

EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL AGUA Y LA COMPOSICIÓN DEL SUSTRATO EN ZONAS DE CRIANZA INTENSIVA DE TRUCHA (*ONCORHYNCHUS MYKISS*) EN EL LAGO TITICACA, POMATA-PUNO

EVALUATION OF THE PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF WATER AND THE COMPOSITION OF THE SUBSTRATE IN AREAS OF INTENSIVE TROUT BREEDING (*ONCORHYNCHUS MYKISS*) IN LAKE TITICACA, POMATA-PUNO

Recibido: 14/05/22 **Aceptado:** 28/06/22

DOI: <http://doi.org/10.47190/nric.v4i1.2>

Diego B. Ocola Villasante

<https://orcid.org/0000-0003-4275-4356>

diegoocola@hotmail.com - Universidad Científica del Sur

RESUMEN

El cultivo de trucha en Perú es una de las actividades acuícolas de mayor crecimiento. La acuicultura intensiva genera impactos en la calidad de agua y en los sedimentos, llevando en muchos casos a la eutrofización de los cuerpos de agua, debido al ingreso de nutrientes producto del alimento no consumido y excretas de los peces. El objetivo de este estudio fue evaluar las características físico-químicas del agua en zonas de cultivo de trucha. El trabajo se desarrolló en el mes de octubre del 2019 en la zona de El Faro, Pomata, Puno, en la cual se colectaron 24 muestras de agua y 12 muestras de sedimentos procedentes de 3 zonas y un punto control. Se seleccionaron los parámetros: oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura, transparencia, DBO5, fósforo total, nitrógeno total, clorofila a y coliformes termotolerantes, para la determinación de calidad de agua e índice de estado trófico (TSI). Para sedimentos se analizaron los parámetros: materia orgánica total (MOT), fósforo total, nitrógeno total y granulometría. Los parámetros de calidad de agua a excepción del fósforo total, no excedieron el valor del ECA (estándar de calidad ambiental) para agua. El TSI indicó que la zona de estudio se considera oligotrófica. El análisis de sedimentos determinó que las zonas de estudio presentaron valores más altos de materia orgánica, fosforo y nitrógeno total, con respecto al punto control. Se concluye que la zona de estudio presenta una gran resiliencia debido a su geomorfología, lo que atenúa la cantidad de nutrientes.

Palabras Clave: acuicultura, materia orgánica, oligotrófico, nutrientes, radiación solar.

ABSTRACT

One of the fastest growing aquaculture activities in Perú, is trout farming. Intensive aquaculture generates impacts on both, water quality and sediments, leading in many cases, to the eutrophication of the water bodies, due to the inlet of nutrients derived from non-consumed fish feed and fish excreta. This study was conducted with the objective to evaluate the physicochemical characteristics of water, in the trout farming areas. The fieldwork was conducted on October 2019, in the area of El Faro, Pomata, and Puno; 24 samples of water were collected, and 12 samples of sediments from 3 areas and one control point. For the determination of the water quality and trophic state index (TSI), the following parameters were selected: dissolved oxygen, electrical conductivity, temperature, transparency, BOD5, total phosphorus, total nitrogen, chlorophyll a and thermotolerant coliforms. For sediments, the following parameters were analyzed: total organic matter (TOM), total phosphorus, total nitrogen and granulometry. Water quality parameters, with the exception of total phosphorus, did not exceed the ECA (Spanish for environmental quality standard) value for water. According with the TSI indicator, the area is considered oligotrophic. Sediment analysis tests, determined that the studying areas, presented higher values of organic matter, phosphorus and total nitrogen, regarding to the control point. In conclusion, the area of study presents a greater resilience due to its geomorphology, which diminish the amount of nutrients.

Key Words: aquaculture, organic matter, oligotrophic, nutrients, solar radiation.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de trucha en el Perú ha tenido un crecimiento significativo en los últimos años. Desde el 2009 hasta el 2018 la producción nacional de trucha se ha incrementado de 12817 t a 64372 t (PRODUCE, 2018). Puno es considerada la región con mayor producción de trucha a nivel nacional, con un total de 40824,1 t (Ocola et al., 2020), debido a que cuenta con cuerpos de agua de buena calidad que permiten su desarrollo tales como la laguna de Arapa, Lagunillas y el lago Titicaca. Este último cuenta con un total de 13470,29 habilitadas para el desarrollo acuícola, de las cuales solo 230,29 ha son áreas utilizadas para cultivos a menor escala y de subsistencia (Carpio Vargas & Tito Ccopa, 2017). El Faro-Pomata es uno de los principales centros acuícolas de la zona sur del lago Titicaca, con una producción anual de 5608 t (Ocola et al., 2020). Esto representa un importante ingreso económico para la población ubicada allí, la cual se encuentra dedicada principalmente a esta actividad económica.

Como toda actividad productiva, la acuicultura genera impactos en el ambiente; Buschmann (2001) menciona que los principales impactos negativos ocasionados por la acuicultura en lagos y lagunas, son generados por la acumulación de materia orgánica en descomposición

sobre el sedimento que se encuentra en el lecho del lago y debajo de las jaulas flotantes. Estos se generan principalmente por la precipitación de alimento no consumido, así como por las excretas de las truchas. El aumento de nutrientes en la columna de agua, producto de la materia orgánica genera eutrofización, incrementando a su vez el número de bacterias dependientes de oxígeno, creando finalmente un ambiente anóxico (Reese et al., 2008).

