



EFECTO DE LA PRODUCCIÓN ACUÍCOLA SOBRE LAS VARIABLES DE CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO GUAMUEZ

EFFECT OF AQUACULTURE PRODUCTION ON WATER QUALITY VARIABLES OF GUAMUEZ LAKE

Edgar A. González-Legarda ^a IPA MSc, Marco A. Imués-Figueroa ^b Zoot MSc,
Guillermo Duque-Nivia ^c PhD, Elizabeth Burbano-Gallardo ^d IPA, Camilo. L Guerrero-Romero ^e IPA

Recibido: 7-mar-2017 Aceptado: 15-dic-2017

RESUMEN

La acuicultura es una de las actividades agropecuarias que mayor crecimiento ha mostrado en los últimos años; pero así mismo crece la preocupación por el impacto ambiental que genera en el ambiente. Por lo anterior, la presente investigación se realizó entre los meses de agosto de 2016 y febrero de 2017 en una empresa de cultivo de trucha arcoíris (*Onchorhynchus mykiss*), ubicada en el Lago Guamuez, evaluando la contaminación que generan dos sistemas de jaulas flotantes (alevinaje y levante y engorde), en comparación con un punto control. Los parámetros fisicoquímicos Oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica, pH, alcalinidad, dureza y transparencia presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las áreas y profundidades de muestreo, al igual que los nutrientes (nitritos, nitratos, fosfatos y fósforo total), donde se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre áreas y sólo en algunas profundidades. Los parámetros fisicoquímicos y los nutrientes demostraron que existe un impacto ambiental en el agua, ocasionado por los cultivos intensivos de trucha arco iris; sin embargo, los valores obtenidos no representan niveles de contaminación alarmante siendo moderados tanto para los peces de cultivo como para el ecosistema del Lago.

Palabras clave: acuicultura, calidad del agua, contaminación del agua, impacto ambiental, trucha arco iris

ABSTRACT

Aquaculture is one of the agricultural activities that has showed the greatest growth in last years; but also grows concern about the environmental impact generated in the environment. Therefore, the present research was carried between August 2016 and February 2017 in a company of rainbow trout

^a Estudiante Programa de Doctorado en Agroecología, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. edagonzalezle@unal.edu.co

^b Profesor Asociado, Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Facultad de Ciencias Pecuarias, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. marcoi@udenar.edu.co

^c Profesor Asociado, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. gduquen@unal.edu.co

^d Estudiante Maestría en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Administración, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. eburbanog@unal.edu.co

^e Laboratorios de Acuicultura, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. camiloguerrero.romero@gmail.com

(*Onchorhynchus mykiss*), located in Guamuez Lake, Colombia, evaluating the pollution generated by two floating cages systems (raising and raising and fattening), compared to a control point. The physicochemical parameters of dissolved oxygen, temperature, electrical conductivity, pH, alkalinity, hardness and transparency presented significant differences ($p < 0.05$) between areas and depths of sampling, as well as nutrients (nitrites, nitrates, phosphates and total phosphorus), where there were significant differences between areas and only at some depths. Physicochemical parameters and nutrients showed that there is an environmental impact on the water caused by intensive rainbow trout crops. However, the values obtained do not represent levels of alarming contamination, being moderate both for fish and for the ecosystem of the Lake.

Keywords: aquaculture, water quality, water pollution, environmental impact, rainbow trout

INTRODUCCIÓN

La producción acuícola mundial sigue creciendo. Según las últimas estadísticas disponibles, recopiladas por la FAO a nivel mundial, la producción acuícola mundial alcanzó otro máximo histórico de 90,4 millones de toneladas (equivalente en peso vivo) en 2012, de los que 66,6 millones de toneladas correspondieron a peces comestibles y 23,8 millones de toneladas a plantas acuáticas, principalmente algas marinas^[1]. Pero así como crece su producción, también crece el impacto ambiental que esta actividad genera, puesto que la acuicultura impacta en el ambiente a través de tres procesos: principales como el consumo de recursos, el proceso de transformación y la generación del producto final^[2].

