

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE JAULA FLOTANTE CON COLECTOR DE RESIDUOS ORGÁNICOS (RESTOS DE ALIMENTO Y EXCRETAS), PRODUCIDO POR CULTIVO DE TRUCHAS EN EL LAGO TITICACA, PERÚ

Design of a floating cage prototype with organic waste collector (food remains and excreta), produced by trout farming in lake Titicaca, Perú

Glicerio Reyes Amaru Chambilla¹, Guido Amaro Chambilla², Miguel Ángel Yucra Quispe³, Edwin Federico Orna Rivas⁴

RESUMEN

En el Lago Titicaca, Perú, el cultivo de truchas en jaulas flotantes ha sido una valiosa oportunidad para los pobladores andinos, ofreciendo alimento y autoempleo. Sin embargo, este método ha generado problemas ambientales al contaminar el fondo del lago con grandes cantidades de residuos orgánicos, como excretas y restos de alimento balanceado. Para abordar este desafío, se diseñó un prototipo de jaula flotante con un colector de residuos orgánicos integrado, junto con un sistema de bombeo y sedimentador estático vertical. El objetivo del trabajo de investigación fue mitigar la contaminación del lago Titicaca causada por el consumo de alimento balanceado en el cultivo de truchas. Se construyó un modelo de jaula colectora que captó una cantidad significativa de residuos orgánicos. Se emplearon 7 600 truchas arco iris de 800 g en promedio, alimentadas con 300 kg día⁻¹ de alimento balanceado *ad libitum* durante 30 días. Después de 16 horas desde el suministro de alimento, se observó una acumulación promedio de residuos orgánicos de 6.9 ± 0.98 kg día⁻¹, que fueron transportados al sedimentador mediante una bomba eléctrica. Se realizó un análisis de calidad del agua, encontrando valores de fósforo total (PT) de 1.316 ± 0.059 mg L⁻¹, nitrógeno total (NT) de 0.013 ± 0.001 mg L⁻¹ y materia orgánica total (MOT) de 55.60 ± 0.30 mg L⁻¹ en la columna de agua en la zona de cultivo. En conclusión, el diseño de la jaula colectora demostró ser una alternativa eficaz para evitar la acumulación de residuos orgánicos en el fondo del lago, y los residuos recuperados pueden ser utilizados como abono agrícola, agregando valor al proceso.

Palabras clave: trucha, residuos orgánicos, jaula flotante colectora, fósforo, nitrógeno.

ABSTRACT

In Lake Titicaca, Peru, trout farming in floating cages has been a valuable opportunity for Andean residents, offering food and self-employment. However, this method has generated environmental problems by contaminating the bottom of the lake with large amounts of organic waste, such as excreta and remains of balanced feed. To address this challenge, a floating cage prototype was designed with an integrated organic waste collector, along with a vertical static settler and pump system. The objective of the research work was to mitigate the pollution of Lake Titicaca caused by the consumption of balanced feed in trout farming. A collecting cage model was built that trapped a significant amount of organic waste. 7 600 rainbow trout weighing an average of 800 g were used, fed with 300 kg day⁻¹ of balanced feed *ad libitum* for 30 days. After 16 hours from the feed supply, an average accumulation of organic waste of 6.9 ± 0.98 kg day⁻¹ was observed, which was transported to the settler using an electric pump. A water quality analysis was carried out, finding values of total phosphorus (TP) of 1.316 ± 0.059 mg L⁻¹, total nitrogen (TN) of 0.013 ± 0.001 mg L⁻¹ and total organic matter (MOT) of 55.60 ± 0.30 mg L⁻¹ L in the water column in the growing area. In conclusion, the design of the collecting cage proved to be an effective alternative to avoid the accumulation of organic waste at the bottom of the lake, and the recovered waste can be used as agricultural fertilizer, adding value to the process.

Keywords: trout, organic matter, floating cage, phosphorus, nitrogen.

