



INFLUENCIA DE LOS CULTIVOS PISCICOLAS EN LA CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO GUAMUEZ, NARIÑO

INFLUENCE OF THE CROPS PISCICULTURE IN THE QUALITY OF THE WATER OF GUAMUEZ LAKE, NARIÑO

Elizabeth Burbano-Gallardo ^a, <https://orcid.org/0000-0001-5756-5932>
 Guillermo Duque-Nivia ^b, <https://orcid.org/0000-0003-1954-4393>
 Marco A Imués-Figueroa ^c, <https://orcid.org/0000-0002-7607-540X>
 Andrés González-Legarda ^d, <https://orcid.org/0000-0001-9872-8355>
 Mario Delgado-Gómez ^e, <https://orcid.org/0000-0003-2394-5739>
 Diego Mejía-España ^f, <https://orcid.org/0000-0002-6707-5803>

^a Ingeniera en Producción Acuícola, MSc. eburbano@live.com

^b PhD. Profesor-Investigador del Grupo de Investigación en Ecología y Contaminación Acuática de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, Colombia. gduquen@unal.edu.co

^c Zootecnista, Máster en Acuicultura. Profesor-Investigador, Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. marcoi@udenar.edu.co

^d Ingeniero en Producción Acuícola, MSc, PhD(C). Investigador Máster, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. ingacu20@hotmail.com

^e Ingeniero en Producción Acuícola, MSc. Profesor, Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. mdelgado182@gmail.com

^f Ingeniero Agroindustrial, MSc. Profesor Investigador, Grupo de investigación Biotecnología Agroindustrial y Ambiental (Biota) de la Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. diegomejias@udenar.edu.co

Recibido: 17-01-2019

Aceptado: 28-08-2019

RESUMEN

La piscicultura, es una alternativa mundial en la producción de alimentos de calidad y alto contenido de proteína; sin embargo, las consecuencias de la actividad se reflejan en alteraciones de diferentes variables en el ecosistema acuático. El presente estudio se desarrolló durante la temporada de lluvias bajas en el Lago Guamuez, en tres zonas de cultivo y un punto control, tomando muestras de agua a diferentes profundidades de la columna de agua dependiendo de la batimetría de la zona, donde se evaluó la influencia de la intensidad de cultivos extensivos, semi-intensivos e intensivos de trucha arcoiris en jaulas flotantes, analizando los parámetros fisicoquímicos oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica, pH, turbidez, DBO5 y DQO y nutrientes como el amonio, nitritos, nitratos y fósforo total. La contaminación ambiental de las variables se evaluó mediante un análisis de varianza. Los parámetros fisicoquímicos al igual que los nutrientes del agua presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las zonas y profundidades de muestreo, demostrando mayores alteraciones a medida que se incrementa la intensidad de cultivo. Finalmente, se pudo comprobar que los cultivos de trucha arcoiris en jaulas flotantes altera negativamente la calidad de agua principalmente en cultivos de mayor intensidad productiva, aunque los valores reportados no representan un riesgo para la calidad del agua del lago, se debe tener en cuenta las densidades de siembra que se manejan en los cultivos y el manejo

Artículo de Investigación

de raciones alimenticias, puesto que podrían causar cambios en el ambiente acuático si no se hace un manejo responsable de estos parámetros.

Palabras clave: piscicultura extensiva, piscicultura semi-intensiva, piscicultura intensiva, trucha arcoíris, jaulas flotantes, contaminación acuática, calidad del agua

ABSTRACT

Fish farming is a global alternative in the production of quality food and high protein content; However, the consequences of the activity are reflected in alterations of different variables in the aquatic ecosystem. The present study was developed during the low rainfall season in Guamuez Lake, between three cultivation zones and a control point. It takes samples of water at different depths of the water column, depending on the bathymetry of the zone. It was evaluated the influence of the intensity of the extensive crops, semi-intensive and intensive cultures of rainbow trout in floating cages, analyzing the physicochemical parameters dissolved oxygen, temperature, electrical conductivity, pH, turbidity, BOD5 and COD and nutrients such as ammonium, nitrites, nitrates and total phosphorus. The environmental contamination of the variables was evaluated through an analysis of variance. The physicochemical parameters, as well as the water nutrients, present significant differences ($p < 0,05$) between the zones and depths of sampling, showing more significant alterations as the intensity of cultivation increases. Finally, rainbow trout farming in floating cages affects water quality negatively, mainly in crops with higher productive intensity. Although the values do not represent a risk for water quality in the lake, the sowing densities that are handled in the crops and the handling of food rations must be taken into account since they could cause changes in the aquatic environment if responsible handling of these parameters is not done.