Las investigaciones en materia de contaminación del agua originada por la acuicultura, para el lago Titicaca son escasas, en comparación a las que investigan la contaminación causada por los vertimientos de aguas residuales municipales, como el caso de la bahía interior de Puno, el río Coata, y por la actividad minera en la cuenca del río Ramis y Llallimayo; lo que denota un notable vacío de información. Como menciona Barta et al. (2018), los lagos altoandinos requieren investigaciones integrales para un mejor entendimiento de sus procesos.

En ese contexto, la presente investigación contribuye al entendimiento de los complejos procesos e interacciones del medio acuático tanto en la columna de agua como en los sedimentos, a partir del aporte de nutrientes

alóctonos, geomorfología de la zona, que con el paso de los años causará impactos ambientales negativos, que terminarán afectando al lago Titicaca, y a la propia actividad acuícola, con repercusiones adversas en la economía de los productores, y la sociedad en general, ello como consecuencia de la débil gestión ambiental de la acuicultura.

El objetivo de este trabajo es evaluar las características físico químicas del agua y la composición del sustrato en zonas de crianza intensiva de truchas en el Lago Titicaca en la zona del Faro-Pomata, departamento de Puno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente trabajo se realizó en octubre del 2019 y tuvo lugar en la zona lacustre denominada El Faro, con coordenadas $16^{\circ}15'8.64''S$ $69^{\circ}17'40.25''O$ y ubicada al sur del Lago Titicaca, en el distrito de Pomata, provincia de Chucuito, departamento de Puno, donde se realiza el cultivo intensivo de trucha, mediante el sistema de jaulas flotantes, a una altitud de 3809 msnm. Esta zona se considera un área óptima para el cultivo de trucha, ya que se encuentra libre de vertimientos de aguas residuales municipales e industriales y del impacto de la población. Tiene una profundidad promedio de 40 metros en promedio. En la actualidad existen en la zona aproximadamente 50 empresas acuícolas de pequeña escala (AMYPE) y mediana escala (AMYGE), ocupando un área de 1044.8 ha, cabe resaltar que la categoría AMYPE no supera las 150 t, mientras que la categoría AMYGE supera las 150 t de producción anual.

Los tipos de jaulas utilizadas son rectangulares y en algunos casos hexagonales, predominando las primeras. El tipo de red empleado en las jaulas es anchovetera de segundo uso. Existen aproximadamente 1500 jaulas de trucha en el área de estudio (Ocola et al., 2020).

Se conversó con los dueños de las concesiones, sin embargo, algunos no estuvieron de acuerdo que se tomaran muestras en sus áreas, por lo que significó una limitación para el presente estudio.

Obtención de datos

Se colectaron 24 muestras de agua a dos profundidades (0 y 10 m) y 12 muestras de sedimentos, obtenidas de tres (3) zonas: ZA, ZB y ZC, y un punto control (PC) ubicado a 800 m fuera de las zonas indicadas. La determinación de las zonas se realizó de acuerdo a la distribución y abundancia de jaulas (Figura 1). La toma de muestras de agua y sedimento se realizó de acuerdo a lo establecido en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA, 2016).

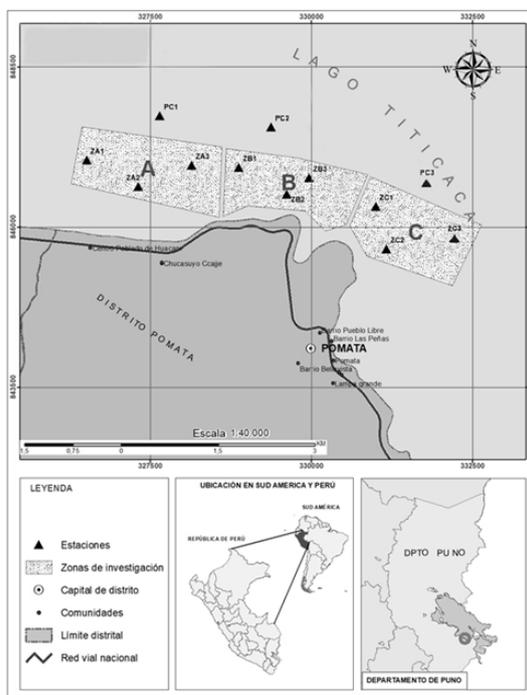


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio, y ubicación de las 12 estaciones de muestreo.

Caracterización físico-química del agua

En cada estación se registró in situ los parámetros de campo: pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto, los que fueron medidos con un multiparámetro PONSEL, y la transparencia del agua con un disco Secchi. Las muestras recolectadas de agua y sedimento se analizaron en el laboratorio acreditado Servicios Analíticos Generales (SAG), con Nro. de registro LE-47. Los parámetros analizados fueron: DBO5 mediante el método APHA, Part 5210 B, fósforo total por el método APHA, Part 4500-PE, nitrógeno total mediante el método APHA, Part 4500-N C y

coliformes termotolerantes mediante el método APHA, Part 9221 E-1. La clorofila-a se midió bajo el método de Extracción con acetona-espectrofotométrico, realizado en el Laboratorio Continental de Puno del Instituto del Mar del Perú (IMARPE).

En el trabajo de gabinete se determinó el índice de estado trófico (TSI) en el cual se utilizó el índice de Carlson (1977) modificado por Kratzer & Brezonik (1981), el cual se basa en el parámetro de nitrógeno total como limitante (Tabla 1). Este índice clasifica a los cuerpos de agua como ultraoligotróficos, oligotróficos, mesotróficos, eutróficos e hipertróficos.

