

Cambios ambientales en agua y sedimentos por acuicultura en jaulas flotantes en el Lago Guamuez, Nariño, Colombia

Environmental changes in water and sediments by aquaculture in floating cages in Guamuez Lake, Nariño, Colombia

Edgar Andrés González Legarda ^{1,2}, Guillermo Duque Nivia ^{1,3}, Diego Iván Ángel Sánchez ^{1,4}.

¹Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira. Palmira, Colombia. ² ✉ edagonzalezle@unal.edu.co,

³ ✉ gduquen@unal.edu.co, ⁴ ✉ dangels@unal.edu.co



<https://doi.org/10.15446/acag.v71n1.98924>

2022 | 71-1 p 22-28 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2021-10-08 Acep.: 2022-11-25

Resumen

La acuicultura abastece la producción de proteína animal de forma rentable y sostenible, sin embargo, sus producciones generan cambios a nivel ecológico y ambiental. Para este estudio, se determinaron cambios en la calidad del agua y en los sedimentos relacionados al cultivo de trucha arcoíris (*Onchorhynchus mykiss*) en el humedal RAMSAR - Lago Guamuez, en pluviosidad alta y baja, y se compararon seis zonas con tres réplicas y tres profundidades. Se midieron parámetros fisicoquímicos y nutrientes en agua y sedimentos, realizando análisis de varianzas y determinando diferencias significativas. Los parámetros fisicoquímicos del agua presentaron valores menos favorables en las empresas de cultivo a diferencia de los diferentes puntos control, principalmente en la parte alta del lago donde existe mayor influencia de actividades antrópicas, lo que demostró que no solo los procesos acuícolas alteran la calidad del agua, sino también otras actividades antrópicas; no obstante, los valores se encuentran en rangos aceptables para la acuicultura y para la ecología del lago. Los sedimentos actúan como depósito de residuos acuícolas, y presentan alteración en los parámetros fisicoquímicos y nutrientes medidos en las empresas de cultivo, principalmente el fósforo total y el nitrógeno total, los cuales presentan rangos aceptables, sin embargo, su incremento podría causar problemas de eutrofización en el lago. El incremento de la pluviosidad contribuye al aporte de contaminación mediante afluentes y escorrentía que finalmente depositan contaminantes en el lago, por lo cual, la acuicultura solo es uno más de los factores que pueden afectar negativamente un sistema acuático léntico.

Palabras clave: calidad del agua, contaminación, nutrientes, parámetros fisicoquímicos, trucha arcoíris.

Abstract

Aquaculture supplies the production of animal protein in a profitable and sustainable way; however, it can generate changes at an ecological and environmental level. In this study, changes in water quality and sediments related to rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) farmed in the RAMSAR - Guamuez Lake wetland, during high and low rainfall, were determined, comparing six zones with three replications and at three depths. Physicochemical and nutrient parameters in water and sediments were measured, performing analysis of variances and determining significant differences. The physicochemical parameters of the water presented less favourable values for the farming companies as opposed to control points, mainly in the upper part of the lake where there is a greater influence of anthropic activities. Aquaculture processes not only alter the quality of the water, but also, other anthropic activities; however, values were within acceptable ranges for aquaculture as well as for the ecology of the lake. Sediments act as a deposit of aquaculture residues, presenting symptoms in the physicochemical and nutrient parameters measured in the farming companies, mainly total phosphorus and total nitrogen, which presented acceptable ranges; however, their increase could cause eutrophication problems in the lake. The increase in rainfall contributes to pollution increase through tributaries and runoff that finally deposit contaminants in the lake; therefore, aquaculture is only one of the factors that can negatively affect a lentic aquatic system.

Keywords: Water quality, pollution, nutrients, physicochemical parameters, rainbow trout.

Introducción

La acuicultura, a comparación de otros sectores que producen alimentos, crece a mayor velocidad. Se ha convertido en sustento de proteína de buena calidad y tiene una mejor relación respecto al ambiente. Debido a la sobreexplotación de la pesca y el daño a ecosistemas y a la ecología acuática, la acuicultura sobresale en términos de producción en sistemas lóticos y lénticos.

En Colombia la acuicultura se realiza principalmente en ambientes lénticos, tanto en aguas frías como cálidas, lo que permite un abastecimiento considerable del pescado para el consumo, sin embargo, esta actividad también genera impactos negativos en los sistemas lacustres receptores de los procesos acuícolas (Burbano, 2021).

Algunos de los antecedentes históricos como referencia de contaminación acuática, es el la Represa de Betania en el departamento del Huila, cuyos índices de contaminación, generaron la eutrofización del lago en los años 2007 y 2014, afectando considerablemente la fauna y flora del lugar.

El Lago de la Tota, en el departamento de Cundinamarca, es otro referente de problemáticas ambientales generadas por los cultivos de trucha (*Onchorhynchus mykiss*), los cuales junto al cultivo de cebolla larga (*Allium fistulosum*), entre otras actividades agropecuarias, han generado alertas en las entidades de control ambiental.