¹ ✉ Consultor, Empresa Continental Trout Perú EIRL- PNIPA, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4012-1707>. gamaru_chambilla@hotmail.com

² Gerente General, Empresa Continental Trout Perú EIRL, Perú. guimaru_20@hotmail.com

³ Investigador, Universidad Nacional del Altiplano, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2625-4741>. ma_yucraquis@hotmail.com

⁴ Investigador, Universidad Nacional del Altiplano, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3851-2226>. edwinhorna@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

La región Puno, a la fecha es considerada como el primer productor acuícola de la especie trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* (Bengoa y Briceño, 2013) manteniendo una producción de 29 503 t en el año 2 019 y 34 128 t en el año 2 020, teniendo una disminución porcentual de 36 y 26 % con respecto a la producción del año 2018 que registró una producción de 46051 t (DIREPRO -PUNO, 2021). Esta actividad se ha convertido en una alternativa en la economía y la contribución de proteínas en las familias que habitan en el anillo circunlacustre.

La FAO (2022) menciona que, a pesar de los importantes avances anteriores, el mundo no está a un en vías de acabar con el hambre y la desnutrición para el año 2030. En todo el mundo ocurre la degradación de los ecosistemas, crisis climática cada vez más fuerte y un incremento de la pérdida de la biodiversidad está amenazando empleos, economías, medio ambiente y la seguridad alimentaria, todo ello agravado por los efectos de la COVID 19, actualmente, 811 millones de personas padecen hambre y 3 000 millones no tiene una dieta saludable (FAO, 2022). Por ello a la acuicultura han convertido en una importante actividad económica a nivel mundial (Iglesias, 2020), la contribución de las proteínas del pescado al suministro mundial de proteínas animales se ha mantenido en un 16.6 % en los últimos años (Rosas, 2012). Sin embargo, la intensificación sin el manejo ambiental de esta actividad, en el Lago Titicaca (Perú) como en lagunas altoandinas, provocaría problemas ambientales como la aparición de enfermedades (Sierralta et al., 2013), cambios bruscos de factores físico- químicos (temperatura, oxígeno y pH).

La provincia de Chucuito-Juli, es una de las principales zonas de cultivo de truchas en jaulas flotantes convencionales construidas de material de tubo galvanizado de diferentes tamaños, dichas infraestructuras ofrecen mejores condiciones para el cultivo de peces. Es un espacio donde los factores físico-químicos como el oxígeno disuelto, la temperatura, pH, entre otros se obtiene de manera natural, estas estructuras flotantes cumplen la función de sostener las bolsas donde se encuentran confinados las truchas y estas están confeccionadas de material polietileno y/o polipropileno (Orvay, 2013).

El alimento balanceado es el principal insumo utilizado en el cultivo de truchas, la calidad de sus ingredientes, así como el tipo de procesamiento determina la

eficiencia del alimento (Vásquez et al., 2016); sin embargo, la forma de proporcionar el alimento a los peces repercutirá significativamente en los aspectos de productividad, económicos y medioambientales.

Chaperón (2015) menciona que, el principal problema ambiental de la piscicultura en jaulas flotantes es la producción de residuos orgánicos que provienen principalmente del alimento no ingerido, de la excreta, y de los peces muertos. Estiman que por cada tonelada de salmón producido se generan 1.4 toneladas de lodos, lo que indica que se deben buscar alternativas para su destino y uso (Salazar et al., 2005), los alimentos contienen hormonas o estimuladores de crecimiento, conservantes y antioxidantes, estos residuos se presentan generalmente como acumulación de sólidos fosforados o nitrogenados. Calderer et al. (2005) citado por Orvay (2013) menciona que aproximadamente el 5 - 10 % de lo que se proporciona se pierde por una mala alimentación de los piscicultores al desconocimiento real de la biomasa de cultivo, asimismo, indican que una tonelada de alimento seco contiene 22 kg de fósforo y 116 kg de nitrógeno, de los cuales solo son aprovechados por los peces el 30 y 25 % respectivamente, con lo cual, por cada tonelada de alimento proporcionado, se liberaría al ambiente acuático en forma de sólidos y soluble el 70 % de fósforo y el 75 % de nitrógeno.