Keywords: extensive fish farming, semi-intensive fish farming, intensive fish farming, rainbow trout, floating cage, water pollution, water quality

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la piscicultura se ha intensificado y avanzado tecnológicamente, lo que ha dado lugar a un incremento en la producción piscícola en los últimos treinta años en la mayoría de los países. Según las últimas estadísticas publicadas por la FAO a nivel mundial, se reporta que el incremento de la producción de peces cultivados fue de 54,1 millones de toneladas ^[1]. A nivel mundial la producción de peces criados en cautiverio se realiza cada vez más en ecosistemas de agua dulce. Entre los sistemas más utilizados en la producción acuícola continental, se encuentran las jaulas flotantes en represas, lagos o lagunas, donde las condiciones ambientales lo permiten ^[2].

Según como sea la intensidad del cultivo piscícola, ésta se ve reflejada sobre la calidad de

agua en los ecosistemas, debido al ingreso de materia orgánica proveniente del alimento comercial y de los desechos metabólicos excretados por los peces, con nutrientes que contribuyen al medio, afectando el equilibrio de los cuerpos de agua ^[3].

En Colombia, dentro de los departamentos que se dedican a la producción de trucha arcoíris en jaulas flotantes, se encuentra Nariño específicamente en el Lago Guamuez o Laguna de la Cocha, donde la piscicultura se desarrolla en cultivos intensivos, semi-intensivos y extensivos, también definidos como grandes, medianos y pequeños productores ^[4]. El sector piscícola, en esta zona está en constante crecimiento, lo que es beneficioso para los productores de la región ^[5]; sin embargo, esta actividad se está

realizando de manera desordenada y sin prevención sobre los efectos que puede causar en el ambiente, por la acumulación de materia orgánica proveniente de los restos de alimento y materia fecal de los organismos en cultivo y aporte de productos farmacéuticos, con altos niveles de sustancias químicas y macronutrientes al medio acuático [6].

Por lo anterior, se llevó a cabo esta investigación con el fin de estudiar los efectos ocasionados por las piscifactorías de alta, media y baja intensidad de producción sobre la calidad del agua del Lago Guamuez, mediante el análisis de variables físico-químicas y la concentración de nutrientes presentes en el agua, en contraste con un punto control, sin cultivos piscícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El Lago Guamuez o Laguna de la Cocha, denominado dentro de la categoría RAMSAR como humedal de importancia internacional, se encuentra ubicado a 20 km de la ciudad de San Juan de Pasto, con coordenadas 1°06'00" Norte y 77°09'07" Oeste, con una altitud de 2800 msnm y temperatura ambiental promedio de 11°C [7].

Áreas y puntos de Muestreo: El trabajo se realizó en tres estaciones piscícolas productoras de trucha arcoíris, entre las cuales se maneja cultivo extensivo, semi-intensivo e intensivo, con producciones aproximadas de 21, 120 y 300 toneladas anuales respectivamente; al igual que se tomó una zona control al interior del lago donde no se presentaba intervención piscícola. Las muestras de agua para el análisis de oxígeno disuelto, DBO5, DQO, pH, temperatura,

conductividad y turbidez, se tomaron en tres puntos diferentes en cada zona productiva y en la zona control, a 0, 10 y 20 metros de profundidad con tres replicas cada una. Este mismo procedimiento se realizó para la toma de muestras de amonio, nitritos, nitratos y fósforo total.

Determinación de Parámetros físicoquímicos y nutrientes del agua. Los parámetros temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad se tomaron utilizando una sonda multiparamétrica. Para la turbidez se empleó una botella Van Dorn con la que se extrajo las muestras de agua que posteriormente fueron analizadas con la ayuda de un turbidímetro.

Para el análisis de DBO5, DQO, amonio, nitritos, nitratos y fósforo total, se tomaron las muestras de agua por medio de una botella Van Dorn, las cuales fueron preservadas y analizadas bajo los lineamientos del "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" [8].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis físico-químico del agua

Parámetros físicoquímicos como el oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica, pH, turbidez, DBO y DQO permiten ver con claridad variaciones ambientales causadas por la acuicultura u otras actividades antrópicas (Tabla 1).

El oxígeno disuelto presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la zona de muestreo 1 (control) en comparación con las demás, en la cual hay mayor disponibilidad, disminuyendo su concentración en los sitios de cultivo. Según

Fraga et al [9], la disponibilidad de oxígeno en cultivos piscícolas tanto en estanques (sistemas cerrados) como en jaulas flotantes (sistemas abiertos), disminuye según la densidad de cultivo, puesto que a mayor número de peces por metro cúbico hay mayor consumo por parte de los animales, al igual que los procesos de excreción y demás actividades biológicas dentro del cultivo generan procesos de oxidación de materia orgánica. Con respecto a la profundidad solo se obtuvo diferencias significativas a los 20 metros, la cual presentó el menor valor de oxígeno, con un comportamiento similar en todos los

puntos de muestreo, lo que es corroborado por Beltrán et al [10], quienes exponen que la parte superficial de los cuerpos lacustres presenta mayor contacto con la atmosfera disponiendo de mayores niveles de OD.

