


Artículo original


EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DEBIDO A LA CRIANZA DE TRUCHA EN LA LAGUNA ARICOTA, TACNA

EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT DUE TO TROUT FARMING IN THE ARICOTA LAGOON, TACNA


YEMILE ROCIO DEL CARMEN CASTRO MACHACA¹

 <https://orcid.org/0000-0002-1384-6828>

NORMA CECILIA VERA OLVEA²

 <https://orcid.org/0000-0002-7229-3186>

MARISOL MENDOZA AQUINO³

 <https://orcid.org/0000-0002-1616-9885>

Recibido: 30/03/2022

Aceptado: 29/04/2022

Publicado: 05/05/2022

^{1, 2, 3} Escuela de ingeniería Ambiental, Universidad Privada de Tacna. Tacna, Perú

E-mail: ¹yemilecastro@gmail.com, ²ceciv16@outlook.com, ³mmendoza188@yahoo.es



Resumen

La investigación se realizó en la laguna Aricota, ubicada en la región Tacna, se evaluó el impacto ambiental generado por la crianza de alevinos de truchas, la cual es realizada de forma artesanal en jaulas flotantes, mediante la metodología de evaluación rápida de impactos ambientales (RIAM, por sus siglas en inglés), se identificó los componentes físico, biológico y socioeconómico que son afectados, también se determinó los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y metales mediante Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente en un laboratorio acreditado. Los resultados indican que los impactos negativos ambientales clasifican como impacto negativo leve, mientras que la calidad de agua de la laguna no muestra indicios de contaminación orgánica ni biológica, no obstante al analizar los metales totales se encontraron valores altos de arsénico ($0,672 \pm 0,0056$ mg/L), boro ($8,78 \pm 0,2687$ mg/L) en comparación a lo establecido por en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para este tipo de cuerpos de agua. Finalmente, según la cantidad de fósforo ($0,08 \pm 0,0141$ mg/L) encontrado, la laguna clasifica como eutrófica según la clasificación de Vollenweider.

Palabras clave: Laguna Aricota; impacto ambiental; calidad de agua.

Abstract

The investigation was carried out in the Aricota lagoon, located in the Tacna region. The environmental impact generated by the raising of trout fingerlings, which is carried out in an artisanal way in floating cages, was evaluated through the Rapid Impact Assessment Matrix methodology (RIAM). The physical, biological and socio-economic components that are affected were identified. The physical, chemical and microbiological parameters and metals were also determined by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry in a certified laboratory. The results indicate that the negative environmental impacts are classified as moderate negative impact, as the water quality of the lagoon does not show signs of organic or biological contamination. However, when analyzing the total metals, high values of arsenic were found (0.672 ± 0.0056 mg/L), and boron (8.78 ± 0.2687 mg/L) compared to those established by the Environmental Quality Standards (ECA) for this type of water bodies. Finally, according to the amount of phosphorus (0.08 ± 0.0141 mg/L) found, the lagoon is classified as eutrophic according to the Vollenweider classification.

Keywords: Aricota lagoon; environmental impact; water quality.

1. Introducción

En la actualidad, no se ha dado el seguimiento ni control de los impactos ambientales que puede generar la crianza de alevinos de trucha en la Laguna Aricota, tomando en cuenta que se ha ido incrementando en los últimos años. Entonces, cuando se identifica los impactos ambientales que puedan estar ocurriendo, se puede tomar las acciones de mitigación y prevención para que la producción de truchas sea sostenible ambientalmente y económicamente.

La contribución de la acuicultura a la pesquería mundial ha ido en incremento, en algunos casos persiste de forma rudimentaria, pero con el pasar de los años ha pasado a aumentar su producción de una forma más eficiente usando nuevas tecnologías; no obstante, estas no siempre son las mejores opciones amigables con el ambiente. Un dato registrado en el Produce del año 2004, mencionó que 5,3 % en 1970 a 32,2 % en el 2000. Donde también se estimó que del año 2010 a 2015, habría un aumento del 50 % en la producción. Entre de los impactos más mencionados es la posible eutrofización del cuerpo de agua por aporte de nutrientes producto de la descomposición de residuos de comida, heces y peces muertos, la eutrofización también altera o cambia la flora natural del lugar (FEDEACUA y QSAFE, 2017).