Tabla 1.
Índices de estado trófico (TSI) y parámetros de eutrofización

Parámetro de eutrofización	Carlson (1977)	Kratzer & Brezonik (1981)
Disco Secchi (Ds) (m)	$TSI(Ds) = 60 - 14,41 \ln(Ds)$	-
Fósforo total (Pt) (mg/m ³)	$TSI(Pt) = 14,42 \ln(Pt) + 4,15$	-
Clorofila a (Chl) (mg/m ³)	$TSI(Chl) = 9,81 \ln(Chl) + 30,6$	-
Nitrógeno (TN) (mg N/L)	-	$TSI(TN) = 10(6 - \ln(1,47/TN)/\ln 2)$

Fuente: Franco et al., (2010) .

Los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio y campo se compararon con el D.S N° 004-2017 MINAM, categoría 4, subcategoría E, en el cual se establecen los estándares de calidad de agua (ECA) para la conservación del ambiente acuático, en lagos y lagunas.

Caracterización de sedimentos

Con respecto a las muestras de sedimentos, se analizaron los siguientes parámetros: materia orgánica total (MOT), mediante el método ASTM D 2974-14, fósforo total (Pt) mediante el método EPA Method 200.7 y nitrógeno total (Nt) mediante el método APHA, Part 4500-Norg-B, en el laboratorio Servicios Analíticos Generales (SAG).

Se determinó la granulometría mediante el método utilizado en la norma ASTM D-422, realizado en el Laboratorio Continental de Puno del Instituto del Mar del Perú (IMARPE).

Análisis estadístico

Los datos fueron procesados en el programa Microsoft Excel, y el análisis estadístico mediante el programa RSTUDIOS (v. 1.2.5042) utilizando el test de normalidad de Shapiro-Wilk, el análisis de varianza mediante los test de ANOVA y Kruskal-Wallis, y un test de Tukey para la comparación por pares.

RESULTADOS

De acuerdo a los datos analizados se encontró que los valores de los parámetros temperatura, nitrógeno total, conductividad, clorofila a y oxígeno disuelto, cumplieron los valores establecidos en el ECA agua en todas las zonas y para ambas profundidades (0 y 10 m); mientras que los parámetros conductividad eléctrica y fósforo total no cumplieron con los valores del ECA agua para todas las zonas y a ambas profundidades (Tabla 2). La transparencia fue mayor en PC con 11,6 m y la ZB presento el menor valor con 8,60 m (Figura 2 y 3). Los resultados de los parámetros DBO5 (<2 mg/L) y coliformes fecales (<1,8 NMP/100 ml), según lo reportado por el laboratorio, en ambos casos están por debajo de los respectivos límites de cuantificación, por lo que no fueron tomados en cuenta para los análisis estadísticos, debido a que sus valores fueron los mismos para todas las zonas y profundidades, además de que se encontraron por debajo de valor del ECA agua.

El análisis de varianza para la comparación de parámetros de calidad de agua entre zonas y profundidades demostró que la temperatura, conductividad eléctrica, fósforo total, nitrógeno total, clorofila a y transparencia no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$), mientras que pH y oxígeno disuelto, sí mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$). La prueba de Tukey dio como resultado que el oxígeno disuelto en las zonas ZC y ZB presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$), mientras que para el pH las zonas PC y ZB presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$).

Los valores obtenidos de nitrógeno total (Nt) correspondiente a las muestras de superficie se encontraron por debajo de 0,15 mg/L, siendo éste el límite de cuantificación del método. Por esta razón, se optó por tomar como dato referencial el inmediato inferior 0,14 mg/L para realizar una estimación del NT en la obtención del índice de estado trófico (TSI). Se determinó que, en la zona de estudio, el factor limitante fue el nitrógeno debido a que la proporción de N:P fue de 1 Mol/L:1,24 Mol. El análisis del TSI arrojó que todas las zonas de estudio se categorizan como oligotróficas.

Tabla 2.

Resultados de parámetros de calidad de agua comparados con el ECA Agua.

Parámetro	PC		ZA		ZB		ZC		ECA Agua Cat 4: E1
	Superficie	Zona Media							
Conductividad (uS/cm)	1514	1511	1508	1506	1524	1524	1505	1526	1000
Oxígeno disuelto (mg/L)	6,11	6,07	6,01	6,08	6,73	6,73	5,93	5,85	≥5
pH	8,74	8,67	8,55	8,59	8,48	8,46	8,61	8,65	6,5 a 9,0
Temperatura (°C)	13,9	13,9	15,1	15,1	14,6	14,4	15	14,3	Δ 3
Fósforo total (P mg/L)	0,039	0,053	0,036	0,041	0,039	0,04	0,04	0,041	0,0035
Nitrógeno total (NO ₃ -N mg/L)	0,14	0,147	0,14	0,143	0,14	0,143	0,14	0,14	0,315
Clorofila <i>a</i> (mg/m ³) *	0,309	-	0,795	-	0,311	-	0,737	-	8*

*(El valor establecido en el ECA Agua Cat 4, sub cat E1 para clorofila *a* es de 0,008 mg/L y fue cambiado a mg/m³, unidades utilizadas en este trabajo para la medición de dicho parámetro) .