Estos sistemas lénticos, como otros existentes en Colombia, prenden las alarmas sobre la importancia de realizar estudios como el que aquí se presenta, que realizan análisis de los impactos de la acuicultura en las variables fisicoquímicas del agua y el aporte de nutrientes en los sedimentos.

Materiales y métodos

Área de Estudio. El Lago Guamuez es el segundo embalse natural más grande de Colombia después del lago de Tota; está situado en el corregimiento El Encano, municipio de Pasto, departamento de Nariño, al sur occidente de Colombia, localizado a 0°53' 28.55" y 1°20' 36.40" de latitud Norte y 76°50' 50.41" y 77°14' 17.37" longitud Oeste.

La investigación se llevó a cabo en tres empresas piscícolas de producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes ubicadas en la parte alta (El Motilón), media (Santa Teresita) y baja (El Naranjal) del lago, comparándolas con un punto control por cada empresa. Estas producen alrededor de 350 toneladas anuales cada una.

Zonas y estaciones de muestreo. Se determinaron seis zonas que correspondieron a tres empresas de cultivo (A, B y C), para lo cual se tomaron como puntos de referencia el centro y los dos extremos de las instalaciones de jaulas flotantes y tres puntos control (A1, B1, y C1), tomados con la ayuda de un GPS satelital que garantizó la toma de muestras en los mismos puntos para cada temporada. Los

muestreos se realizaron entre junio de 2018 y septiembre de 2019; el primero se realizó entre julio y noviembre (precipitación pluvial alta) y el segundo entre febrero y junio (precipitación pluvial baja). Dentro de cada zona se tomaron tres estaciones de muestreo (dos extremos y la mitad de las jaulas) y tres estaciones al azar en cada punto control, para un total de 18 estaciones de muestreo. Cada estación es catalogada como réplica para el diseño experimental.

Monitoreo y toma de muestras de parámetros fisicoquímicos. Con la sonda multiparamétrica YSI modelo 85 se midieron oxígeno disuelto y temperatura; la conductividad eléctrica y el pH fueron medidos mediante pHmetro marca ALTRONIX TPA-V. Para turbidez se empleó una botella Van Dorn, tomando la muestra de agua, que fue medida con un turbidímetro marca Hach. Dureza y alcalinidad se determinaron mediante el método EDTA por volumetría y transparencia mediante disco Secchi. Estos parámetros se tomaron en cada estación de muestreo a tres profundidades (0, 10 y 20 m) con tres replicas por profundidad.

Monitoreo y toma de muestras sedimentos. Se realizaron inmersiones bajo las jaulas flotantes y los puntos control a una profundidad promedio de 20 m en cada zona, con la ayuda de un equipo de buceo. La recolección de sedimentos para materia orgánica total, fósforo total, nitrógeno total y pH se realizó de forma directa, utilizando un CORE manual de sección circular (10 x 35 cm) y tomando tres replicas por cada estación de muestreo. Una vez recolectado se depositó un promedio de 500 gr por estación en bolsas plásticas ziploc para su análisis en laboratorio según la norma NTC-ISO/IEC 17025 del 2005. Solo una de las réplicas de sedimento fue utilizada para determinar la materia orgánica mediante el método de Dean (1974). Estos análisis se efectuaron por triplicado para cada una de las estaciones de muestreo.

Resultados

Parámetros fisicoquímicos del agua

Los resultados obtenidos por variable se presentan en la Tabla 1.

Oxígeno disuelto (mg/). El ANOVA indicó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre épocas, zonas y profundidades. Tukey demuestra mayores valores en precipitación pluvial alta con 7.22 ± 0.020 mg/L, y 6.26 ± 0.020 mg/L en baja. Las zonas C y C1 muestran mayores valores con 7.18 ± 0.035 mg/L y 7.79 ± 0.035 mg/L.

Las zonas A y B con 5.87 ± 0.035 mg/L, resultaron sin diferencias significativas entre ellas ($p > 0.05$), pero sí con A1 (6.79 ± 0.035 mg/L) y B1 (6.91 ± 0.035 mg/L) ($p < 0.05$) incrementando su valor. En profundidades, los mayores valores se obtuvieron en la superficie, seguidos de los 10 y 20 m con 7.59 ± 0.025 mg/L, 6.84 ± 0.025 mg/L y 5.78 ± 0.02 mg/L respectivamente, que es un comportamiento similar a las dos épocas de lluvia.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos del agua