Un factor que se considera en estos casos es la influencia del cambio climático en las cantidades de precipitación que se relacionan con el volumen de la laguna, tomando en cuenta que esta laguna también sirve como fuente de energía hidráulica y con el pasar de los años se ha observado una disminución de su volumen, entonces al haber menor volumen de agua mayor concentración de los contaminantes en menor cantidad de tiempo.

Para la comparación de los resultados obtenidos de los análisis de agua, suelo y aire se toma en cuenta los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua D.S. N.° 015-2015-MINAM, los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, D.S. N.° 011-2017-MINAM, y los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido D.S.085-2003-PCM, en cambio, para los límites máximos permisibles para polvo sedimentable, se trabaja con normas de OMS para establecer estudios de monitoreo (Marcos et al., 2008).

Por otro lado, el RIAM (Pastakia, 1998) es un método utilizado para evaluar todo tipo de impactos ambientales, permite completar clasificaciones subjetivas justificadas para cada ítem analizado, dando como resultado la evaluación de forma clara, pero también siendo un registro de revalorizaciones posteriores. Los impactos de las actividades del proyecto se evalúan de acuerdo con los componentes ambientales y para cada condición se determina una clasificación (empleando el criterio predefinido), que proporciona una medida de impacto esperado para los componentes ambientales.

2. Objetivo

Evaluar el impacto ambiental generado por la acuicultura en la Laguna de Aricota y los parámetros de calidad de su agua.

3. Metodología

La laguna Aricota se ubica en el Perú, región Tacna, provincia de Candarave, distrito de Curibaya (figura 1), a 2 800 m.s.n.m. con una extensión de 8 km de largo por 1 km de ancho, con una capacidad aproximada de 80 a 280 millones de metros cúbicos, y su espejo de agua alcanza los 1 440 km². Se establecieron puntos de muestreo para agua, polvo sedimentable y ruido. Los puntos se encuentra en el área de crianza de la trucha y en un área donde no se practica la actividad, con la finalidad de establecer las comparaciones y el análisis respectivo.

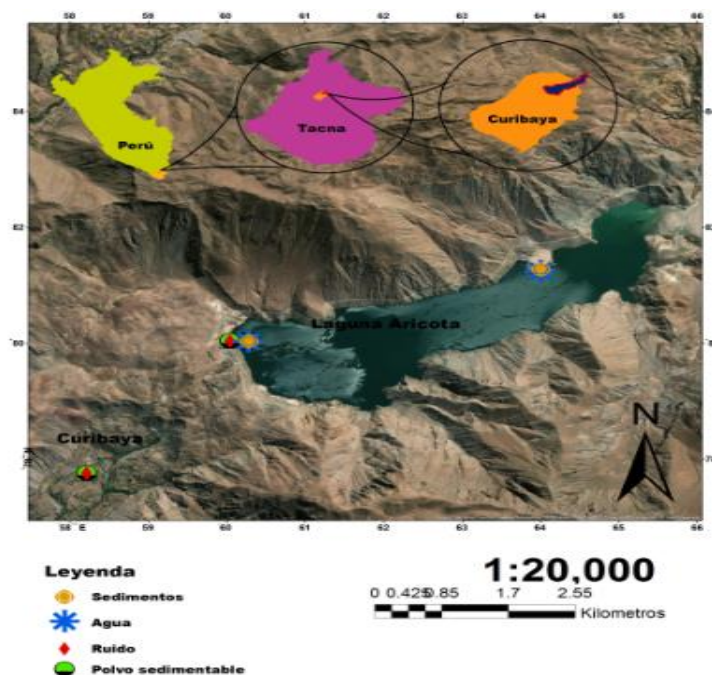
Metodología para muestreos

Para el muestreo de agua se siguió lo descrito en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA), midiendo los parámetros como; conductividad, pH, oxígeno disuelto y temperatura. Posteriormente, las muestras fueron enviadas a un laboratorio acreditado para su analítica. Para el muestreo de polvo sedimentable, se empleó con el método de exposición de placa, empleando una placa de vidrio de 10 cm² con una capa de vaselina, luego se pesa y se expone en la zona de estudio por 30 días para luego establecer la diferencia de pesos y se compara los resultados con el límite máximo de 0,5 mg/cm²/30 días establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Para la medición de ruido, se usó un sonómetro de clase I, tomando como zona de estudio, dos puntos para el muestreo de ruido, uno a los alrededores de la laguna Aricota, y otro en el pueblo más cercano, con los resultados obtenidos se procedió a compararlos con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido (ECA).