El planteamiento de problema fue; En el Lago Titicaca - Perú, el cultivo de truchas en jaulas flotantes presenta una oportunidad al poblador andino por proveer alimento y el autoempleo. Sin embargo, este cultivo en los últimos años viene generando grandes cantidades de residuos orgánicos como excretas y restos de alimento balanceado que ingresan al fondo del lago generando un impacto negativo en el ecosistema acuático.

El objetivo del trabajo de investigación fue mitigar la contaminación del lago Titicaca causada por el consumo de alimento balanceado en el cultivo de truchas mediante el uso de una jaula colectora de residuos orgánicos (excretas).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

Los ensayos se desarrollaron durante el mes de noviembre del 2022, en las instalaciones de la Empresa Pesquera Continental Trout Perú EIRL, ubicado en la comunidad Campesina de Chucasuyo, Distrito de Juli,

provincia de Chucuito y departamento de Puno, Perú; localizado entre las coordenadas 16°12'317" S y 69°23'342" W.

Metodología

Población objeto de estudio

Para el estudio se utilizó 7 600 unidades de trucha arco iris de 800 g promedio, asumiendo una biomasa de 6 800 kg.

Jaulas

Las estructuras flotantes utilizadas por la empresa fueron hexagonales y octagonales de material tubo galvanizado con pasarelas de 6 m por lado y bolsas de material polyester de 2 pulgadas, cuyas instalaciones se encontraron a una distancia de 1 300 m desde la orilla y a una profundidad de 30 m.

Se diseñó un prototipo de jaula con colector de residuos orgánicos (Figura 2), para el cual se ha confeccionado una bolsa hexagonal en forma de embudo utilizando material de malla antiafida de 2 mm, tejido de alta resistencia monofilamento de polietileno lineal de alta densidad, esta malla presentó las siguientes dimensiones; parte superior de la bolsa, 5.5 m por lado, altura 4.5 m y la parte inferior de la bolsa 0.10 m por lado. En la parte inferior de la bolsa se ha instalado un envase colector quien cumplió la función de detener los residuos orgánicos que ingresan al fondo de lago, este colector fue construido a partir de un recipiente de pvc de 20 L de volumen integrado con una bomba succionadora eléctrica sumergible de 1/5 HP. Dicha bomba se encargó de elevar al sedimentador estático mediante una manguera de 2.5 pulgadas (Figura 1E), proceso que se llevó cada 30 minutos, el sedimentador de flujo vertical (Figura 1C) presentó las siguientes medidas: 1.5 m de altura y 80 cm por lado construida a base de plancha de metal cubierto con pintura anticorrosiva el cual fue instalado sobre una plataforma flotante de 4x4x4 m construido

de tubo galvanizado, cintas de madera y cilindros de plástico, asimismo la plataforma fue utilizada para el panel solar y Eólica, equipos que generaron energía eléctrica para el funcionamiento de la bomba (Figura 2).

La bolsa colectora en forma de embudo fue posicionada en la parte inferior (fondo) de la bolsa madre o principal (jaula con truchas). Asimismo, para generar la energía eléctrica para el proceso de bombeo, se utilizó la energía fotovoltaica (panel solar) y energía eólica. El periodo de succión de los residuos orgánicos fue controlado mediante un tablero eléctrico (Figura 1 y 2).

Una vez sedimentada la materia orgánica fue acopiada en 02 bolsas ziploc, la cantidad de 1 000 g en cada bolsa previamente rotulado y preservados a ≤ 4 °C de temperatura (Apha, 2017), y estas fueron trasladadas hacia un laboratorio para realizar el análisis de nitrógeno total (NT) y fósforo (PT) y la otra parte de residuos orgánicos fueron trasladados hacia la orilla y secados para el uso como abono agrícola (Figura 1).

Variables

Para la determinación de materia orgánica total (MOT), nitrógeno (NT) y fósforo total (PT) en residuos orgánicos, se realizó mediante el método de análisis simultáneo; para ello se utilizó un analizador segmentado de nutrientes (Apha, 2017). La determinación de materia orgánica total (MOT) se realizó por ignición, se usó una mufla (R:M: N° 003-2002-PE). Por otro lado, se colectaron muestras de agua en la zona de cultivo, esta se realizó en extractos alrededor de la jaula flotante en cuatro (4) puntos a una profundidad de 8.3 y 0 m, para la cual se usó una botella Niskin de 5 L dotado de mecanismos de cierre para confinar el volumen de agua que se extrae de la profundidad de interés en frascos de PVC, boca angosta de 250 mL, previamente rotulados y preservados a ≤ 4 °C de temperatura (Apha, 2017). Así mismo, se realizó el registro de temperatura, pH y oxígeno con un multiparámetro YSI.