Variable	Época lluvias altas						
	Profundidad (m)	Zona A	Zona A1	Zona B	Zona B1	Zona C	Zona C1
Oxígeno Disuelto (OD)	0 Metros	7.22±0.11	8.09±0.08	7.14±0.09	8.41±0.31	8.57±0.03	9.01±0.07
	10 Metros	6.84±0.07	7.41±0.01	6.33±0.09	7.89±0.19	7.84±0.14	8.23±0.20
	20 Metros	5.75±0.18	6.16±0.06	5.68±0.37	6.49±0.06	6.25±0.26	7.00±0.02
Temperatura (T°)	0 Metros	14.52±0.01	14.46±0.02	14.62±0.14	14.53±0.06	14.56±0.02	14.52±0.01
	10 Metros	14.06±0.22	14.04±0.05	14.07±0.06	14.14±0.31	14.07±0.06	13.74±0.23
	20 Metros	13.80±0.04	13.56±0.09	13.74±0.04	13.62±0.09	13.31±0.09	13.03±0.04
Conductividad eléctrica (µS/cm)	0 Metros	99.15±0.14	86.73±0.98	80.18±0.14	68.21±0.41	80.46±0.45	65.18±0.17
	10 Metros	100.27±0.41	95.83±0.38	86.97±0.38	75.31±0.37	86.46±0.41	70.13±0.25
	20 Metros	121.15±0.73	102.19±1.12	92.90±0.47	78.61±0.88	90.66±0.70	75.35±0.66
Dureza (mg/CaCO ₃)	0 Metros	25.01±0.01	24.02±0.02	24.56±0.01	23.71±0.01	24.06±0.04	22.89±0.01
	10 Metros	25.51±0.01	24.53±0.02	24.62±0.01	23.91±0.01	24.42±0.01	23.17±0.02
	20 Metros	26.01±0.01	25.05±0.01	24.94±0.04	24.00±0.00	24.78±0.01	23.95±0.02
Alcalinidad (mg/CaO ₃)	0 Metros	16.39±0.32	17.41±0.00	17.06±0.01	17.72±0.01	17.47±0.00	17.97±0.02
	10 Metros	16.11±0.01	17.11±0.01	16.49±0.01	17.29±0.01	17.22±0.01	17.71±0.01
	20 Metros	15.96±0.03	16.96±0.02	16.31±0.01	17.16±0.00	17.04±0.00	17.28±0.01
Turbidez (UNT)	0 Metros	1.92±0.00	1.92±0.00	1.82±0.01	1.76±0.00	1.70±0.00	1.61±0.01
	10 Metros	1.97±0.00	1.7±0.00	1.88±0.00	1.84±0.00	1.75±0.00	1.65±0.00
	20 Metros	1.76±0.01	1.76±0.00	1.93±0.00	1.95±0.00	1.79±0.00	1.74±0.00
Variable	Época lluvias bajas						
	Profundidad (m)	Zona A	Zona A1	Zona B	Zona B1	Zona C	Zona C1
Oxígeno disuelto (OD)	0 Metros	6.10±0.11	7.54±0.06	6.19±0.17	7.16±0.05	7.38±0.05	8.28±0.03
	10 Metros	5.16±0.15	6.24±0.04	5.29±0.17	6.75±0.12	7.08±0.19	7.65±0.03
	20 Metros	4.19±0.18	5.33±0.29	4.36±0.40	5.37±0.24	5.99±0.01	6.58±0.87
Temperatura (T°)	0 Metros	16.81±0.01	16.75±0.01	16.99±0.04	16.94±0.02	16.87±0.01	16.75±0.03
	10 Metros	15.92±0.02	15.87±0.02	16.82±0.05	16.07±0.07	15.78±0.32	15.23±0.03
	20 Metros	15.00±0.01	14.95±0.01	15.08±0.10	15.00±0.09	15.02±0.05	14.86±0.05
Conductividad eléctrica (µS/cm)	0 Metros	115.92±0.86	100.31±0.42	90.35±0.39	77.19±0.09	89.92±0.71	76.29±0.13
	10 Metros	117.94±0.78	109.82±1.08	98.46±0.94	80.50±0.56	94.88±0.15	79.37±0.68
	20 Metros	125.80±1.12	120.38±0.44	105.27±1.12	88.17±0.59	101.09±0.77	86.74±0.46
Dureza (mg/CaCO ₃)	0 Metros	27.04±0.01	25.82±0.02	26.02±0.01	25.06±0.04	25.50±0.01	23.96±0.04
	10 Metros	27.51±0.01	26.34±0.25	26.21±0.01	25.41±0.01	25.71±0.01	24.55±0.03
	20 Metros	28.00±0.00	26.60±0.00	26.55±0.16	25.95±0.05	25.98±0.03	25.32±0.02
Alcalinidad (mg/CaO ₃)	0 Metros	17.83±0.01	18.02±0.00	18.04±0.01	18.64±0.01	18.50±0.00	18.80±0.00
	10 Metros	17.51±0.01	17.88±0.00	17.88±0.01	18.32±0.00	18.30±0.01	18.42±0.09
	20 Metros	17.31±0.00	17.43±0.01	17.44±0.33	18.06±0.01	18.01±0.01	18.26±0.01
Turbidez (UNT)	0 Metros	1.59±0.00	1.47±0.00	1.51±0.00	1.40±0.00	1.42±0.00	1.33±0.00
	10 Metros	1.65±0.00	1.54±0.00	1.55±0.00	1.45±0.00	1.47±0.00	1.39±0.00
	20 Metros	1.81±0.00	1.60±0.00	1.58±0.00	1.49±0.00	1.53±0.01	1.45±0.00

Temperatura (°C). El ANOVA indicó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre épocas, zonas y profundidades. Tukey establece los mayores valores en precipitación pluvial baja con 15.9277 ± 0.020 °C, y menores en alta con 14.0207 ± 0.020 °C.