Figura 1

Ubicación de la zona de estudio



Evaluación Rápida de Impacto Ambiental (RIAM)

Se empleó los criterios A y B, el primero indica el grado de relevancia de la condición, y que individualmente pueden cambiar el resultado obtenido. La escala de significación se muestra en la tabla 1.

Tabla 1

Escala de significación de los impactos evaluados

Puntaje ambiental	Rango alfabético	Rango numérico	Descripción
72 a 108	E	5	Impacto positivo importante
36 a 71	D	4	Impacto positivo significativo
19 a 35	C	3	Impacto positivo moderado
10 a 18	B	2	Impacto positivo menor
1 a 9	A	1	Impacto positivo leve
0	N	0	No hay impacto
-1 a -9	-A	-1	Impacto negativo leve
-10 a -18	-B	-2	Impacto negativo menor
-19 a -35	-C	-3	Impacto negativo moderado
-36 a -71	-D	-4	Impacto negativo significativo
-72 a -108	-E	-5	Impacto negativo importante

4. Resultados

Identificación de los componentes ambientales

Ambiente físico

En el ámbito físico, se consideró la cobertura vegetal presente en la zona, la cual es matorral arbustivo. El suelo que predomina es Leptosol dístico - Afloramiento lítico.

La geología de los alrededores de la laguna se encuentra conformada por granito, tobas, andesita porfiritica, granodiorita, gravas y arenas. En cuanto a la geomorfología, se conforma por terraza alta aluvial, laguna y cuerpos de agua, colina y lomada en roca volcánica, superficie de flujo piroclástico, montaña en roca intrusiva y colinas en roca volcánica.

En los resultados del muestreo de agua que se muestran en la tabla 2, los parámetros orgánicos se encuentran dentro de los ECA; en cambio, los coliformes termotolerantes y coliformes totales y al compararlo con el reglamento de la calidad de agua para consumo humano sobrepasan los límites, pero si se compara con el ECA no se excedería el límite. Se

realizó esa comparación debido a que hay pobladores que usan el agua de esta laguna para su uso directo sin un previo tratamiento o control; pH, en ambos puntos de muestreo es alcalino.

En cuanto a los niveles de fósforo, superan los ECA, lo que con el pasar de los años puede generar la eutrofización.

Para la calidad de aire se trabajó con muestras de polvo sedimentable, máximo de 1,87 ton/km²/30 días, que se ubican por debajo del límite y en cuanto a los resultados de ruido se obtuvo niveles máximos de 51,35 LAeqt (dB). En el área de calidad de suelo, se trabajó con la calidad de los sedimentos que existen en la laguna en puntos diferentes para establecer una comparación, donde se encontró que existen niveles superiores de arsénico, cadmio y talio a lo contemplado en la normativa, tal como se aprecia en la tabla 2.

Ambiente biológico

En este ámbito se reconoció la flora y fauna aledaña que consta de pajonal brava e Ichu (*Stipa ichu*) e identificaron una serie de componentes de fitoplacton entre los cuales se encuentra el *Bacillariophyta*, *Cyanobacteria*, *Chlorophyta*, *Ochrophyta*, *eugenophyta*, *Amoebozoa*, *Perocoloza*, *Cercozoa* y *Ciliophora*. En cuanto a las aves que se observaron figuran la choka (*Fulica ardesiaca*), la huallata (*Chloephaga melanoptera*) y al pato andino (*Oxyura jamaicensis*). Respecto a comunidades acuáticas, se encuentra principalmente la trucha, el fitoplancton, perifiton, zooplancton, macroinvertebrados bentónicos.

Ambiente socioeconómico

En cuanto al ámbito educativo, se identificó instituciones educativas que están más próximas la zona de estudio: Jardín 343, Colegio Primario 42085 Santiago Ale Ticona, Colegio Primario 42118; además no existen centros de educación secundaria y superior. En el área de salud, se ubica el Puesto de Salud Curibaya. Al extremo opuesto se encuentra el Puesto de Salud Aricota (00002881).