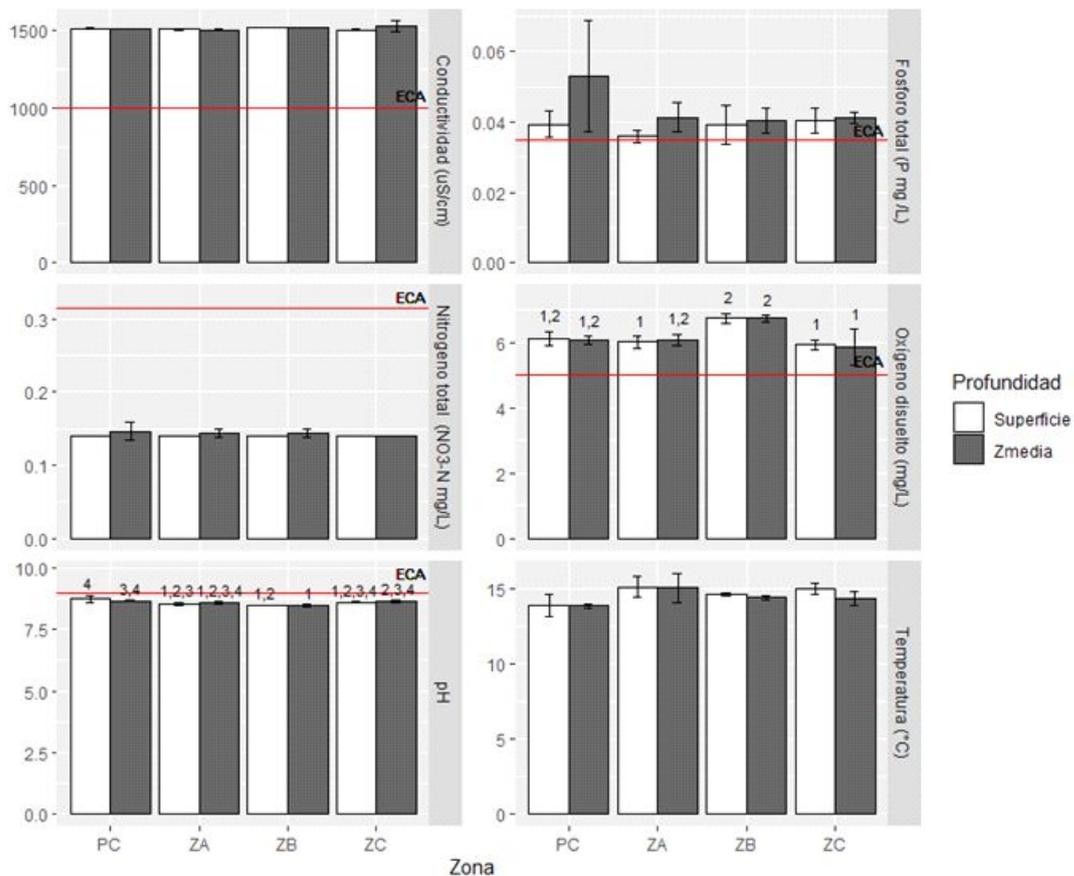


Figura 2. Resultados de los parámetros de calidad de agua y comparación con el ECA agua. Análisis estadísticos donde 1, 2, 3, 4, representan las diferencias significativas entre las zonas y profundidades en El Faro-Pomata. (Los valores del ECA agua son: Conductividad 1000 S/cm, fósforo total 0,035 mg/L, nitrógeno total 0,315 mg/L, oxígeno disuelto ≥5 mg/L (valor mínimo) y pH 6,5 a 9 und).

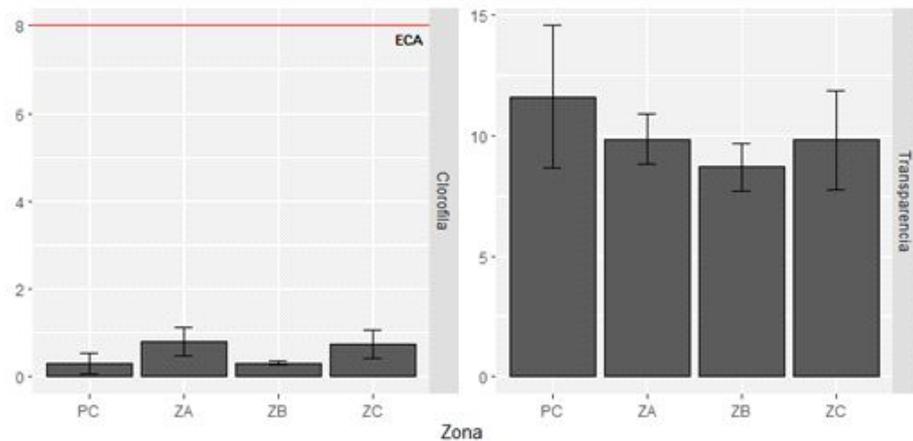


Figura 3. Resultados del análisis de la transparencia y clorofila a. (El valor establecido en el ECA agua Cat 4, sub cat E1 para clorofila a es de 0,008 mg/L y fue cambiado a mg/m³, unidades utilizadas en este trabajo para la medición de dicho parámetro).

Los análisis de sedimentos muestran que la concentración de fósforo total fue más alta en la ZA con $2460,6 \pm 1318$ mg/kg; para materia orgánica la ZC fue el más alto con $9,39 \pm 4,73$ %; y para nitrógeno total la ZA con $0,38 \pm 0,07$ % y la ZB con $0,37 \pm 0,08$ % presentaron los valores más altos. Cabe resaltar que los valores en el PC de fósforo, nitrógeno y materia orgánica fueron los más bajos con respecto a las demás zonas de estudio (Figura 4). El análisis estadístico de sedimentos mediante las pruebas de ANOVA (Fósforo y nitrógeno) y Kruskal-Wallis (materia orgánica) muestran que no existen diferencias significativas ($p > .05$) entre las zonas de estudio.