Las zonas B y B1 arrojaron mayores valores, con 15.22 ± 0.035 °C y 15.04 ± 0.035 °C. Los menores valores los presentaron C y C1 con 14.53 ± 0.035 °C y 14.68 ± 0.035 °C. Para las dos épocas de lluvia, A, A1 y C no mostraron diferencias significativas entre sí ($P > 0.05$) con 14.93 ± 0.035 °C para las dos primeras, al igual que entre A y B1. Mayores temperaturas se presentaron a cero metros con 15.69 ± 0.025 °C, seguido de los 10 m con 14.98 ± 0.025 °C y 20 m con una media estadística de 14.24 ± 0.025 °C, comportamiento similar en las dos épocas.

Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$). El ANOVA indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre épocas de pluviosidad, zonas y profundidades. Tukey muestra valores más altos en precipitación pluvial baja con 97.69 ± 0.202 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a diferencia de pluviosidad alta con 86.43 ± 0.202 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La mayor conductividad se presentó en A y A1, con 113.37 ± 0.350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 102.54 ± 0.350 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los menores valores se obtuvieron en B1 y C1, con 78.00 ± 0.350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 75.51 ± 0.350 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Mayores valores se obtuvieron a 20 m de profundidad, seguido de los 10 y 0 m, con 99.02 ± 0.247 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 91.33 ± 0.247 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 85.82 ± 0.247 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, comportamiento similar en las dos épocas.

Potencial de hidrógeno (pH). El ANOVA indicó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre épocas y zonas, al igual que en profundidades. Tukey estableció que pluviosidad baja presenta los mayores valores con 7.58 ± 0.01 , mientras que pluviosidad alta es de 6.66 ± 0.01 .

El pH más alcalino se presentó en B1 y C1, con 7.23 ± 0.01 y 7.33 ± 0.01 . Los pH más ácidos se encontraron en A y B con 6.89 ± 0.01 y 6.97 ± 0.01 . Entre A1 (7.15 ± 0.01) y C (7.13 ± 0.01) no se presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$). El comportamiento entre profundidades es similar para las dos épocas, y los mayores valores se obtuvieron en la superficie con 7.31 ± 0.01 , seguido de los 10 m con 7.145 ± 0.01 y los 20 m con 6.90 ± 0.01 .

Dureza (mg CaCO_3/L). El ANOVA indicó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre épocas y zonas, al igual que en profundidades. Tukey estableció que en pluviosidad baja se presentan los mayores valores con 25.97 ± 0.02 mg/L, mientras que en alta el valor es de 24.40 ± 0.02 mg/L. Los mayores valores se presentan en las zonas A y B, con 26.51 ± 0.02 mg/L y 25.48 ± 0.02 mg/L. Los valores más bajos se encuentran en B1 y C1 con 24.67 ± 0.02 mg/L y 23.99 ± 0.02 mg/L.

Entre B (25.48 ± 0.02 mg/L) y A1 (25.39 ± 0.02 mg/L) no se presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$). En las dos épocas, las profundidades presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$), con mayores valores a los 20 m con 25.59 ± 0.01 mg/L, seguido de los 10 m con 25.16 ± 0.01 mg/L y la superficie con 24.80 ± 0.01 mg/L.

Alcalinidad (mg/ CaCO_3). El ANOVA indicó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre épocas y zonas, al igual que en profundidades. Tukey estableció mayores valores en pluviosidad baja con 18.04 ± 0.012 mg/ CaCO_3 , mientras que en bajas el valor fue de 17.04 ± 0.012 mg/ CaCO_3 .

Para las dos épocas las zonas B1 y C1 con 18.07 ± 0.021 mg/L y 17.86 ± 0.021 mg/ CaCO_3 presentaron los mayores valores. A, B y C presentaron los menores valores, con medias de 16.85 ± 0.021 mg/ CaCO_3 ; 17.20 ± 0.021 mg/ CaCO_3 y 17.76 ± 0.021 mg/ CaCO_3 respectivamente. La alcalinidad más alta se obtuvo en la superficie, seguida de los 10 y 20 m con 17.82 ± 0.015 mg/ CaCO_3 , 17.52 ± 0.015 mg/ CaCO_3 y 17.27 ± 0.015 mg/ CaCO_3 ; comportamiento que se presenta para las dos épocas de lluvia.