El agua de la laguna Aricota sirve para la generación de energía eléctrica, mediante las hidroeléctricas Aricota 1 y Aricota 2, de las cuales se abastece tanto a la región de Tacna y Moquegua. También se encuentra la producción de trucha en jaulas flotantes que se realiza en ciertas zonas de la laguna. El agua de la laguna es utilizada por algunos pobladores para actividades domésticas y otras adicionales.

Entre las actividades económicas desarrolladas en el distrito yacen la agricultura, siendo los cultivos de papa, maíz, zapallo, ajo, alfalfa y hortalizas, las más resaltantes; y la pecuaria, que se caracteriza por la crianza de ganado vacuno, ovino, porcino y animales menores.



Tabla 2

Valores de parámetros para aguas de la laguna Aricota

Parámetros de Monitoreo	ECA - Agua: Categoría 4 "Lagunas y Lagos"		Límite de Detección		Valor $\bar{X} \pm DE$
Parámetros Orgánicos					
Aceites y Grasas	5,0	mg/L	0,50	mg AyG /L	<0,50
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	5	mg O ₂ /L	2,00	mg/L	<2,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	>=5	mg O ₂ /L	2,5	mg/L	7,085 ± 1,6758
Parámetros microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes			1,8	NMP/100 mL	<2
Coliformes Totales			1,8	NMP/100 mL	14 ± 4,24
Metales Totales por ICP-MS					
Aluminio (Al)			0,0030	mg/L	0,098 ± 0,0890
Antimonio (Sb)			0,00007	mg/L	0,0182 ± 0,000
Arsénico (As)			0,00003	mg/L	0,672 ± 0,0056
Bario (Ba)			0,00007	mg/L	0,0343 ± 0,002
Berilio (Be)			0,00001	mg/L	<0,00001
Bismuto (Bi)			0,00005	mg/L	<0,00005
Boro (B)			0,0020	mg/L	8,78 ± 0,2687
Cadmio (Cd)			0,00005	mg/L	<0,00005
Calcio (Ca)			0,02000	mg/L	96,30 ± 1,838
Cobalto (Co)			0,00004	mg/L	<0,00004
Cobre (Cu)			0,00004	mg/L	0,0025 ± 0,00077
Cromo (Cr)			0,0003	mg/L	<0,0003
Estaño (Sn)			0,00003	mg/L	<0,00003
Estroncio (Sr)			0,00005	mg/L	0,718 ± 0,00282
Fósforo (P)	0,035	mg/L	0,02000	mg/L	0,08 ± 0,0141
Hierro (Fe)			0,00009	mg/L	0,080 ± 0,0706
Litio (Li)			0,00005	mg/L	1,12 ± 0,0212
Magnesio (Mg)			0,00200	mg/L	29,35 ± 0,3535
Manganeso (Mn)			0,00006	mg/L	0,012 ± 0,0136
Mercurio (Hg)			0,000003	mg/L	0,00024 ± 0000
Molibdeno (Mo)			0,00004	mg/L	0,0077 ± 0,000
Níquel (Ni)			0,00002	mg/L	0,000905 ± 0,00
Plata (Ag)			0,00004	mg/L	<0,00005
Plomo (Pb)			0,00004	mg/L	<0,00004
Potasio (K)			0,0200	mg/L	28 ± 0,2828
Selenio (Se)			0,00006	mg/L	0,0011 ± 0,000
Silicio (Si)			0,05000	mg/L	27,95 ± 1,202
Sodio (Na)			0,00300	mg/L	242,5 ± 4,94
Talio (Tl)			0,00003	mg/L	<0,00003
Telurio (Te)			0,00006	mg/L	<0,00006
Titanio (Ti)			0,00010	mg/L	0,00165 ± 0,001
Uranio (U)			0,00004	mg/L	0,0014 ± 0,000
Vanadio (V)			0,00003	mg/L	0,00415 ± 0,000
Wolframio (W)			0,00004	mg/L	0,0032 ± 0,000
Zinc (Zn)			0,00004	mg/L	0,00239 ± 0,002
Conductividad	1000	(uS/cm)			24,5 ± 14,84
Potencial de Hidrógeno (pH)	6,5 a 9	Unidad de pH			8,05 ± 0,070

Nota. ECA = Estándar de calidad Ambiental, ICP-MS = Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente.