Figura 1. Instalación de jaula colector de residuos orgánicos. A) Jaula flotante de cultivo. B) Bolsa colector de 2 mm de malla. C) Plataforma flotante con energía foto voltaica y eólica. D) Manguera conectada al envase colector. E) Sedimentador vertical estático. G) Ingreso de residuos orgánicos al sedimentador. H) Residuos orgánicos en bolsa siploc y en envases. I) Envase colector con bomba sumergible de sedimento.

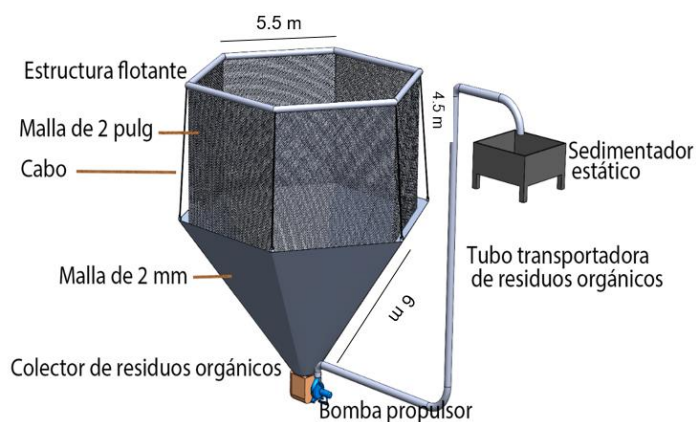


Figura 2. Diseño de jaula colectora de residuos orgánicos (excretas) y alimento balanceado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de residuos orgánicos obtenidos con la bolsa colectora

El diseño de la jaula colectora de residuos orgánicos ha demostrado ser eficiente una vez instalado. Este prototipo funcionó según lo requerido. De los 300 kg día⁻¹ de alimento suministrado a las truchas, se obtuvieron entre 6 a 8 kg de excremento, lo que equivale a un 2.0 y 2.6 % respectivamente, con un promedio de 6.9 ± 0.98 kg día⁻¹ (Tabla 1). Esta cifra es un indicativo del trabajo realizado y requiere ser recalculada considerando las posibles pérdidas debido al movimiento del agua. Existe poca información sobre la obtención, manejo y caracterización de estos desechos en la actividad acuícola, más aún la ausencia de una reglamentación clara sobre el particular.

Tabla 1. Residuos orgánicos obtenidos con la bolsa colectora.

Número de días de muestreo	Promedio de residuos orgánicos obtenidos en kg (peso húmedo)
Semana 1	6.20
Semana 2	8.00
Semana 3	7.50
Semana 4	6.00
Promedio	6.925
Valor máximo	8.0
Valor mínimo	6.0
D.E.	0.98

Tabla 2. Frecuencia estimada de generación de materia orgánica en el cultivo de trucha a partir de suministro de 300 kg día⁻¹ de alimento.

Frecuencia	Diario	Semanal	Mensual	Anual
Masa húmeda (kg)	6 - 8	36 - 48	156 - 208	1 872 - 2 496

La Tabla 2 muestra que, al cultivar altas densidades de trucha generaría grandes cantidades de desechos fecales los cuales se acumularían en la zona de cultivo y áreas adyacentes. Sin embargo, dado que la actividad acuícola se lleva en pequeña escala por el momento, no se observan impactos graves que pueden ser visibles. En relación con esto la, FAO (2006) menciona que los volúmenes altos de desechos fecales pueden agotar el factor determinante como es el oxígeno disuelto.