Turbidez (UNT). El ANOVA indicó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre épocas y zonas, al igual que en las tres profundidades. Tukey demostró que los mayores valores se presentaron en pluviosidad alta en todas las zonas, con una media de 1.80 ± 0.003 UNT, mientras que en baja es de 1.51 ± 0.003 UNT. La mayor turbidez está en A y B con 1.82 ± 0.005 UNT y 1.71 ± 0.005 UNT. Los menores valores se encontraron en C y C1 con 1.61 ± 0.005 UNT y 1.53 ± 0.005 UNT; entre A1 y B1 no existieron diferencias ($P > 0.05$). La mayor turbidez se presentó a 20 m con 1.72 ± 0.003 UNT, seguido de 10 m con 1.65 ± 0.003 UNT y 1.60 ± 0.003 UNT en la superficie; comportamiento que se presenta en las dos épocas de lluvia.

Parámetros fisicoquímicos en sedimentos

Los resultados obtenidos por variable se presentan en la Tabla 2.

Materia orgánica (%). El ANOVA indicó que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre épocas y zonas. Tukey estableció mayores valores en pluviosidad baja en A, B y C, con una media de 22.51 ± 0.228 %, a diferencia de pluviosidad alta con una media de 14.513 ± 0.228 %. Las zonas de cultivo presentaron mayores valores, con 25.64 ± 0.396 % para A, 21.59 ± 0.396 % para B y 18.83 ± 0.396 % C; por el contrario, los menores valores se presentan en A1, B1 y C1 (puntos control), con 17.62 ± 0.396 %, 14.76 ± 0.396 % y 12.61 ± 0.396 % respectivamente.

Fósforo total (gP/kg). El ANOVA indicó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre épocas y zonas. Tukey presenta los mayores valores en pluviosidad baja en las zonas A, B y C, con media de 0.61 ± 0.006 (gP/kg), a diferencia de pluviosidad alta donde la media es de 0.45 ± 0.006 (gP/kg). Los cultivos presentaron mayores valores, con 0.94 ± 0.011 (gP/kg) para A, 0.83 ± 0.011 (gP/kg) para B y 0.75 ± 0.011 (gP/kg) para C; por el contrario, los menores valores se presentaron en A1, B1 y C1, con 0.25 ± 0.011 (gP/kg), 0.22 ± 0.011 (gP/kg) y 0.18 ± 0.011 (gP/kg) respectivamente.

Nitrógeno total (gN/kg). El ANOVA indicó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre pluviosidades y zonas de muestreo. Tukey estableció que pluviosidad baja presentó mayores valores en todas las zonas, con una media de

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos en sedimentos

Variable	Época de lluvias altas					
	Zona A	Zona A1	Zona B	Zona B1	Zona C	Zona C1
Materia orgánica (%)	19.33±0.12	15.12±0.08	16.38±0.10	11.97±0.05	14.15±0.05	10.10±0.13
Fósforo total (gP/kg)	0.79±0.00	0.19±0.01	0.71±0.00	0.18±0.00	0.67±0.00	0.17±0.00
Nitrógeno total (gN/kg)	11.04±0.00	6.75±0.00	10.70±0.00	6.46±0.13	10.20±0.00	6.06±0.03
Variable	Época de lluvias bajas					
	Zona A	Zona A1	Zona B	Zona B1	Zona C	Zona C1
Materia orgánica (%)	31.95±1.29	20.12±0.03	26.80±1.87	17.56±0.16	23.51±0.33	15.11±0.09
Fósforo total (gP/kg)	1.10±0.00	0.32±0.00	0.94±0.00	0.26±0.00	0.83±0.00	0.20±0.00
Nitrógeno total (gN/kg)	12.59±0.00	8.47±0.03	12.12±0.00	8.12±0.00	11.87±0.01	7.94±0.01

10.18±0.011 (gN/kg), mientras que para pluviosidad alta la media fue de 8.53±0.011 (gN/kg). Entre zonas, los mayores valores se presentaron en A, B y C (comportamiento similar en las dos épocas), con 11.81±0.019 (gN/kg), 11.41±0.011 (gN/kg) y 11.03±0.011 (gN/kg). Los menores valores se presentaron en puntos control con 7.61±0.011 (gN/kg) para A1, 7.29±0.011 (gN/kg) para B1 y 7.00±0.011 (gN/kg) para C1.

Discusión

Oxígeno disuelto (m/L). Es un parámetro de importancia para la degradación de materia orgánica, (Torres *et al.*, 2016). La mayor disponibilidad presentada en la superficie y puntos control se debe a que el oxígeno disuelto en el agua aumenta por el contacto con la atmósfera y disminuye mientras la profundidad aumenta (Benjumea y Alvares, 2017).

Los niveles de OD obtenidos son característicos de lagos oligotróficos de alta montaña (entre 7 y 9 mg/L) y se mantienen en los rangos aceptables para la ecología del lago y para la especie en cultivo (López *et al.*, 2017). Sin embargo, se observa que en zonas de cultivo el parámetro disminuye a causa de factores como la respiración de los peces, procesos metabólicos y mayor degradación de materia orgánica, por lo que se puede observar que existe un impacto negativo en la calidad del agua causado por los cultivos (González, 2018).

