumplimiento de la Ley N.º 28611 (Ley General del Ambiente) y de la Ley de Recursos Hídricos (N.º 29338), así como de los reglamentos (D.S. N.º 004-2017-MINAM y D.S. N.º 001-2010-ANA). Por ejemplo, implementar planes de gestión integrada de la cuenca del río Coata para coordinar acciones locales en beneficio de la laguna. El marco legal peruano enfatiza la sostenibilidad del recurso hídrico y la participación comunitaria, por lo que se recomienda involucrar a las autoridades y pobladores locales en la vigilancia y conservación de la laguna.
- Conservar *Myriophyllum quitense* y hábitats asociados: Proteger las zonas donde crece esta macrófita para mantener su función ecológica. Su presencia evidenció los cambios ambientales, por lo que promover su conservación (y de otras especies nativas) contribuye a un monitoreo natural eficiente y a la recuperación del ecosistema acuático.

6. Agradecimientos

Agradezco a Dios, para mis padres, compañeros de clase.

7. Administración del Proyecto

Tipo de Recursos		Cantidad	Precio unidad	Precio total
Materiales de oficina	Copias	10	0.1	1.00
	Lapiceros	4	1.00	4.00
	Calculadora	1	70.00	70.00
Pasajes	Universidad			
	Universidad			
Laboratorio	Bolsas	3	1.00	3.00
	Balanzas analítica y digital	Universidad		
	Estufa	Universidad		
Licencia de Software	word			
	excel			
Equipos para evidencia	Camara de fotos celular	1		
Implementos de seguridad	Zapatos	1		
	Chaleco	1	80.00	80.00
Materiales de campo	Metro	1	5.00	5.00
	rastrillo		25.00	25.00
	cegadora	1	15.00	15.00
	Envase de Vidrio	3	6.00	6.00
	Bote	1	30.00	30.00
	Bolsas hermetica	3	5.00	5.00
	Cooler	1	35.00	35.00
	Guantes	1	5.00	5.00
Total			278.1	284.00

7.1. LLACHU (*Myriophyllum quitense*)



7.2. ANALISIS DEL AGUA



7.3. RESULTADOS DEL ANALISIS DEL AGUA



7.4. MUESTRAS DE GUA DE 3 PUNTOS MAYO 2025



7.5. IMAGENES DEL PROCEDIMIENTO DE LA OBTENCION DE MUESTRAS



8. Referencias

- Rojas, P., & Suyon, E. (2020). Eficiencia de fitorremediación con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para disminuir concentraciones de arsénico en aguas del centro poblado Cruz del Medano, Morrope, 2019. Universidad de Lambayeque, 65.
- Srivastava, S., Shrivastava, M., Suprasanna, P., & D'Souza, S. F. (2011). Phytofiltration of arsenic from simulated contaminated water using *Hydrilla verticillata* in field conditions. *Ecological Engineering*, 37(11), 1937–1941. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.06.012>
- Stocks, N. (2016). 済無No Title No Title No Title. 1–23.
- Tr, A. (n.d.). Macrófitos en aguas continentales a.
- Translated, M. (n.d.). Piedra angular : una colección de obras académicas y creativas para Minnesota Comunidades de macrófitos acuáticos en el condado de Five Sibley (Minnesota) Lagos y los factores que afectan su distribución Machine Translated by Google.

- Translated, M. (2010). Machine Translated by Google Plantas acuáticas : una materia prima de oportunidad en la era de la bioenergía y Machine Translated by Google. 311–321.
- Translated, M. (2016). Machine Translated by Google una colección de obras académicas y creativas para Minnesota Comunidades de macrófitos acuáticos en el condado de Five Sibley (Minnesota) Lagos y los factores que afectan su distribución Machine Translated by Google.
- Wang, H., Zhang, S., Zhang, W., Wei, C., & Wang, P. (2010). Effects of nitric oxide on the growth and antioxidant response of submerged plants hydrilla verticillata (l.f.) royle. African Journal of Biotechnology, 9(44), 7470–7476. <https://doi.org/10.5897/ajb10.671>
- Wang, P., Zhang, X., Wang, D., Wu, Z., & Cao, J. (2020). Experimental study on growth of Hydrilla verticillata under different concentrations of bicarbonate and its implication in karst aquatic ecosystem. Carbonates and Evaporites, 35(3), 0–9. <https://doi.org/10.1007/s13146020-00618-0>
- Ministerio del Ambiente. (2022). Protocolo nacional de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/protocolo-nacional-monitoreo-calidad-recursos-hidricos-superficiales>
- Madueño Porras, F. A., & Orellana Quiñonez, A. A. (2021). Efecto fitorremediador de las especies Myriophyllum quitense y Elodea densa en la remoción de contaminantes del lixiviado del relleno sanitario Cepasc – Concepción, 2021 Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12380/4/IV_FIN_107_TE_Madueno_Orellana_2021.pdf
- Pasapera-García, J., Villanueva, C., Arpasi, D. A., & Gamarra, C. (2022). Catálogo: Macroalgas del lago Titicaca, sector peruano. Distribución y ecología (1.ª ed., 24 págs.). Instituto del Mar del Perú (IMARPE).
- ...
- Marca-Zevallos, M. J., Galiano, W., Chevarría, R., Sebastián, G., Huamani, K., Ochoa, J. A., & Mendoza, J. (2024). Influencia de factores ambientales en la composición de macrofitas acuáticas en lagos (cochas) de la Amazonía sur del Perú. Darwiniana, nueva serie, 12(1), 170–191 <https://www.scielo.org.ar/pdf/darwin/v12n1/1850-1699-darwin-12-01-159.pdf>
- Zapana-Apaza, V. (2019). Importancia de la laguna de Chacas en la geografía regional Puno, 2018 Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano. https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/20739/Zapana_Apaza_Vilma.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Callata Tapia, F. E. (2015). Monitoreo y evaluación del cuerpo de agua de la bahía interior de Puno - Lago Titicaca [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional <file:///C:/Users/PC/Downloads/Fredy%20Edgar%20Callata%20Tapia.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2017). Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Congreso de la República del Perú. (2005). Ley N.º 28611: Ley General del Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-Nº-28611.pdf>
- Congreso de la República del Perú. (2009). Ley N.º 29338: Ley de Recursos Hídricos. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-Nº-29338.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2015). Decreto Supremo N.º 015-2015-MINAM que establece lineamientos para la gestión de la calidad ambiental del agua. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/12/Decreto-Supremo-Nº-015-2015-MINAM.pdf>
- Autoridad Nacional del Agua. (2010). Decreto Supremo N.º 001-2010-ANA que aprueba el Reglamento de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/per157971anx.pdf>