Calificación y valoración de impactos ambientales

Las actividades que se realizan en la crianza de trucha y con los resultados de los tres ámbitos estudiados se puede establecer la relación de cada actividad con los componentes ambientales. En la tabla 3, se muestra la identificación de impactos ambientales, mientras que en la tabla 4 sobre matriz de calificación y valoración de impactos ambientales por el método de evaluación rápida.

En general, tal como se observa en la tabla 4, los impactos varían entre; no hay impacto, impactos negativos leves, y en algunos casos impactos positivos leves, y al momento de hacer la sumatoria final resultó como impacto negativo leve.

Eutrofización en laguna

Para el análisis de la eutrofización en laguna, se planteó un modelo matemático sobre la base a las cantidades de fósforo presentes en la zona de estudio, considerando que su aumento se relaciona al factor del alimento balanceado. Entonces, al mantener un control de las cantidades de este se puede reducir la cantidad de fósforo residual, siendo la ecuación general de Thomann y Mueller(1987) la siguiente:

$$\frac{dC}{dt} = Qe * Ce - \frac{kC}{V} \quad (1)$$

Donde; C es la concentración media del contaminante en la laguna en kg/m³, Q_e es el caudal ingresante en m³/día, C_e es la concentración de fósforo en el flujo ingresante en kg/m³, K es la tasa de sedimentación o tasa de remoción 0,36/día (Vasquez et al., 2016) relacionada a la concentración y V que es el volumen.

La solución general de la ecuación (1) es:

$$C(t) = \frac{V}{k} + C e^{-kt/V} \quad (2)$$

El modelo matemático, basado en la ecuación de Thomann y Mueller permite formular la predicción de la concentración de contaminantes en cuerpos de agua, teniendo en cuenta la adsorción y desorción. Primero se calculó el volumen, resultando 3790,81x10⁶ m³, seguidamente la constante arbitraria; tomando en cuenta los factores iniciales de t=0 y C= 7*(10⁻⁵), con una tasa de sedimentación o tasa de remoción 0,36/día, dando un resultado de 1,0530e+10 kg, luego se reemplazó en la ecuación de predicción (3):

$$C(t) = A - B * \exp\left(\frac{-0.36t}{V}\right) \quad (3)$$

Donde A es la suma de la concentración inicial en kg de fosforo más B que resulta de la constante arbitraria de la ecuación (2), reflejando no existe incremento significativo de fosforo, por tanto, es necesario muestreos en intervalo mayores y en diferentes épocas del año.



Tabla 3

Matriz de identificación de impactos ambientales

		Implementación de jaulas flotantes	Especie de cultivo	Selección del lugar	Infraestructura	Alimentación	Manejo
Ambiente Físico	Topografía		x		x		
	Riesgos naturales	x			x		x
	Calidad de suelo			x			
	Calidad de agua		x	x	x	x	
	Calidad de aire						x
	Ruido	x					
Ambiente biológico	Flora		x	x	x		
	Fauna	x		x			
Ambiente socioeconómico	Paisaje	x			x		
	Educación	x					x
	Empleo	x					x
	Nivel económico	x					x
	Salud	x				x	x
	Bienes y servicios	x				x	x
	Actividades productivas	x				x	

Tabla 4

Matriz de calificación y valoración de impactos ambientales por el método de evaluación rápida