Temperatura (°C). Beltrán *et al.* (2012) afirman que la temperatura es mayor en la capa superficial del agua debido a la interacción agua-atmósfera y a mayor profundidad la temperatura disminuye, lo que crea estratificación térmica, condición normal y favorable en sistemas acuáticos lénticos, como los resultados obtenidos.

Según González (2018) y Burbano *et al.* (2019), las zonas de cultivo presentan mayores temperaturas que los puntos control, ya que oscilan entre 17.28±0.10 °C

y 16.10±0.10 °C en la parte superficial, datos similares a los obtenidos, donde las zonas de cultivo presentan mayores temperaturas en relación con puntos control. Los valores de temperatura obtenidos están dentro de rangos aceptados para este tipo de lagos, al igual que para la especie cultivada.

Conductividad eléctrica (µS/cm). Según Meza y Sepúlveda (2012), la acuicultura es una actividad generadora de residuos orgánicos e inorgánicos producidos mediante el concentrado comercial, la aplicación de sal marina, medicamentos y procesos metabólicos y fisiológicos de los peces que influyen en el aumento de los minerales y sales en el agua. Por lo ello, las áreas influenciadas por los cultivos presentan un incremento de CE.

González (2018) reporta que la interface agua-sedimento presenta mayores valores de conductividad, puesto que la acumulación de materia orgánica y otra clase de elementos de carácter antrópico y natural se acumulan en el fondo de los lagos provocando efectos ionizantes que se ven reflejados en las mediciones de CE. Sin embargo, los valores obtenidos se encuentran dentro de rangos aceptables en cuerpos de agua lénticos naturales (entre 50 y 1500 µS/cm).

Potencial de hidrógeno (pH). El pH es fundamental en acuicultura puesto que actúa como un regulador del metabolismo en salmónidos. Los valores obtenidos demuestran que las producciones influyen en su variación, y es negativo para los peces y para la ecología del lago (Burbano *et al.*, 2019). Sin embargo, se encuentran en rangos aceptables para el cultivo de trucha, además son tolerables para cuerpos de agua oligotróficos continentales, cuyos rangos pueden oscilar entre 6.0 y 9.0.

Dureza (mg CaCO₃/L). Su influencia radica en la productividad de los ecosistemas, en especial el calcio y el magnesio, que son fundamentales en el desarrollo de los peces y de su habitat.

Según Boyd y colaboradores (2016), la acuicultura genera compuestos que alteran la composición de iones metálicos bivalentes (carbonato de calcio), principalmente la adición de concentrado que contiene alta carga de nutrientes. Esto expresa que existe afectación en la calidad del agua por parte de las producciones, y si bien es cierto que existe un incremento en los cultivos, los valores obtenidos son aceptables para acuicultura, ya que oscilan entre 20 y 300 mg/caCO₃, por lo cual el Lago Guamuez se caracteriza por tener aguas blandas (Laino *et al.*, 2015).

Alcalinidad (mg/caCO₃). Las alcalinidades bajas en presencia de una gran cantidad de CO₂ pueden ocasionar lesiones en los peces y disminuyen el pH a valores menores de 4 (Pardo *et al.*, 2009).

Según Salameh y Harahsheh (2011), la intensidad de lluvias afecta las concentraciones de bicarbonatos debido al contacto del agua de la atmósfera y por la escorrentía e infiltración, lo que aumenta la entrada de nutrientes a los sistemas lénticos provenientes de las actividades antrópicas y exógenas. De igual forma, los procesos acuícolas tienden a contaminar las fuentes de agua (Valenzuela *et al.*, 2017), por lo cual la alcalinidad tiende a bajar notoriamente, pues llega a 20.43 mgCaCO₃/L, lo cual afecta el aparato respiratorio y la pigmentación de los peces, problemáticas que por el momento no se reflejan en estas producciones debido a que los rangos son aceptables.

Turbidez (UNT). A pesar de encontrar mayor turbidez en algunas zonas de cultivo en pluviosidad alta y por el contrario valores más favorables en puntos control y en pluviosidad baja, los niveles de turbidez son normales en estos ecosistemas donde el agua se torna más turbia a medida que la profundidad aumenta, debido a la interacción con el sedimento. (Contreras y Polo, 2012).

Las zonas de cultivo A y B pertenecen a la parte media y alta de la laguna, por lo cual están en mayor contacto con aguas contaminadas provenientes del puerto y donde se encuentran mayores asentamientos humanos. El análisis permite demostrar variaciones en las zonas de cultivo y su relación con la temporada de lluvias, no obstante, los valores obtenidos no representan cargas contaminantes que amenacen con el equilibrio ecosistémico (Caballero, 2016).

Materia orgánica (%). La época de pluviosidad baja reporta los mayores valores en las seis zonas, debido a que, en esta época del año, las aguas del lago se tornan más calmadas, pues presentan un menor oleaje y turbulencia, por lo que la materia orgánica aportada tanto por los procesos acuícolas como por otras actividades puede presentar una mayor tasa de sedimentación.