Análisis de nitrógeno y fósforo total

La evaluación del contenido de nitrógeno y fósforo total en el lago adyacente a las jaulas de truchas, los resultados indicaron que la concentración media de nitrógeno total fue de 0.777 ± 0.225 mg L⁻¹, mientras que la de fósforo total fue de 0.145 ± 0.044 mg L⁻¹.

Este resultado estaría asociado probablemente al proceso de nitrificación el cual implica la oxidación de la materia orgánica (Wetzel, 2001). Además, otro proceso que podría influir en la presencia de altos contenidos de nitrógeno es la remineralización de la materia orgánica (De Castro et al., 2006). En cuanto a fósforo total, se observó una concentración de 0.145 mg L⁻¹, lo que explicaría el proceso dinámico por el recambio de aguas entre zonas con jaulas y zonas sin actividad acuícola (Tae-Woon Kang et al., 2022). Asimismo, Toner y Catling (2019) señalan que los contenidos de fósforo encontrados en el fondo podrían atribuirse a la presencia de concentraciones ricas en materia orgánica y carbonatos. Es importante destacar que las concentraciones de nitrógeno total y fósforo total observadas tienden a exceder los rangos permisibles de ECA categoría 4 y 2 (DS N° 004-2017-MINAM) (2017).

Por otro lado, se evaluó el contenido de nitrógeno y fósforo total en sedimentos obtenidos mediante la jaula colectora tras la alimentación de las truchas. (Actividad que se realizó cada 16 horas). Se observó un nivel de nitrógeno total de $0.013 \pm 0.001 \text{ mg L}^{-1}$, y un nivel de fósforo total de $1.316 \pm 0.05 \text{ mg L}^{-1}$, con un contenido de materia orgánica total de $55.60 \pm 0.30 \%$.

Los aportes de concentraciones mayoritarias de materia orgánica (>50 %) en residuos de alimento balanceado y excretas de truchas captadas por la jaula colectora, evidenciaron altos contenidos de fósforo total y bajos de nitrógeno total. Esto último sugiere un proceso lento de nitrificación por oxidación de la materia orgánica (Jeppesen et al., 1997). El alto contenido de materia orgánica y fósforo total en desechos condicionaría el proceso acelerado de eutrofización de las aguas de la zona evaluada (Fonturbel, 2005). Vásquez et al. (2016) y Zhang et al. (2019) manifiestan que en lagos donde se desarrolla la actividad acuícola, sufren una eutrofización dramática si no se implementa un sistema de gestión sostenible y amigable con el medio acuático.

Análisis del diseño y la importancia del uso de jaula colectora

El cultivo de trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* en jaulas flotantes es una práctica común en la industria acuícola, sin embargo, conlleva el desafío de gestionar adecuadamente los residuos orgánicos generados durante el proceso. Estos residuos, que incluyen excretas de los peces y restos de alimento no consumido, pueden tener un impacto significativo en el ecosistema acuático circundante si no se manejan de manera adecuada.

En ese sentido, se ha propuesto diseñar una jaula colectora que permita detener los residuos sólidos antes de que alcancen el fondo del lago. De acuerdo con Gonzales (2012), como parte integral de la piscicultura sustentable, debe ser una exigencia en toda explotación acuícola la implementación de áreas de recolección de sedimentos con contenido orgánico. Asimismo, es importante considerar el tipo y marca del alimento utilizado de acuerdo a su digestibilidad, ya que un alimento altamente digestible generará menos residuos. Se debe seleccionar un alimento balanceado cuyos nutrientes puedan ser efectivamente asimilados por la trucha para su crecimiento, minimizando el desperdicio y la contaminación asociada.

Los impactos ambientales negativos asociados a la acuicultura incluyen: eutrofización de las aguas, deterioro de la calidad del agua, alteraciones o destrucción de los hábitats naturales e introducción y transmisión de enfermedades de los animales acuáticos (Haroun et al., 2007). En ese sentido, esta investigación buscó la forma de mitigar el impacto negativo que viene generando la actividad truchícola. Para ello, fue importante determinar la cantidad de excremento que ingresa al lecho del lago. Buschman (2001) menciona que la piscicultura impacta en el medio ambiente a través de tres procesos: el consumo de recursos, el proceso de transformación y la generación del producto final. Boyd (1995) indica que el intercambio de compuestos entre los dos compartimentos, agua y sedimento, afecta en alto grado la composición del agua.