		Componente	Importancia	Magnitud	Permanencia	Reversibilidad	Acumulabilidad	Puntaje ambiental		Impacto
Ambiente Físico	Topografía	Sin importancia	Sin cambio	Sin cambio	No aplicable	No aplicable	0	N	No hay impacto	
	Riesgos naturales	Importancia local y áreas inmediatas	Cambio negativo del estado general	Temporal	Reversible	No aplicable	-10	-B	Impacto negativo leve	
	Calidad de suelo	Importancia solo local	Cambio negativo del estado general	Permanente	Reversible	Acumulativo o sinérgico	-8	-A	Impacto negativo menor	
	Calidad de agua	Importancia solo local	Cambio negativo del estado general	Permanente	Reversible	Acumulativo o sinérgico	-8	-A	Impacto negativo menor	
	Calidad de aire	Sin importancia	Sin cambio	Sin cambio	No aplicable	No aplicable	0	N	No hay impacto	
	Ruido	Sin importancia	Sin cambio	Sin cambio	No aplicable	No aplicable	0	N	No hay impacto	
Ambiente biológico	Flora	Importancia solo local	Cambio negativo del estado general	Permanente	Reversible	Acumulativo o sinérgico	-8	-A	No hay impacto	
	Fauna	Importancia solo local	Mejora del estado general	Temporal	Reversible	Acumulativo o sinérgico	7	A	Impacto positivo leve	
Ambiente socioeconómico	Paisaje	Importancia solo local	Cambio negativo del estado general	Temporal	Reversible	Simple o no acumulativo	-6	-A	Impacto negativo menor	
	Educación	Importancia local y áreas inmediatas	Sin cambio	Sin cambio	No aplicable	No aplicable	0	N	No hay impacto	
	Empleo	Importancia solo local	Mejora del estado general	Temporal	Reversible	Simple o no acumulativo	6	A	Impacto positivo leve	
	Nivel económico	Importancia local y áreas inmediatas	Mejora del estado general	Temporal	Reversible	Simple o no acumulativo	12	B	Impacto positivo menor	
	Salud	Importancia solo local	Mejora del estado general	Temporal	Reversible	Simple o no acumulativo	6	A	Impacto positivo leve	
	Bienes y servicios	Importancia solo local	Mejora del estado general	Temporal	Reversible	Simple o no acumulativo	6	A	Impacto positivo leve	
	Actividades productivas	Importancia solo local	Mejora del estado general	Temporal	Reversible	Simple o no acumulativo	6	A	Impacto positivo leve	

5. Discusión

Los impactos ambientales negativos asociados con la acuicultura incluyen eutrofización de las aguas, calidad del agua, alteración o destrucción de los hábitats naturales; introducción y transmisión de enfermedades de los animales acuáticos (FAO, 2006). En ese sentido, la investigación buscó evaluar sus impactos; no obstante, al ser una actividad pequeña aún no evidencia impactos graves visibles, en cuanto a la acumulación de nutrientes que ocurre cuando hay una alta densidad, los peces producen desechos, que tienen el potencial de acumularse en el área circundante. Al respecto, investigaciones reportadas por la FAO concuerdan que estas acumulaciones pueden agotar el oxígeno, creando floraciones de algas y zonas muertas. Al hacer la evaluación del impacto ambiental por el método rápido, se encontró que el impacto producido es bajo, su explicación podría ser que la actividad es limitada y aún pequeña comparado con otras lagunas donde se realiza la misma actividad, tales como la realizada en el Lago Titicaca, donde en un proyecto piloto dirigido por la ANA (2019) se evidencia que por el cultivo intensivo de trucha se genera un deterioro de la calidad de agua.

Respecto a las características del agua de la laguna, podría afirmarse que aún es un lugar apto para la crianza de truchas, tal como se puede evidenciar en los análisis fisicoquímicos efectuados, esta idea se apoya en la investigación efectuada en la laguna Aricota por Roque (2018) quien reporta que es un ambiente adecuado para implementar la crianza de otras especies como Carachi de la especie *Orestias* sp., por sus características fisicoquímicas, al efectuar este estudio se establecieron una serie de análisis para su óptimo crecimiento, el cual es semejante a la crianza de trucha, considerando que consumen el mismo alimento y también se hace en jaulas flotantes.

En la evaluación de los parámetros físicoquímicos mostrados en la tabla 2, se aprecian que la cantidad de aceites y grasas se sitúan en valores inferiores indicados en los estándares de calidad ambiental (ECA) para lagos y lagunas, respecto al DBO5 y DQO muestran valores adecuados inferiores a lo indicado en la normativa. Bajo esos parámetros, se puede indicar que la laguna no tiene indicios de contaminación orgánica; sin embargo, en épocas de menos flujo de agua hacia la laguna, podría causar el incremento del valor de DQO, incluso por aumento de materia orgánica producto de la actividad de crianza de alevinos. En paralelo, los parámetros microbiológicos tales como los Coliformes termotolerantes presentan valores inferiores a lo indicado por el ECA para lagos y lagunas (1000 NMP/100 ml), significando que no presenta riesgo potencial para las especies, la salud humana y ambiental.