El lago Guamuez, como otros lagos característicos de alta montaña, presenta concentraciones de oxígeno disuelto mayores a 7 mg/L, como es el caso de los lagos Villa Rica en Chile; Alalay, Aricare y Blanca en Bolivia; Concepción, Cachimbo en Chile y Guachota y Hedional en Perú [11].

Con base en los estudios descritos, es posible considerar que el Lago Guamuez posee excelentes concentraciones de oxígeno, fenómeno explicado por el movimiento continuo de las aguas a causa de los vientos que ayudan a la oxigenación de la columna del agua mejorando las condiciones de calidad del agua para el cultivo de trucha arcoíris en jaulas, que redundan en su crecimiento, sin que no represente un riesgo potencial para este cuerpo lacustre [12].

Tabla 1. Valores (media ± Desviación estándar) de parámetros fisicoquímicos del agua medidos en las zonas y profundidades de muestreo.

Parámetros	Profundidad	Zona 1 (Extensivo)	Zona 2 (Semi- intensivo)	Zona 3 (Intensivo)	Zona 4 (Punto control)
OD (mg/L)	0 metros	7,86±0,04 ^a	7,62±0,04 ^a	7,30±0,03 ^a	9,25±0,06 ^b
	10 metros	7,70±0,05 ^a	7,53±0,06 ^a	7,25±0,03 ^a	8,82±0,06 ^b
	20 metros	6,75±0,07 ^b	6,48±0,04 ^b	6,21±0,02 ^b	7,82±0,05 ^c
Temperatura (°C)	0 metros	16,8±0,17 ^a	17,32±0,08 ^a	17,63±0,10 ^a	17,20±0,14 ^a
	10 metros	16,54±0,16 ^b	16,73±0,10 ^b	17,02±0,08 ^b	16,42±0,07 ^b
	20 metros	15,57±0,20 ^c	15,66±0,07 ^c	16,02±0,10 ^c	15,23±0,10 ^c
CE (µS/cm)	0 metros	72,57±1,29 ^a	82,16±0,35 ^b	90,12±0,53 ^c	70,21±0,73 ^a
	10 metros	76,96±0,50 ^b	86,30±0,63 ^c	103,57±6,27 ^d	75,57±0,85 ^b
	20 metros	82,86±0,76 ^c	93,26±0,64 ^d	117,12±4,23 ^e	81,44±0,24 ^c
pH	0 metros	7,72±0,024 ^a	7,65±0,017 ^a	7,56±0,030 ^a	8,15±0,039 ^b
	10 metros	7,51±0,040 ^b	7,45±0,030 ^b	7,33±0,021 ^b	8,00±0,051 ^c
	20 metros	7,37±0,021 ^c	7,16±0,023 ^c	7,02±0,020 ^c	7,55±0,086 ^d
Turbidez (UNT)	0 metros	1,75±0,06 ^a	1,82±0,07 ^a	2,10±0,06 ^b	1,71±0,02 ^a
	10 metros	1,85±0,04 ^b	1,92±0,03 ^b	2,12±0,08 ^c	1,83±0,03 ^b
	20 metros	1,95±0,05 ^c	2,12±0,11 ^c	2,26±0,02 ^d	1,94±0,03 ^c
DQO (mg O ₂ /L)	0 metros	7,24±0,02 ^a	9,15±0,01 ^b	10,14±0,17 ^c	6,70±0,01 ^a
	10 metros	7,29±0,02 ^a	9,17±0,01 ^b	10,36±0,16 ^c	6,76±0,05 ^a
	20 metros	7,36±0,03 ^a	9,24±0,02 ^b	10,22±0,06 ^c	6,93±0,14 ^a
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	0 metros	8,24±0,04 ^a	11,21±0,05 ^b	14,36±0,05 ^c	7,15±0,25 ^a
	10 metros	8,36±0,09 ^a	11,30±0,03 ^b	13,76±0,53 ^c	7,25±0,21 ^a
	20 metros	8,42±0,10 ^a	11,57±0,10 ^b	14,28±0,58 ^c	7,40±0,24 ^a

a, b, c: Letras diferentes en filas o columnas indican diferencias significativas (p<0,05)

En cuanto a la temperatura, no se encontró diferencias significativas (p>0,05) entre las zonas de estudio. Lo anterior indica que no existe una relación directa entre la intensidad de cultivo y la temperatura del agua, aunque al existir un mayor número de animales por metro cubico

la temperatura aumentara por la acumulación de calor en el medio, puesto que la corriente en el área de las jaulas es mucho más baja que la corriente fuera de ellas; así mismo, el oxígeno disponible disminuye y la tasa metabólica de los animales se inhibe cuando la temperatura no

es adecuada para la especie; el incremento de la temperatura acelera el metabolismo de los peces consumiendo más concentrado y por consiguiente liberando más heces (materia fecal) lo que ocasiona que la agua se eutrofique (enriquecimiento de materia orgánica) [13].