Asimismo, Calderer et al. (2005) indican que aproximadamente entre el 5 y el 10 % del alimento proporcionado se pierde por una mala alimentación. Hettich (2004) menciona que en Chile los valores de digestibilidad total para trucha arcoíris son del 85 %, transformándose el 15 % restante en heces. Sin embargo, Calderer et al. (2005) muestran que una tonelada de alimento seco contiene 22 kg de fósforo y 116 kg de nitrógeno, de los cuales solo son aprovechados por los peces el 30 % y el 25 % respectivamente. Por lo tanto, se liberaría al lago en forma de sólidos y solubles el 70 % del fósforo y el 75 % del nitrógeno.

CONCLUSIONES

La implementación del sistema de jaula colectora ha demostrado ser efectiva en la prevención del vertido de residuos orgánicos, como excretas y restos de alimento, en el lecho del lago. Este prototipo promete ser una solución prometedora para reducir significativamente el ingreso de residuos orgánicos al fondo del lago, un problema común asociado con la actividad acuícola. No obstante, se sugiere llevar a cabo estudios adicionales y realizar mejoras en ciertos aspectos del modelo presentado, como la selección del tipo de malla colectora más adecuada. Esta innovadora solución podría convertirse en una herramienta invaluable para la gestión sostenible de los recursos acuáticos.

A pesar de las sucesivas mejoras que se fueron aplicando durante el proceso de instalación de la bolsa

colectora, se evidenció que esta ha presentado en ocasiones flotabilidad en oleajes y en corrientes de agua muy fuertes, es probable que en estas condiciones el residuo orgánico pudo haber dispersado hacia los exteriores una cantidad determinada del envase colector. Del mismo modo se determinó la cantidad de fósforo y nitrógeno total en el sedimento y en la columna de agua muestreado alrededor de la jaula. Una parte de materia orgánica fue tratada en biodepositos en tierra para ser empleado como sustrato agrícola en donde se ha comprobado su eficacia como fertilizante, observando su eficacia en cultivos agrícolas.

Finalmente la acuicultura es un negocio de inversión, rentable en el corto plazo, por lo que necesariamente debe ser económicamente viable y ambientalmente sustentable, también es importante mencionar cuando se equilibra la parte bentónica, el impacto probablemente sea positivo, ya que se incrementaría biomasa de algunas poblaciones naturales asociadas a las jaulas, asimismo algunos crustáceos y peces bentónicos se colonizan en los bolsos sucias lanzadas al fondo del lago que estas también sirve como zona de desove y refugio para larvas y alevinos de algunos peces.