Al analizar los reportes del contenido de metales determinados por espectrometría de masas por plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) que es una técnica de análisis inorgánico elemental e isotópico, se puede apreciar que algunos metales exceden los valores establecidos por el ECA; en el caso particular del arsénico ($0,672 \pm 0,0056$ mg/L) es muy superior a 0,15 mg/L que contempla la normativa para este tipo de fuentes de agua.

Llama la atención la cantidad de boro ($8,78 \pm 0,2687$ mg/L) que existen en las muestras analizadas, al comprarlas con el ECA Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales, donde indica que para extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos y lagunas, el contenido de boro debe ser máximo 5 mg/L; no obstante, la EPA ha determinado que es improbable que la exposición a concentraciones de boro de 4 mg/L cause

daños adversos en humanos, la OSHA ha establecido que un límite legal de 15 mg/m^3 ($0,015 \text{ mg/L}$) para óxido de boro. Estudios realizados por Morales et al. (2018) en cuencas hidrográficas como Sama y Locumba, a la cual la laguna Aricota desagua sus aguas, encontraron concentraciones de $8,681$ y $4,18 \text{ mg/L}$.

Otros metales como cadmio ($<0,00005 \text{ mg/L}$), cromo ($<0,0003 \text{ mg/L}$), mercurio ($0,00024 \pm 0000 \text{ mg/L}$) y plomo ($<0,00004 \text{ mg/L}$) clasificados como metales pesados presentan valores inferiores a lo indicado en Decreto supremo N.º 004-2017-MINAM.

En cuanto a los valores como de pH resultaron en $8,05 \pm 0,070$ en los puntos de monitoreo, valor alcalino que es indicador de la existencia de materia orgánica Carbónica, tal como afirma Vásquez et al. (2016), quienes encontraron valores similares ($8,7$) en un estudio de evaluación de impacto en la calidad de agua debido a la producción semiintensiva de trucha en jaulas flotantes. Según Klontz (2012), los valores de pH tolerables para la crianza de truchas están entre $6,7$ y $8,5$; por otro lado, el valor encontrado guarda relación con los valores que contempla el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, que establece los estándares de calidad ambiental (ECA) para lagos y lagunas ($6,5$ a $9,0$).

Mientras tanto, la conductividad, que es un parámetro útil para determinar la calidad de aguas dulces, resultó en $24,5 \pm 14,84 \mu\text{S/cm}$, es muy inferior a lo indicado en los ECAS para lagunas ($1000 \mu\text{S/cm}$); no obstante, las especies acuáticas pueden soportar distintas concentraciones de sales disueltas, los valores entre 50 y $1500 \mu\text{S/cm}$ resultan adecuados para la mayoría de especies de peces (Vásquez et al., 2016), es importante tener en cuenta que la ciertos factores como la temperatura puede modificar sensiblemente sus valores (Orozco et al., 2003).

Respecto a los resultados del contenido de fósforo $0,08 \pm 0,0141 \text{ mg/L}$ (80 mg/m^3), resulta muy superior al valor ECA ($0,35 \text{ mg/L}$) establecido por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, también contrasta con lo encontrado por Vásquez et al., quienes encontraron $32,79 \text{ mg/m}^3$ y Beltrán (2013) que encontró $45,09 \text{ mg/m}^3$, así el valor encontrado y los de referencia clasifican como lago eutrófico según la clasificación de Vollenweider ($25 - 80 \text{ mg/m}^3$) y lo considerado por La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 1982) ($35 - 100 \text{ mg/m}^3$). Si bien es cierto que las concentraciones de este elemento están sujetos a variación en diversas épocas del año, ya que en épocas de lluvias aumenta los caudales de los ríos tributantes lo que suma al aumento del nivel de la laguna; puede influir en la disminución de la carga de fósforo, mientras que en épocas de estiaje o sequía, las concentraciones aumentan; las mediciones fueron hechas en los meses de incremento de lluvias, algunos autores convienen que las concentraciones de este parámetro están relacionados al ciclo hidrológico (Wetzel, 2001; Hakanson y Boulion, 2002).

6. Conclusiones

Los impactos ambientales ocasionados por la acuicultura en la Laguna de Aricota, resultaron levemente negativos, Así mismo, al hacer una evaluación de la calidad fisicoquímica del agua se encontró que tanto los parámetros orgánicos y los parámetros microbiológicos no muestran indicios de contaminación orgánica ni biológica.