La parte alta del lago presenta mayor MO, debido a que en la vereda El Motilón las actividades humanas son más intensas y estas tienden a presentar un aumento notable en su porcentaje. Su análisis en relación con acuicultura es importante, puesto que determina el estado trófico de la zona de estudio y

su porcentaje enfatiza en los impactos ambientales a causa de la actividad (Guíñez *et al.*, 2010). Los valores obtenidos son superiores en cultivos, sin embargo, no sobrepasan los aceptados para este tipo de aguas.

Fósforo total (gP/kg). Tanto en agua como en sedimentos es un factor de importancia debido a su influencia en la eutrofización, además, es uno de los macronutrientes limitantes tomado como un índice de eutrofización progresiva (Quiroz *et al.*, 2014). Los valores aquí obtenidos fueron similares a los reportados por Burbano *et al.* (2019), cuyos valores oscilan entre 1.03±3954 gP/kg para las zonas de cultivo y 0.15±20 gP/kg en el punto control, lo que demuestra el impacto ambiental ocasionado por los cultivos y su relación con el incremento de fósforo en sedimentos; no obstante, según Quiroz (2018), a pesar del incremento observado en las jaulas de cultivo, los valores de fósforo se mantienen dentro de los rangos aceptables para los ecosistemas lacustres y para la acuicultura.

Nitrógeno total (gN/kg). La regulación del ciclo del nitrógeno define la presencia de comunidades bentónicas, al igual que su presencia y concentración en sedimentos y en el agua; además, nos permite conocer el estado trófico del lago y su relación con los procesos acuícolas.

Al presentarse menor precipitación, las aguas confinadas del lago tienden a presentar menor turbulencia y agitación, por lo que la concentración de nitrógeno en sedimentos permanece un poco más estable, por lo cual sus valores se tornan mayores en comparación con pluviosidades altas (Torres *et al.*, 2015). En ese sentido se demuestra una afectación del contenido de nitrógeno en el sedimento a causa de los cultivos, ya que al igual que el fósforo, el nitrógeno es introducido principalmente por el suministro de concentrado balanceado, al igual que los desechos metabólicos de los peces y otros procesos propios del cultivo (Burbano, 2018).

El comportamiento de las concentraciones de fósforo y nitrógeno en las partes alta, media y baja del lago, los valores de las zonas de cultivo y los puntos control son mayores en la parte alta y disminuyen proporcionalmente (veredas Santa Teresita y El Naranjal). Los sedimentos expuestos a cultivos de trucha arcoíris presentan valores promedio de nitrógeno de 5 gN/Kg, que son menores a los obtenidos en este estudio, de igual forma Burbano (2019) reporta valores de nitrógeno total en sedimentos del Lago Guamuez entre 11.5±0.14 gN/Kg para zona de cultivo intensivo y 6.59±0.24 gN/Kg en punto control. Dichos valores son tolerables para el ecosistema, sin embargo, se debe prestar atención a su incremento, ya que el nitrógeno en altas concentraciones es tóxico para los peces.

Conclusiones

Los parámetros fisicoquímicos del agua como indicadores ambientales presentaron valores menos favorables en las empresas de cultivo a diferencia de puntos control. Lo que demuestra que los procesos

acuícolas alteran en cierto grado la calidad del agua; no obstante, los valores aquí analizados están dentro de los rangos aceptables para la acuicultura y para la ecología del lago. Los sedimentos como depósito de los residuos acuícolas presentaron alteración en los nutrientes medidos en las empresas de cultivo, principalmente el fósforo total y nitrógeno total. Si bien es cierto que sus valores presentan rangos aceptables, su incremento podría causar problemas futuros de eutrofización del lago. La acuicultura ocasiona alteraciones ambientales a la calidad del agua y en los sedimentos del Lago Guamuéz, sin embargo, no se puede desestimar el aporte de otra serie de actividades antrópicas existentes en el sector que pueden influir en los resultados obtenidos.