Por otra parte, las diferencias de temperatura cuando aumenta la profundidad ($p < 0,05$) son significativas, disminuyendo a medida que la profundidad aumenta; esto se explica debido a que la masa de agua del lago no es uniforme, sino que existe una estratificación según la profundidad y la radiación solar, lo cual genera variabilidad de temperatura desde la superficie del agua hasta el fondo [14]. Se puede concluir que la temperatura en el lago se comporta de manera normal y los cultivos no afectan en gran medida al ambiente, sin embargo, se debe tener en cuenta la relación que tiene este parámetro con el oxígeno que son factores que influyen en la mayoría de los procesos vitales de los organismos, así como en varios factores abióticos del ecosistema [15]. Estas variables físico-químicas juegan un papel importante en la intensidad de los procesos fotosintéticos, remineralización de la materia orgánica y liberación de nutrientes desde los sedimentos [16].

En cuanto a la conductividad eléctrica, Otero [17] afirma que este parámetro se usa como un índice que determina la concentración de solutos, logrando estimar la calidad del agua y su posible nivel de contaminación.

Los valores de conductividad eléctrica para el presente estudio indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre zonas de cultivo y profundidades, presentando el menor valor en el punto control en la superficie ($77,74 \pm 0,14$ $\mu\text{S/cm}$), sin que estas diferencias sean significativas ($p > 0,05$) cuando se compara con la Zona 1 ($72,57 \pm 1,29$); el mayor valor en el cultivo intensivo a una profundidad de 20 metros ($103,60 \pm 0,14$ $\mu\text{S/cm}$). Romeu et al [18] determinó que la calidad del agua en función de la conductividad eléctrica estimando tiene los siguientes rangos: para agua pura (< 280 $\mu\text{S/cm}$), poco contaminada ($280-430$ $\mu\text{S/cm}$), contaminada ($430-600$ $\mu\text{S/cm}$), muy contaminada ($600-860$ $\mu\text{S/cm}$) y excesivamente contaminada

(> 860 $\mu\text{S/cm}$). De acuerdo con lo anterior, los valores reportados el Lago Gumuez no reflejan altos niveles de contaminación, hallándose cerca de la clasificación de agua pura, sin embargo, en las zonas de cultivo los valores de conductividad van en aumento, lo que indica que a mayor intensidad de cultivo mayor cantidad de sólidos disueltos en el ambiente acuático, generando un impacto considerable debido a la intervención antrópica de estos sistemas piscícolas, ya que los valores normales que se reporta en lagos oligotróficos de altas montañas tropicales presentan unos rangos que se encuentran entre 20 y 50 $\mu\text{S/cm}$ [12].

Por su parte, el pH presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) a diferentes profundidades de muestreo, obteniendo valores alcalinos en el punto control y valores neutros en las zonas de cultivo, siendo que entre estos últimos las diferencias no son significativas ($p > 0,05$), pero si con el punto control ($p < 0,05$); evidentemente se encontró en el cultivo intensivo el valor más cercano a la acidez a una profundidad de 20 metros ($7,27 \pm 0,004$).

Tomando como referencia los criterios de calidad admisible para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, los lagos naturales de alta montaña presentan un valor de pH comprendido entre 6,5 y 7,5 [12]; mientras que el pH en lagos no contaminados oscila entre 6,0 y 9,0 según Studer [19]. Según el comportamiento de los datos reportados, éstos se encuentran dentro de los rangos normales para el lago Guamuez, sin embargo las zonas de cultivo presentaron menores valores de pH con respecto al punto control donde este presenta valores cercanos a 8, esto se explica por la existencia de los animales en producción donde los peces realizan los procesos de excreción, aumentando sus desechos orgánicos según la intensidad del cultivo (extensivo, semi-intensivo e intensivo) y, por ende, afectan el pH del agua como consecuencia de la degradación de la materia orgánica [20].

En cuanto a la turbidez del agua, sólo se pueden observar diferencias significativas ($p < 0,05$) en los sitios de cultivo intensivo, así mismo entre las diferentes profundidades de muestreo.

Los resultados del estudio indican que la turbidez está relacionada con la intensidad de cultivo cuando ésta supera ciertos límites (cultivo intensivo), dado que se ve afectada por la presencia de material en suspensión generada por alimento no ingerido y productos de excreción [21]. Como se puede esperar, los valores de turbidez muestran una notable relación con la intensidad de cultivo e indican aporte de material en suspensión a la laguna, con consecuente aumento de la temperatura, disminución de la concentración de oxígeno en el agua, luminosidad, limitando la fotosíntesis, modificando la flora y fauna subacuática [22].