Al analizar los metales totales se encontró valores altos de arsénico ($0,672 \pm 0,0056$

mg/L), boro ($8,78 \pm 0,2687$ mg/L) en comparación a lo establecido por en los Estándares de Calidad Ambiental para este tipo de cuerpos de agua.

Finalmente, según la cantidad de fósforo ($0,08 \pm 0,0141$ mg/L) encontrado, la laguna clasifica como eutrófico según la clasificación de Vollenweider.

Referencias Bibliográficas

- Beltrán Vargas, J. E., & Rangel Churio, J. O. (2013). Modelación del estado trófico del humedal de Jaboque, Bogotá DC, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 18(1), 149-164. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/34785/40220>
- FAO (2006). *The state of food insecurity in the world, 2006*. Rome.
- FEDEACUA y QSAFE (2017). *Guía de manejo ambiental para el sector de la piscicultura continental en Colombia*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Hakanson L, Boulion V. The lake foodweb (2002). *Modelling predation and abiotic - biotic interactions*. *Biol Sci*. 2002; I-XIV: 1-344 http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000084&pid=S0120-48X201300010001100009&lng=en
- Klontz G. (1991) *Producción de trucha arcoíris en granjas familiares*. México D.F.: Alimentos de Alta Calidad El Pedregal, S.A. de C.V. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=776370&pid=S1810-634X201600010000300012&lng=es
- Marcos, R., Cabrera, M., Laos, H., Mamani, D., & Valderrama, A. (2008). Estudio comparativo para la determinación del polvo atmosférico sedimentable empleando las metodologías de tubo pasivo y de placas receptoras en la ciudad universitaria de san marcos – lima. *sisbib unmsm*. https://sisbib.unmsm.edu.pe/Bibvirtual/publicaciones/rev_cedit/2008_V03/pdf/a06v3.pdf
- MINAM aprobó Estándares de Calidad Ambiental para Agua. (2015). Ministerio del Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/lima-30-de-diciembre-de-2015-mediante-decreto-supremo-no-015-2015-minam-publicado-el-19-de-diciembre-de-2015-en-el-diario-oficial-el-peruano-el-ministerio-del-ambiente-minam-en-coordinacion>.
- Morales Cabrera, D., Avendaño Cáceres, E., Zevallos Ramos, D., Fernández Prado, J., & Mendoza Rodas, Z. (2018). Riesgo ambiental por arsénico y boro en las cuencas hidrográficas Sama y Locumba de Perú. *MediSan*, 22(4), 406-414. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192018000400010
- Orozco C, Pérez A, Gonzales M, Rodríguez F, Alfayate J. (2003). *Contaminación ambiental. Una visión desde la química*. Madrid: Thomson Editores Spain. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=776366&pid=S1810-634X201600010000300010&lng=es
- Pastakia, C. (1998) *The Rapid Impact Assessment Matrix "A new tool for EIA*.
- Presidencia del Consejo de Ministros, Estándares de Calidad Ambiental para Ruido (2003). <https://sinia.minam.gob.pe/normas/reglamento-estandares-nacionales-calidad-ambiental-ruido>

- Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA) <http://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-no-010-2016-ana-0>
- Protocolo para Toma de Muestras de Sedimentos para Análisis de Mercurio y otros Metales - Colombia (2018) <https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2019/07/protocolo-sedimentos.pdf>
- Thomann R, Mueller J. (1987) Principles of surface water quality modelling and control. New York: Harper y row
- Viabilidad técnica para cultivo de Carachi (*Orestias sp*) en jaulas flotantes en la Laguna Aricota de Tacna – 2018 https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNJB_953a33aeace2ff099297b194e7530a61
- Vásquez Quispesivana, Wilfredo, Talavera Núñez, María, & Inga Guevara, Marianela. (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. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2016000100003&lng=es&tlng=pt.
- Vollenweider R. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. OECD Report, September. 1970.
- Wetzel R. (2001) Fundamental processes within natural and constructed wetland ecosystems: short-term versus long-term objectives. Wetland Systems for Water Pollution Control 2000. 2001;44(11-12):1-8. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000099&pid=S0120-48X201300010001100024&lng=en