Referencias

- Beltrán, R.; Ramírez, A.; y Sánchez, J. (2012). Comportamiento de la temperatura y el oxígeno disuelto en la presa Picachos, Sinaloa, México. *Hidrobiológica*, 22(1), 94-98. <http://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v22n1/v22n1a12.pdf>
- Benjumea, C.; y Álvarez, G. (2017). Demanda de oxígeno por sedimentos en diferentes tramos del río Negro Rionegro, Antioquia, Colombia. *Producción + Limpia*, 12(2), 131-146. https://www.researchgate.net/publication/321728108_Demanda_de_oxigeno_por_sedimentos_en_diferentes_tramos_del_rio_Negro_Rionegro_Antioquia_Colombia
- Boyd, C.; Tucker, C.; y Somridhvej, B. (2016). Alkalinity and hardness: Critical but elusive concepts in aquaculture. *The World Aquaculture Society*, 47(1), 6-41. <https://doi.org/10.1111/jwas.12241>
- Burbano, E.; Duque, G.; Imués, M.; González, E.; Delgado, M.; y Pantoja, J. (2021). Effect of fish farming on sediments and the proliferation of nitrifying bacterial communities in Lake Guamuéz, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(2), e1581. DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num2_art:1581
- Burbano, E.; Duque, G.; Imués, M.; González, E.; Delgado, M.; y Mejía, D. (2019). Influence of the crops pisciculture in the quality of the water of Guamuéz Lake, Nariño. *Livestock Research*, 6(1), 17-26. <https://doi.org/10.22267/revip.1961.8>
- Caballero, G. (2016). Análisis multisensor para el estudio de los patrones de turbidez en el estuario del Guadalquivir. *Revista de Teledetección*, 46, 1-17. <http://dx.doi.org/10.4995/raet.2016.5717>
- Contreras, E.; y Polo, M. (2012). Measurement frequency and sampling spatial domains required to characterize turbidity and salinity events in the Guadalquivir estuary (Spain). *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(8), 2581-2589. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-12-2581-2012>
- Guíñez, M.; Valdés, J.; y Sifeddine, A. (2010). Variabilidad espacial y temporal de la materia orgánica sedimentaria, asociada a la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO), en un ambiente costero del norte de la corriente de Humboldt, bahía de Mejillones, Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 38(2), 242-253. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=175015266009>
- González, G.; Burbano, E.; Aparicio, R.; Duque, G.; y Imués, M. (2018). Impactos de la acuicultura en los nutrientes del agua y macroinvertebrados bentónicos del lago Guamuéz. *Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 23, 7035-7047.
- Laino, R.; Bello, R.; González, M.; Ramírez, N.; Jiménez, F.; y Musálen, K. (2015). Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(4), 61-74. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353543299004>
- López, M.; Jurado, G.; Páez, I.; y Madroño, S. (2017). Estructura térmica del lago Guamués, un lago tropical de alta montaña. *Revista Científica Luna azul*, 44, 94-119. <https://doi.org/10.17151/luaz.2017.44.7>
- Meza, S.; y Sepúlveda, S. (2012). Efecto de la conductividad eléctrica y nivel del agua sobre la reproducción de la cucha xenocara (*Ancistrus triradiatus*, Eigenmann 1918) bajo condiciones experimentales. *Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 6(1), 37-46. <http://vetzootec.ucaldas.edu.co/downloads/v6n1a04.pdf>
- Pardo, S.; Suárez, H.; y Pertuz, V. (2009). Interacción de los suelos sulfatados ácidos con el agua y sus efectos en la sobrevivencia del bocachico (*Prochilodus magdalenae*) en cultivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 22, 619-631. <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v22n4/v22n4a05.pdf>
- Quiroz, A.; Miranda, M.; Ramírez, A.; y Lot-Helgueras, A. (2018). Importancia de las comunidades de hidrófitas en la acumulación de fósforo en los sedimentos de la laguna de Tochac, Hidalgo. *Polibotánica*, 46, 233-240. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.46.15>
- Quiroz, A.; Ramírez, P.; y Lot, A. (2014). Variación anual de la biomasa de *Nymphoides fallax* Ornduff en la laguna de Tecocomulco, Hidalgo, México. *Polibotánica*, 37, 93-108. <http://www.scielo.org.mx/pdf/polib/n37/n37a6.pdf>
- Salameh, E.; y Harahsheh, S. (2011). Eutrophication processes in arid climates. En (A.A. Ansari, S. Singh Gill, G. R. Lanza y W. Rast (Eds), *Eutrophication: Causes, consequences and control* (pp. 69-90).. Nueva York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9625-8>
- Torres, C.; Landassuri, V.; Carbajal, J.; y Flores, J. (2016). Predicción de oxígeno disuelto en acuicultura semi-intensiva con redes neuronales artificiales. *Research in Computing Science*, 120, 159-168. https://www.researchgate.net/publication/339203465_Prediccion_de_oxigeno_disuelto_en_acuicultura_semi-intensiva_con_redes_neuronales_artificiales
- Torres, A.; Tovar, M.; Hurtado, H.; y Gómez, E. (2015). Excreción de nitrógeno amoniacal total a diferentes densidades de siembra de *Cyprinus carpio* en condiciones de laboratorio. *Orinoquia*, 19(1), 19-26. <https://www.redalyc.org/pdf/896/89640816002.pdf>
- Valenzuela, R.; Martínez, P.; y Arévalo, J. (2017). Evaluación preliminar de un sistema de recirculación de aguas para un prototipo implementado en la producción de tilapia roja (*Oreochromis* sp). *Ingeniería y Región*, 18, 27-37. <https://doi.org/10.25054/22161325.1737>
- Vásquez, R.; Pupo, A.; y Jiménez, H. (2014). An energy efficient and low cost system, to control the temperature and the oxygen increase, in the red tilapia fingerling cultivation's tanks. *Faculty of Engineering Journal*, 23(36), 9-23. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfing/v23n36/v23n36a02.pdf>