Con relación a los valores de DBO5 Y DQO los resultados muestran comportamientos similares, donde las diferencias son significativas ($p < 0,05$) entre las zonas de cultivo, no así en el punto control, el cual presenta valores con diferencias no significativas ($p > 0,05$) cuando se compara con la menor intensidad de cultivo (extensivo), el igual que al comparar las diferentes profundidades de muestreo ($p > 0,05$). En estos dos parámetros se presentaron los menores valores en el punto control y mayores en las zonas de cultivo aumentando su valor por cada sistema productivo.

Al respecto, Raffo y Ruiz [23] aseguran que la demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno determinan la cantidad de materia orgánica putrescibles que se encuentran presentes en el agua contaminada. Por lo anterior se puede explicar que la materia orgánica presente en el agua puede asociarse al grado de contaminación del sistema productivo (Carga orgánica) y, por ende, mayor cantidad de oxígeno necesitan los microorganismos para oxidar o degradar los residuos orgánicos, provocando así, altos valores de DBO5 y DQO; con respecto al punto control, allí sólo existe materia orgánica autóctona donde se necesita menores cantidades de oxígeno para su descomposición por bacterias aeróbicas, y otros organismos consumidores [24]; esto mismo parece suceder cuando la intensidad de cultivo es baja, donde hay baja producción de materia orgánica, que no parece afectar estas variables. Es importante destacar que, según los datos obtenidos en el

punto control, el nivel de oxígeno del lago Guamuez es relativamente alto, mayor de 8 mg/L, lo que permite una descomposición gradual de la materia orgánica y debido a la extensión de este cuerpo de agua, actúa como una laguna de estabilización aerobia [25], lo cual aún es posible en la zona 1 (cultivo extensivo), en donde, aunque los valores de OD son un poco más bajos, son suficientes para propiciar la descomposición de la materia orgánica.

De acuerdo con Jiménez y Vélez [26], los valores de DQO de una agua residual suele ser mayor referente a los valores de DBO, debido a la mayor cantidad de compuestos que se deben oxidar por la vía química frente a los que se oxidan por vía biológica; esto demuestra que los sistemas productivos piscícolas evidencian el mismo comportamiento presentando mayores valores de DQO frente a la DBO que presento menores valores, es así como la intensidad de los cultivos afectan en diferente grado y negativamente a la calidad del agua debido a la aplicación de productos farmacéuticos, aditivos y productos de desinfección para la aditivos y productos de desinfección para la limpieza de las mayas y jaulas, aunque parece que las intensidades bajas de cultivo alcanzan a mitigar estos problemas.

Análisis del contenido de nutrientes

Los valores de nutrientes para cada sistema de producción extensiva, semi-intensiva, e intensiva, se muestran en la Tabla 2.

En cuanto al contenido de amonio, nitritos y nitratos analizados en el agua mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las zonas de cultivo, no así cuando se compara la zona de baja intensidad de cultivo con el punto control, en donde las diferencias no son significativas ($p > 0,05$), el igual que entre profundidades para los parámetros nitritos y nitratos; algo diferente sucede con el amonio, cuyas diferencias son significativas a 20 m de profundidad.

De acuerdo con lo anterior, es posible deducir que los valores en el contenido de estos nutrientes en el punto control, donde no hay in-

fluencia piscícola o ésta es baja (zona 1), a diferencia de las zonas de cultivo semi-intensivo e intensivo, donde se encuentran los mayores valores. Esto debido a que los peces y otros organismos acuáticos liberan nitrógeno como producto de su excreción; en este caso los peces liberan amonio el cual puede llegar a ser tóxico cuando se maneja altas densidades de cultivo,

presentando toxicidad a concentraciones de amonio superiores a 0,07 mg/L.

En todas las zonas de cultivo evaluadas, se detectó valores de amonio que estuvieron por debajo de los 0,05 mg/L, concentraciones que se encuentran dentro de los rangos aceptables, que permiten asegurar un adecuado crecimiento y desarrollo de la trucha arcoíris.

Tabla 2. Valores (media \pm Desviación estándar) de nutrientes del agua medidos en diferentes zonas y profundidades de muestreo en el Lago Guamuez.