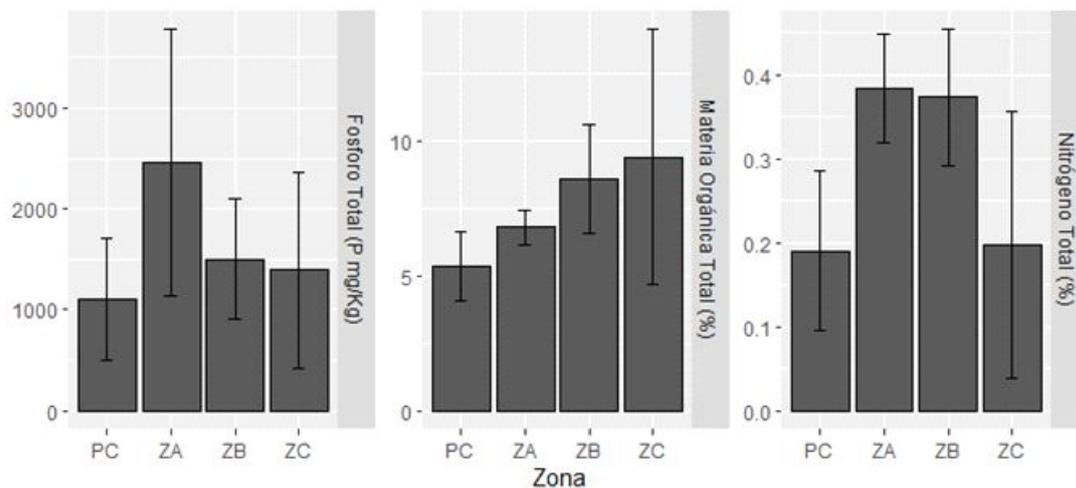


Figura 4. Resultados del análisis de sedimentos en El Faro-Pomata.

Los resultados de granulometría muestran que, los sedimentos para todas las zonas presentaron una textura arenosa de tipo arena muy fina, con presencia de fragmentos calcáreos provenientes de pequeños organismos gasterópodos (caracoles y bivalvos). En zonas como ZC y PC los sedimentos presentaron un olor sulfhídrico, la coloración predominante fue amarilla-rojiza en todas las zonas (Tabla N° 3). Además, se encontraron anfípodos del género Hyalella.

Tabla 3.
Resultados del análisis granulométrico y descripción de los sedimentos de El Faro-Pomata.

Zonas	Tipo de sedimento	Escala Wentworth	Diámetro	Color	Olor	Restos calcáreos
ZA	Arenoso-fangoso	Arena muy fina	88-62,5 μ	Amarillo	-	Si
ZB	Arenoso	Arena muy fina	88-62,5 μ	Amarillo-gris	-	Si
ZC	Fangoso	Arena muy fina	88-62,5 μ	Amarillo-rojizo	Olor sulfhídrico	Si
PC	Arenoso-fangoso	Arena muy fina	88-62,5 μ	Amarillo-rojizo	Olor sulfhídrico	No

DISCUSIONES

Los lagos altoandinos se consideran cuerpos de agua oligotróficos, debido a la baja cantidad de nutrientes presentes (Vila & Mühlhauser, 1987). Sin embargo, estos cuerpos de agua presentan características particulares que los hacen vulnerables a las actividades económicas que se desarrollan en estos ambientes acuáticos, alterando considerablemente el balance trófico y trayendo como consecuencia la eutrofización (Northcote, 1991). El nitrógeno, fósforo y clorofila-a, son parámetros utilizados en la evaluación del estado trófico de un ecosistema acuático. Sus concentraciones en este medio, pueden acelerar o disminuir la eutrofización (Mercante & Tucci-Moura, 1999), sin embargo otros factores ambientales externos contribuyen a la aceleración de procesos de eutrofización como temperatura, profundidad y tamaño del cuerpo de agua. En el trabajo de Fontúrbel Rada (2005) se evaluaron 4 zonas (Cohana, Tiquina, Alaya y Copacabana) del lago Titicaca con alto impacto antropogénico, siendo Copacabana la que presentó el menor grado de eutrofización a pesar de que presentaba diversas acciones impactantes, entre ellas la descarga de aguas residuales municipales de la ciudad de Copacabana. Sin embargo, esta área presenta la mayor profundidad de las 4 zonas, además de ser morfológicamente abierta. Estas características le permitieron tener una mayor resiliencia, similar condición a la zona de estudio considerada oligotrófica según el TSI, a pesar que en ella se lleva a cabo el cultivo intensivo de trucha. Sin embargo, la profundidad media de 40 m, permitiría la dispersión y disolución de los nutrientes.

Los resultados de conductividad eléctrica superaron el ECA agua, encontrándose en promedio 1500 S/cm, resultados que también se corresponden con el monitoreo realizado por la ANA (2014). Los estudios realizados por Dejoux & Iltis (1992) con respecto al contenido de sales en el lago Titicaca, encontraron que éstas fueron elevadas tanto para el lago Mayor como para el Menor o Wiñaymarca, debido a que la cuenca sufre una gran erosión por su naturaleza endorreica, la pérdida de agua por evaporación y el alto tiempo de permanencia de las aguas. Estos factores generan la concentración de sales en el agua.