BIBLIOGRAFÍA

- Apha. 2017. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, 23 Edición. Editores Díaz de Santos S.A. Madrid. 1816 pp.
- Bengoa, PC; Briceño, V. 2013. Análisis del mercado de Canadá para la exportación de trucha ahumada de la región Puno, 2009-2015 (en línea). Consultado 09 sept. 2023. Disponible en <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/3704>
- Boyd, CE. 1995. Bottom soils, sediment and pond aquaculture. New York: Chapman & Hall, 69-137 p.
- Buschmann, A. 2001. Impacto ambiental de la acuicultura - el estado de la investigación en Chile y el mundo. Santiago de Chile: Terram Publicaciones.
- Calderer, A. 2005. Sistemas y técnicas de producción en acuicultura marina; fundamentos biológicos y tecnología de la producción. Publicaciones de la Universidad de Barcelona, 1993.
- Chaperón, W. 2015. Modelización 3D de la dispersión de residuos generados en piscifactorías marinas. Universidad Politécnica de Catalunya- Barcelona.
- De Castro M; Alvarez, I; Varela, M; Prego, R; Gómez-Gesteira, M. 2006. Miño river dams discharge on neighbor Galician Rias Baixas (NW Iberian Peninsula): Hydrological, chemical and biological changes in water column. Estuarine, Coastal and Shelf Science 70:52-62.
- Dirección Regional de Producción (DIREPRO-PUNO). 2021. Producción de trucha Arco iris. Informe.
- D.S. No 004-2017-MINAM. 2017. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias (en línea). Diario Oficial El Peruano. Consultado 11 oct. 2023. Disponible en <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-estandares-de-calidad-ambiental-eca-para-agua-y-e-decreto-supremo-n-004-2017-minam-1529835-2/>
- Fonturbel, F. 2005. Indicadores Físicoquímicos y Biológicos del Proceso de Eutrofización del Lago Titikaka (Bolivia). Ecología Aplicada 4(12):136-141p.
- González, JA. 2012. Uso y manejo de sedimentos provenientes de piscicultura como base para el manejo sostenible: revisión del tema. Revista Ciencia Animal 1(5):121-143 p.
- Haroun, R; Makol, A; Ojeda, J; Simard, F. 2007. Guía para el desarrollo sostenible de la acuicultura mediterránea 1: interacciones entre la acuicultura y el medio ambiente (en línea). Consultado 09 oct. 2023. Disponible en <http://hdl.handle.net/10553/4737>
- Hettich, CA. 2004. Evaluación de digestibilidad de dietas en trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*): sustitución parcial de harina de pescado por tres niveles de harina de lupino blanco (*Lupinus albus*). Tesis. Chile Universidad católica de Temuco.
- Iglesias, AV. 2020. Importancia de la pesca y la acuicultura en España. Mediterráneo económico (33):309-317.
- Jeppesen, E; Peder, J; Søndergaard, M; Lauridsen, T; Junge, L; Jensen, L. 1997. Control de arriba hacia abajo en lagos de agua dulce: el papel del estado de los nutrientes, las macrófitas sumergidas y la profundidad del agua. En Shallow Lakes' 95. Springer, Dordrecht.
- Orvay, FC. 2013. Granja de cría. Piscicultura marina en Latinoamérica. Bases científicas y técnicas para su desarrollo (eBook). 131 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2006. The state of food insecurity in the world, 2006. Rome
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2022. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul (en línea). Roma, FAO. Consultado 11 oct. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.4060/cc0461es>
- Rosas, JE. 2012. Tendencia del consumo de pescado (en línea). Universidad Tecnológica de Bolívar. Consultado 15 sept. 2023. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12585/546>
- Salazar, F; Alfaro, M; Teuber, N; Saldaña, R. 2005. Uso de lodos de la industria salmonera en suelos agrícolas. Rev. Tierra Adentro; 60. 53p.
- Sierralta, V; León, J; De Blas, I; Bastardo, A; Romalde, JL; Castro, T; Mateo, E. 2013. Patología e identificación de Yersinia ruckeri en trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en piscigranjas de Junín, Perú (en línea). Revista AquaTIC. Consultado 15 feb. 2023. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/494/49428034004.pdf>
- Tae-Woo, K; Hae, JY; Jong, HH; Young-Un, H; Min-Seob, K; Jihyun, K; Soon, HH; Eun, HN; Yoon-Seok, C. 2022. Identifying pollution sources of sediment in Lake Jangseong, Republic of Korea, through an extensive survey: Internal disturbances of past aquaculture sedimentation (en línea). Environmental Pollution (306):119403. Consultado 15 nov. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119403>
- Toner, J; Catling, DC. 2019. A carbonate-rich lake solution to the phosphate problem of the origin of life (en línea). Edited by Jonathan I. Consultado 14 feb. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1073/pnas.1916109117>

Vásquez, W; Talavera, M; Inga, 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 (en línea). Revista de la Sociedad Química del Perú 82(1):15-28. Consultado 11 oct. 2023. Disponible en

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810_634X2016000100003

Wetzel, G. 2001. Limnología. Ediciones OMEGA S.A. Barcelona, España. 671 pp.

Zhang, Y; Yu, J; Su, Y; Du, Y; Liu, Z. 2019. Long-term changes of water quality in aquaculture-dominated lakes as revealed by sediment geochemical records in Lake Taibai (Eastern China) (en línea). Chemosphere. Consultado 09 oct. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.179>

Artículo recibido en: 28 de diciembre 2023

Aceptado en: 18 de abril 2024