Parámetro	Profundidad	Zona 1 (Extensivo)	Zona 2 (Semi-intensivo)	Zona 3 (Intensivo)	Zona 4 (Control)
Amonio (NH ₄₊)	0 metros	0,040 \pm 0,001 ^a	0,050 \pm 0,001 ^a	0,060 \pm 0,001 ^a	0,03 \pm 0,0014 ^b
	10 metros	0,037 \pm 0,01 ^a	0,037 \pm 0,01 ^a	0,047 \pm 0,01 ^a	0,03 \pm 0,0014 ^b
	20 metros	0,030 \pm 0,001 ^b	0,020 \pm 0,00 ^b	0,030 \pm 0,01 ^b	0,03 \pm 0,0014 ^b
Nitritos (NO ₂₋)	0 metros	0,005 \pm 0,0002 ^a	0,005 \pm 0,0001 ^a	0,006 \pm 0,0001 ^a	0,004 \pm 0,0001 ^a
	10 metros	0,005 \pm 0,0002 ^a	0,005 \pm 0,0001 ^a	0,006 \pm 0,0001 ^a	0,004 \pm 0,0000 ^a
	20 metros	0,005 \pm 0,0006 ^a	0,005 \pm 0,0001 ^a	0,007 \pm 0,0001 ^a	0,005 \pm 0,0001 ^a
Nitratos (NO ₃₋)	0 metros	0,23 \pm 0,01 ^a	0,41 \pm 0,02 ^b	0,47 \pm 0,01 ^c	0,20 \pm 0,01 ^a
	10 metros	0,30 \pm 0,01 ^a	0,45 \pm 0,01 ^b	0,54 \pm 0,01 ^c	0,30 \pm 0,01 ^a
	20 metros	0,34 \pm 0,01 ^a	0,47 \pm 0,01 ^b	0,58 \pm 0,02 ^c	0,32 \pm 0,02 ^a
Fósforo Total	0 metros	0,02 \pm 0,00 ^a	0,03 \pm 0,00 ^b	0,07 \pm 0,00 ^c	0,02 \pm 0,00 ^a
	10 metros	0,02 \pm 0,00 ^a	0,04 \pm 0,00 ^b	0,07 \pm 0,00 ^c	0,02 \pm 0,00 ^a
	20 metros	0,02 \pm 0,00 ^a	0,05 \pm 0,00 ^b	0,06 \pm 0,01 ^c	0,02 \pm 0,00 ^a

a, b, c: Letras diferentes en filas o columnas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Con relación a la concentración de amonio en el agua, Vollenweider^[27] reporta que el valor de amonio característico para lagos oligotróficos se encuentra en un rango de 0,0 a 0,3 mg/L, por lo cual, en el Lago Gumuez, este valor encontró dentro del rango en el punto control (0,03 \pm 0,0014 mg/L); en la zona 3, donde se encuentra el cultivo intensivo se detectó la mayor concentración (0,06 \pm 0,001 mg/L), seguido de las zonas 2 y 1 (semi-intensivo y extensivo) con un valor de 0,05 \pm 0,001 y 0,04 \pm 0,001 mg/L, respectivamente, siendo mayor en la superficie, cuyas diferencias son significativamente menores a 20 metros de profundidad.

En cuanto a los valores de nitritos encontrados en los sistemas productivos, las diferencias no son significativas ($p > 0,05$), incluyendo al punto control. Por el contrario, los nitratos presentan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los sitios de cultivo, cuyas diferencias no son

significativas ($p > 0,05$) cuando se compara el sitio de cultivo extensivo con el punto control, con valor promedio máximo en la zona 3, a 20 m de profundidad (0,58 \pm 0,02 mg/L) y mínimo en la superficie del punto control (0,20 \pm 0,01 mg/L). Los valores encontrados de nitritos y nitratos encontrados son mayores a los reportados para sistemas naturales sin intervención humana o actividad agropecuaria, en los cuales han sido establecidos con promedios menores o iguales a 0,001 para los primeros y 0,1 mg/L en los segundos^[28], incluyendo el punto control. El fósforo total tiene un comportamiento similar a los nitratos, es decir, con diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los sitios de cultivo, que aumenta a medida que la intensidad de cultivo se incrementa, aunque las diferencias no son significativas ($p > 0,05$) entre la zona 1 y el punto control, con menores valores en estos dos últimos.

Por lo anterior se puede deducir que la actividad piscícola aporta mayores cantidades de nutrientes debido al uso de concentrados y residuos metabólicos excretados por los peces. Si bien es cierto estos valores no representan un riesgo para la calidad del agua del lago ^[29], se debe tener muy en cuenta las densidades de siembra que se manejan en los cultivos y el manejo de raciones alimenticias, puesto que están causando cambios en el ambiente acuático, que podría llegar a ser crítico si no se dá un manejo responsable de estos cultivos y la aplicación de buenas prácticas de acuicultura, puesto que la eutrofización es un proceso común dentro de la vida de los lagos de agua dulce, sufren cambios de forma natural desde un sistema oligotrófico a uno eutrófico con el transcurso del tiempo ^[31], pues se observa un pequeño incremento en estos parámetros donde se encuentran localizados los cultivos acuícolas, aunque los valores permiten clasificarlo como un lago oligotrófico ^[29]; sin embargo, los promedios de nutrientes son superiores a los establecidos para cuerpos de agua naturales, sin intervención humana ^[28], incluyendo el punto control, lo cual lleva a pensar que es una característica propia del Lago Guamuez o que hay una tendencia a la eutrofización.