Los valores de coliformes fecales se encontraron por debajo del límite de cuantificación (<1,8 NMP/100 ml) en todas las zonas de estudio, lo que significa que no existen vertimientos de tipo doméstico, a pesar de la presencia de población en el litoral en la zona de El Faro, lo que quiere decir que la actividad acuícola en esta zona se da en condiciones sanitarias óptimas desde el punto de vista de manejo.

Con respecto al fósforo y al nitrógeno, se sabe que son factores limitantes en el crecimiento fitoplanctónico de lagos (Lampert & Sommer, 1997, citado en Ramos-Higuera et al., 2008). Vincent et al., (1984) determinó que los lagos tropicales generalmente son limitados por el nitrógeno. Esto se corrobora en el trabajo realizado por Dejoux & Iltis (1992), donde encontraron que en la mayor parte del año el lago Titicaca estaba limitado por el nitrógeno, principalmente en los periodos de estratificación térmica (diciembre-mayo), debido a que el nitrógeno es consumido rápidamente por el

fitoplancton, volviéndolo en limitante. Lo encontrado en este trabajo, confirma la limitación por nitrógeno en las zonas de estudio, debido a que la relación fue de 1 Mol N/1,24 Mol P.

La incorporación de fósforo al agua en zonas de cultivo de truchas, procede principalmente del alimento, el cual está constituido generalmente de harina de pescado. Esta contiene un valor aproximado de 2,5% de fósforo; la introducción al agua se da cuando se convierte en un nutriente excedente para el pez, de tal forma que lo excreta al medio acuático (Romero & Manríquez, 1993, citado en Macedo Sucari, 2015). Vásquez Quispesivana et al. (2016) reportaron un incremento de fósforo, debido al cultivo de truchas en la laguna de Arapa-Puno por un periodo de 14 meses, de igual manera Mariano et al. (2010) trabajó en 7 lagunas altoandinas de Junín encontrando también un incremento de fósforo en un periodo de 11 años. El fósforo es un nutriente limitante en la producción primaria de los cuerpos de agua, por lo que un aumento del mismo conduce a la eutrofización (Margalef, 1983; Mustapha et al., 2013). En el presente estudio, la concentración de fósforo superó el valor del ECA agua (0,035 mg/L) en todas las zonas de estudio, lo que significa que el cultivo intensivo de truchas está contribuyendo con el incremento de este nutriente en el cuerpo de agua.

Los valores de clorofila a en el presente estudio, se encontraron muy por debajo de lo establecido en el ECA agua, si bien los nutrientes como fósforo y nitrógeno estuvieron presentes, no fueron los suficientes para incrementar la biomasa algal debido a que se encontraron por debajo de la proporción que mencionan Dejoux & Ittis (1992). Estos autores detallaron también que al ser el nitrógeno el factor limitante, un déficit de éste disminuiría el crecimiento algal. Cabe destacar que la radiación solar es un factor ambiental que también influye en el crecimiento algal actuando de forma perjudicial (Villafañe et al., 2013), en muchos casos inhibiendo la fotosíntesis hasta en un 60 % (UV-A) y 20 % (UV-B). Ello reduce la biomasa algal en la zona eufótica (Villafañe et al., 1999, 2003, 2013; Helbling et al., 2001), por lo que se asume que la mayor concentración de clorofila-a se encuentre entre los 3 a 5 m, así como se menciona en el

trabajo de Dejoux & Ittis (1992). Cabe resaltar que las muestras fueron obtenidas solo de la superficie.

El oxígeno disuelto (OD) es un factor importante, debido a que es consumido por organismos aerobios (Díaz-Vargas et al., 2012). Según Castelán et al. (2008). Los organismos que consumen la mayor cantidad de oxígeno en un lago son las bacterias aeróbicas, que lo utilizan para la degradación de la materia orgánica (MO), por lo que la medida del consumo en 5 días de éste se expresa en el parámetro DBO5 (Ramalho, 1996). De esta manera, una baja concentración de OD significaría un alto consumo de oxígeno para degradación de la MO, característico de ambientes eutróficos. Sin embargo, los valores de oxígeno disuelto en las zonas de estudio fueron en promedio 6 mg/l, similares a los obtenidos por Gutiérrez (2018) que realizó mediciones en la misma zona. Estos valores bajos de oxígeno se deben principalmente a la disminución de la presión atmosférica que hay en la altura, lo que impide que el oxígeno atmosférico ingrese al agua (Dejoux & Ittis, 1992). Los valores de DBO5 se encontraron por debajo del límite de cuantificación (<2 mg/L), cumpliendo lo estipulado en el ECA agua, por lo que se asume que la cantidad de MO sería muy baja, o en todo caso atenuada por la gran masa de agua y las mezclas superficiales generadas por los vientos.

La acumulación de sedimentos en los fondos lacustres, provienen de fuentes externas o alóctonas como material acarreado por ríos y de fuentes biogénicas que pueden ser organismo muertos y sus desechos (Margalef, 1983). Con respecto a la zona de estudio no existen ríos ni vertimientos de aguas residuales municipales, por lo que la generación de sedimentos se encuentra asociada al cultivo de trucha y en parte, a los propios sedimentos naturales del lago Titicaca, sobre los que se deposita el material orgánico generado durante el proceso de producción. Su evidencia física, es la textura pastosa y de color negro, además de restos de truchas muertas y desperdicio de alimento. El promedio de MO en las zonas de estudio fue de 8.24 %, mayores en relación al punto control (5.34 %), lo que se corresponde con el trabajo realizado por Velazco & Solís (2009) que reportó que los valores de MO oscilaron entre 9.18 a

18.72 %. De igual manera, los resultados de granulometría en esta zona confirman la predominancia de sedimentos de tipo arenoso. La acumulación de materia orgánica en los sedimentos produce cambios a niveles químicos y cambios estructurales del macrobentos (Enell & Löf, 1193 citado por Buschmann, 2001), siendo la anoxia uno de los factores más dañinos en este tipo de ecosistemas, debido a que limita la diversidad de especies (Cornel & Whoriskey, 1993).

Como se ha visto anteriormente, el cultivo de trucha en El Faro, ha realizado cambios en la distribución y acumulación de los nutrientes tanto en la columna de agua como en los sedimentos, sin embargo, otros factores también se ven afectados, así lo indica Piludo (2020) el cual menciona que el incremento de jaulas de cultivo, pueden cambiar el régimen de flujo de agua, afectando así el transporte de sedimentos, oxígeno y otros parámetros, además pueden haber cambio en el aspecto estético de la zona, afectando principalmente al escenario paisajístico que ofrece el lago Titicaca (Escobar-Mamani & Capurro, 2021).

Los lagos altoandinos como el lago Titicaca, se consideran ecosistemas frágiles (Dodds & Whiles 2010 citado por Rascón et al., 2021), siendo su principal problema la eutrofización, debido a que son de naturaleza endorreica, concentrando así los nutrientes en el cuerpo de agua (Ocola & Laqui, 2017; Pino V., 2021). De esta manera, una acuicultura que no prevea estos riesgos, generará en un futuro problemas no solo ambientales, sino también socio-económico, ya que muchas personas dependen de esta actividad y siendo la región la Puno la mayor productora de trucha a nivel nacional, sería un impacto muy importante.

Las características físico-químicas del agua en la zona de El Faro-Pomata muestran que el área de estudio no se encuentra contaminada, esto debido a la geomorfología, batimetría y corrientes de la zona. Sin embargo, si existe un gran aporte de Fosforo por parte de la acuicultura de trucha, lo que podría influir en el cambio trófico, que a futuro impactaría no solo en el ambiente sino también el factor socio-económico, ya que muchos productores dependen de esta actividad.

La zona de estudio se caracterizó como oligotrófica, según el índice de estado trófico (TSI). La composición del sustrato fue catalogada como arenoso-fangoso y con un alto contenido de materia orgánica en la zona de estudio, procedente de las jaulas de cultivo, lo que ha generado un cambio en la composición de éste, por lo que a largo plazo reducirá la riqueza de especies bentónicas y creará fondos anóxicos, evidenciando así, el efecto negativo de la actividad sobre los sedimentos.

Conflictos de interés

El presente artículo no presenta conflicto de interés de ningún tipo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. (2014). Evaluación de la calidad del agua del Lago Titicaca Perú—Bolivia. 68. <https://bit.ly/2Yg9BuN>
- ANA. (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. <https://bit.ly/3B2iFBH>
- Barta, B., Mouillet, C., Espinosa, R., Andino, P., Jacobsen, D., & Christoffersen, K. S. (2018). Glacial-fed and páramo lake ecosystems in the tropical high Andes. *Hydrobiologia*, 813(1), 19–32. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3428-4>
- Buschmann, A. (2001). Impacto ambiental de la acuicultura: El estado de la investigación en Chile y el mundo. Fundación Terram. Santiago, 63p. <https://bit.ly/3mh9MxR>
- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes1. *Limnology and Oceanography*, 22(2), 361–369. <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>
- Carpio Vargas, E. E., & Tito Ccopa, E. (2017). Escalas productivas y nivel de riesgo del producto de trucha, Puno-Perú. 8(2), 81–93. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2219-716820170002-00002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Castelán, H. Q., Eslava, O. M., Astudillo, I. M., Rodríguez, J. G., & Vargas, M. D. (2008). Dinámica espacio-temporal de oxígeno-temperatura en los lagos Zempoala y Tonatiahua. *Acta Universitaria*, 18(1),