Finalmente, el incremento de las concentraciones de fósforo y de nitrógeno en los cultivos de peces en jaulas flotantes se debe a los desechos de los alimentos metabolizados ^[31], estas concentraciones en los ecosistemas acuáticos pueden ser beneficiosos para la productividad natural hasta determinado límite, por el

contrario al sobrepasar el contenidos de estos elementos y según el nivel trófico del cuerpo de agua, pueden convertirse en contaminantes, causando severos impactos en el hábitat acuático ^[32]. Por lo tanto, el límite para un ambiente oligotrófico es mayor que para un ambiente eutrófico ^[33].

Según Mendoza ^[34], el nivel o el límite natural de concentración de fósforo total, en cuerpos de agua dulce, es de 0,03 mg/L; por tanto, los resultados obtenidos en las zonas 2 y 3, correspondientes a los cultivos semi-intensivo e intensivo, afectan las condiciones ambientales del lago puesto que los menores valores de fosforo total están en la zona 4 (punto control) con un valor de $0,016 \pm 0,00083$ mg/L, donde no hay influencia acuícola, y la zona 1 correspondiente al cultivo extensivo; éstos niveles de fósforo no representan contaminación en la calidad del agua lacustre, teniendo en cuenta que los valores reportados en el Lago Guamuéz se encuentra entre el rango de 0,010 y 0,030 mg/L, respectivamente ^[35].

Por otra parte, es necesario tener en cuenta que la piscicultura no es la única actividad agropecuaria que se desarrolla en el Lago Guamuez, puesto que este cuerpo de agua llegan vertimientos de asentamientos humanos, ganadería, cultivos agrícolas, entre otros, aportando diferentes tipos de contaminantes, como fertilizantes, productos agrícolas, pesticidas y desechos orgánicos ricos en nitrógeno y fosforo, que causan tipos de contaminación similares en la columna de agua de este sistema lacustre.

CONCLUSIONES

El comportamiento de los parámetros fisicoquímicos como conductividad eléctrica, DBO5, DQO y turbidez, reflejaron cambios significativos según la intensidad de cultivo, puesto que a mayor nivel de producción dichos parámetros tendieron a ser menos favorables para la calidad del agua.

El amonio, nitritos, nitratos y fósforo total medidos en el agua demostraron que a mayor

nivel de producción mayor es el aporte de nutrientes a la columna del agua alterando la calidad de la misma.

Los valores de parámetros fisicoquímicos y nutrientes presentan variabilidad afectando negativamente la calidad de agua según la intensidad de cultivo, sin embargo, dichos valores se encuentran dentro de los rangos aceptables para lagos oligotróficos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). El estado mundial de la acuicultura y la pesca: Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma; 2018. 250 p.
- [2] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Pesca y Acuicultura Colombia 2009 “Informe técnico regional de cuencas del Orinoco y Amazonas”. Bogotá [Colombia]: Corporación Colombiana Internacional. 2010; 71 p.
- [3] Steeby J, Hargreaves J, Tucker C, Kingsbury S. Accumulation, organic carbon and dry matter concentration of sediment in commercial channel catfish ponds. *Aquacultural Engineering*. 2004; 30 (1): 115-126.
- [4] Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). Resolución Numero 1352. Establece la clasificación de los acuicultores comerciales en Colombia de acuerdo con la actividad, el sistema y el volumen de producción. Bogotá: AUNAP; 2016. 8 p.
- [5] Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). Diagnóstico del estado de la Acuicultura en Colombia. Bogotá: AUNAP; 2013. 163 p.
- [6] Cornell G, Whoriskey F. The effects of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cage culture on the water quality, zooplankton, benthos and sediments of Lac du Passage, Quebec. *Aquaculture*. 1993; 109 (2): 101-117.
- [7] Corporación Autónoma de Nariño (CORPONARIÑO). Capacidad de carga del Lago Guamuéz o Laguna de La Cocha del corregimiento El Encano, municipio de Pasto. Convenio interadministrativo de interés público No. 132711. Pasto [Colombia]: Universidad Mariana - Universidad de Nariño - Corponariño; 2014. 180 p.
- [8] Rice E, Baird R, Eaton A, Clesceri L (Editors). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Edition 22. US: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation; 2012. 1496 p.
- [9] Fraga I, Flores E, Reyes R, Llanes Y. Efecto de diferentes densidades de siembra en el engorde de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus* x *O. aureus*) en jaulas colocadas en la bahía de Casilda, Cuba. *Rev. Invest.* 2012; 32 (1): 16-23.
- [10] Beltrán R, Ramírez J, Sánchez J. Comportamiento de la temperatura y oxígeno disuelto en la presa Picachos, Sinaloa, México. *Hidrobiológica*. 2012; 22 (1): 94-98.
- [11] Gunkel G. Limnología de un lago tropical de alta montaña, en Ecuador: Características de los sedimentos y tasa de sedimentación. *Revista de Biología Tropical*. 2003; 51 (2): 381-392.
- [12] Roldan G, Ramírez J. *Fundamentos de limnología neotropical*. Segunda edición. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia; 2008.
- [13] Arboleda D. Limnología aplicada a la acuicultura. *Redvet*. 2006; 7 (11): 1-24.
- [14] López M, Madroño, S. Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: Caso Laguna de La Cocha. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. 2015; 25 (2): 21- 42.
- [15] Betancourt C, Suarez R, Toledo L. Patrones de distribución temporal de algunas variables físicas y química en el embalse Paso Bonito, Cienfuegos, Cuba. *Limnética*. 2009; 28 (1): 23-34.
- [16] Beltrán R, Sánchez J, Ramírez J. Morfometría y características físicas y químicas del agua del embalse Gustavo Díaz Ordaz, Sinaloa, México. *Ciencias del Mar*. 2006; 18: 41-46.
- [17] Otero L. Temporalidad de parámetros de calidad en el lago de Yojoa, Honduras [Tesis de maestría]. España: Universidad de Oviedo. 2011
- [18] Romeu B, Quintero H, Larrea J, Rojas N, Heydrich M. Calidad química y microbiológica de las aguas del río San Juan, Artemisa (Cuba). *Hig. Sanid. Ambient.* 2015; 15 (4): 1367-1374.

Artículo de Investigación

- [19] Studer E. Evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos: Indicadores del estado trófico del Lago de Yojoa, Honduras. [Tesis de maestría]. Lausanne, Faculté ENAC, École polytechnique fédérale de Lausanne. 2007.
- [20] Vásquez W, Talavera M, Inga, M. 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. Rev Soc Quím Perú. 2016; 81 (1): 15-28.
- [21] Muñoz S, García J, Correa G, Atencio V, Pardo S. Efectos del perifiton sobre los parámetros fisicoquímicos del agua en estanques con policultivo de tilapia *Oreochromis niloticus* y bocachico *Prochilodus magdalenae*. Revista Lasallista de Investigación. 2012; 9 (1): 1-12.
- [22] Molina L, Vergara J. Impacto ambiental de jaulas flotantes: estado actual de conocimientos y conclusiones prácticas. Bol. Inst. Esp. Oceanogr. 2005; 21 (1-4): 75-81.
- [23] Raffo E, Ruiz E. Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. Industrial Data. 2014; 17 (1): 71-80.
- [24] Romero T, Vargas D. Uso de microorganismos eficientes para tratar aguas contaminadas. Ingeniería hidráulica y ambiental. 2017; 38 (3): 88-100.
- [25] López J, Salas J. Caracterización comparativa de la condición limnológica del lago Guamuez en relación con la producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes. Revista Entornos. 2013; 26 (2): 181-194.
- [26] Jiménez M, Vélez M. Análisis comparativo de indicadores de calidad de agua superficial. Avances en recursos hidráulicos. 2006; 14: 1-18.
- [27] Vollenweider, R. Scientific fundamentals of lake and stream eutrophication, with particular reference to phosphorus and nitrogen as eutrophication factors. OECD. Paris [Francia]; 1968.
- [28] Allan D, Castillo M. Stream Ecology: Structure and function of running waters. Segunda edición. Caracas [Venezuela]; Springer. 2007.
- [29] González E. Impacts of aquaculture on water nutrients and benthic macroinvertebrates of lake Guamuez. Rev. MVZ Córdoba. 2018; 23 (Supl): 7035-7047. ISSN: 0122-0268
- [30] Molina C, Lazzaro X, Guédron S, Achá D. Contaminación de la Bahía de Cohana, Lago Titicaca (Bolivia): Desafíos y oportunidades para promover su recuperación. Ecología en Bolivia. 2017; 52 (2): 65-76.
- [31] Useche C, Aviles M, Dorado M. Fundamentos de acuicultura continental: Capítulo 17, Cultivo de peces en jaulas. Segunda edición. Bogotá [Colombia]; INPA. 2001.
- [32] Morales S, Peña E. Perifiton de tres lagos de la meseta de Popayán, Colombia y su uso como indicadores de estado trófico. Revista de Ciencias. 2008; 12: 89-108.
- [33] Catalán J, Donato J. Perspectives for an integrated understanding of tropical and temperate high-mountain lakes. Journal of Limnology. 2016; 75: 215-234.
- [34] Mendoza, M. Balance de fósforo en el lago de Chapal. [Tesis de maestría]. Mexico: Universidad Virtual del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. 1998.
- [35] Carneiro C, Kelderman P, Irvine K. Assessment of phosphorus sediment–water exchange through water and mass budget in Passaúna Reservoir (Paraná State, Brazil). Environ Earth Sci. 2016; 75: 564.