- 57–65. <https://bit.ly/39WX0ih>
- Cornel, G. E., & Whoriskey, F. G. (1993). The effects of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cage culture on the water quality, zooplankton, benthos and sediments of Lac du Passage, Quebec. *Aquaculture*, 109(2), 101–117. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90208-G](https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90208-G)
- Dejoux, C., & Iltis, A. (1992). El lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico actual.
- Díaz-Vargas, M., Arriaga, E. E. E., Castelán, H. Q., Rodríguez, J. G., & Estudillo, I. M. (2012). Caracterización de Algunos Parámetros Físico Químicos del Agua y Sedimento del Lago Zempoala, Morelos, México. Caracterización de Algunos Parámetros Físico Químicos del Agua y Sedimento del Lago Zempoala, Morelos, México. <https://bit.ly/3uJH7Wh>
- Escobar-Mamani, F., & Capurro, V. P. (2021). Biodiversidad y científicos viajeros: Una visión desde los Andes. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(1), 5–9. <https://doi.org/10.18271/ria.2021.238>
- Fontúrbel Rada, F. (2005). Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del Lago Titicaca (Bolivia). *Ecología Aplicada*, 4(1–2), 135–141. <https://bit.ly/3ikU6bR>
- Franco, D. P. M., Manzano, J. Q., & Cuevas, A. L. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. 78, 25–33. <https://bit.ly/3kYSC8M>
- Gutiérrez, S. (2018). Influencia de la producción de trucha en el impacto ambiental en la región de Puno 2017. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8523>
- Helbling, E. W., Villafañe, V., Buma, A., Andrade, M., & Zaratti, F. (2001). DNA damage and photosynthetic inhibition induced by solar ultraviolet radiation in tropical phytoplankton (Lake Titicaca, Bolivia). *European Journal of Phycology*, 36(2), 157–166. <https://doi.org/10.1017/S0967026201003122>
- Kratzer, C. R., & Brezonik, P. L. (1981). A Carlson-Type Trophic State Index for Nitrogen in Florida Lakes1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 17(4), 713–715. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1981.tb01282.x>
- Macedo Sucari, P. (2015). Nivel de energía y proteína en la dieta sobre la formación de residuos en cultivos de truchas Arco Iris. Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2632>
- Margalef, R. (1983). *Limnología*. Ediciones Omega. SA, Barcelona.
- Mariano, M., Huaman, P., Mayta, E., Montoya, H., & Chanco, M. C. (2010). Contaminación producida por piscicultura intensiva en lagunas andinas de Junín, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 17(1), 137–140. <https://doi.org/10.15381/rpb.v17i1.63>
- Mercante, C. T. J., & Tucci-Moura, A. (1999). Comparação entre os índices de Carlson e de Carlson modificado aplicados a dois ambientes aquáticos subtropicais, São Paulo, SP. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 11(1), 1–14.
- Mustapha, A., Driss, B., Khadija, E., & Mohammed, B. (2013). Optimization and Efficiency in Rainbow Trout Fed Diets for Reduce the Environment Impact in Morocco. *Universal Journal of Environmental Research & Technology*, 3(2). <https://bit.ly/2YdqAxC>
- Northcote, T. (1991). Eutrofización y problemas de polución. En "El Lago Titicaca: Síntesis del Conocimiento limnológico actual, Claude Dejoux y André Iltis.
- Ocola, J., Fernández, V., Escalante, J., Klauer, B., Laqui, W., Chuquisengo, L., & Espíritu, C. (2020). La acuicultura y la gestión integrada de los recursos hídricos en la cuenca del Lago Titicaca (Universidad Nacional de Juliaca). San Marcos.
- Ocola, J., & Laqui, W. (2017). Fuentes contaminantes en la cuenca del Lago Titicaca: Un aporte al conocimiento de las causas que amenazan la calidad del agua del maravilloso Titicaca. Autoridad Nacional del Agua.
- Piludo, R. O. S. (2020). La Truchicultura en el Lago Titicaca. *REVISTA IIGEO*, 1(11), 76–100. <https://bit.ly/3FckYEP>
- Pino V., E. (2021). Conflictos por el uso del agua en una región árida: Caso Tacna, Perú. *Diálogo andino*, 65, 405–415. <https://doi.org/10.4067/S0719-268120-21000200405>
- PRODUCE. (2018). Anuario Estadístico Pesquero

- y Acuícola 2018. <https://bit.ly/3D5tsf2>
- Ramalho, R. S. (1996). Tratamiento de aguas residuales. Reverté.
- Ramos-Higuera, E., Alcocer, J., Ortega-Mayagoitia, E., & Camacho, A. (2008). Nitrógeno: Elemento limitante para el crecimiento fitoplanctónico en un lago oligotrófico tropical. *Hidrobiológica*, 18, 105–113. <https://bit.ly/39Zkqno>
- Rascón, J., Corroto, F., Tafur, D. L., & Torres, O. A. G. (2021). Variaciones limnológicas espaciotemporales de un lago altoandino tropical al norte de Perú. *Ecología Austral*, 31(2), 343–356. <https://doi.org/10.25260/EA.21.31.2.0.1200>
- Reese, B. K., Anderson, M. A., & Amrhein, C. (2008). Hydrogen sulfide production and volatilization in a polymictic eutrophic saline lake, Salton Sea, California. *Science of The Total Environment*, 406(1), 205–218. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.07.021>
- Vásquez Quispesivana, W., Talavera Núñez, M., & Inga Guevara, M. (2016). Evaluación del impacto en la calidad de agua debido a la producción semi intensiva de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes en la laguna Arapa—Puno. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(1), 15–28. <https://bit.ly/3D2i2sm>
- Velazco, F., & Solis, J. (2009). Características granulométricas Y geoquímicas de los sedimentos del Lago Titicaca en áreas seleccionadas. Cr0907. 1.
- Vila, I., & Mühlhauser, H. A. (1987). Dinámica de lagos de altura, perspectivas de investigación. *Arch. Biol. Med. Exp*, 20, 95–103. <https://bit.ly/2Y8JzJm>
- Villafañe, V. E., Andrade, M., Lairana, V., Zaratti, F., & Helbling, E. (1999). Inhibition of phytoplankton photosynthesis by solar ultraviolet radiation: Studies in Lake Titicaca, Bolivia.
- Villafañe, V. E., & Helbling, E. (2003). Radiación ultravioleta en el Lago Titicaca, Bolivia: Efectos y adaptación de los organismos planctónicos.
- Villafañe, V. E., Helbling, W. E., & Lazzaro, X. (2013). Efectos de la radiación ultravioleta en el plancton del lago Titicaca: Una base de datos necesaria para inferir el impacto del cambio global en lagos de altura (Centre IRD de Bondy). 79–80. <https://bit.ly/3A6fQxX>
- Vincent, W. F., Wurtsbaugh, W., Vincent, C. L., & Richerson, P.J. (1984). Seasonal dynamics of nutrient limitation in a tropical high-altitude lake (Lake Titicaca, Peru-Bolivia): Application of physiological bioassays 1. *Limnology and Oceanography*, 29(3), 540–552. <https://doi.org/10.4319/lo.1984.29.3.0540>