Colombia cuenta con múltiples sistemas hidrológicos diversificados en cuerpos de agua dulce, salobres y marinos, con una gran variedad de pisos térmicos, con características climáticas estables a lo largo del año, terrenos con aptitud para realizar acuicultura, lo que ofrece un potencial amplio para el desarrollo de la actividad^[3]. La acuicultura en Colombia ha tenido un crecimiento equiparable al del crecimiento mundial, siendo en promedio el 13 % anual durante los últimos 27 años, crecimiento que se ha destacado especialmente en el campo de la mediana y pequeña acuicultura, lo cual posiciona al país en el sexto lugar en orden de importancia de la acuicultura en América Latina.

Esta actividad se ha realizado de manera desordenada, sin planificación, sin previsión de las afectaciones que la acuicultura puede causar en

el ambiente y, sobre todo, sin una política gubernamental que sirva de apalancamiento y apoyo efectivo y eficiente a la actividad^[4].

Procesos como este, que tienen fines productivos, ejercen diversos efectos sobre el ambiente, pero es quizás por su carácter pionero, su elevado volumen de producción y marcada tendencia expansiva, que ha concentrado las críticas ambientales. No obstante, la discusión generada hasta el momento no está basada en argumentos sólidos, hecho que se ve agravado por la falta de información ambiental específica de Colombia. Por otra parte, la discusión se centra en los argumentos de cuánto y cómo contamina esta actividad y no en cómo proceder para desarrollarla de manera ambientalmente sustentable.

En los últimos años, el departamento de Nariño ha venido ocupando entre el cuarto y el séptimo lugar a nivel nacional, en producción piscícola, gracias al Lago Guamuez o Laguna de la Cocha, segundo cuerpo de agua natural más grande de Colombia, ubicado en el Corregimiento de El Encano, en el municipio de Pasto. Este ecosistema se ha elevado a la categoría de humedal “Ramsar”, clasificación otorgada por la Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional y donde la acuicultura juega un papel fundamental para el desarrollo de la región, presentando 822 jaulas flotantes instaladas para la producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), de las cuales 561 se encuentran en producción y 261 están fuera de funcionamiento^[4].

Así como se ha planteado la importancia del Lago Guamuez en la producción acuícola, también crece la preocupación por el impacto ambiental que esta actividad está causando en el medio y al ecosistema del lago. La utilización de grandes cantidades de alimentos balanceados comerciales para la alimentación de los peces, las heces de los mismos y otros tipos de sustancias causan un gran cambio ecológico-ambiental en la columna de agua, que se encuentra

bajo la influencia de las jaulas e instalaciones acuícolas [5].

Con la realización del presente estudio se pretende evaluar el impacto ambiental que ocasiona el cultivo intensivo de trucha arcoíris en jaulas flotantes, bajo el análisis de los nutrientes presentes en el agua y los parámetros fisicoquímicos, tomando como sitio de estudio una de las empresas más representativas del sector, por sus volúmenes y técnicas de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

En el departamento de Nariño a 25 kilómetros de la ciudad de Pasto en el corregimiento del Encano se encuentra ubicado el segundo cuerpo de agua natural más grande de Colombia, el Lago Guamuez o Laguna de la Cocha, cuya ubicación geográfica se encuentra entre las coordenadas 1°06'00" Norte y 77°09'07" Oeste, presenta una altitud de 2800 msnm, temperatura promedio de 11°C, precipitación de 2.200 mm anuales, con una longitud de 25 km, superficie de 41,5 km² de espejo de agua y una profundidad media de 75 metros [6].

El estudio de investigación se llevó a cabo en la estación acuícola de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en sistemas de jaulas flotantes, de una de las empresas de mayor producción en el sector, ubicada al oriente de la Laguna de La Cocha, en la vereda Mojondinoy. La empresa se conformó en el año 2006 y actualmente produce alrededor de 30 toneladas mensuales.

Áreas y estaciones de Muestreo

El estudio de investigación se desarrolló en tres áreas del Lago Guamuez entre los meses de agosto de 2016 a febrero de 2017, áreas que fueron seleccionadas dependiendo de la ubicación de las jaulas de cultivo. Dentro de cada área se tomó tres estaciones de muestreo (los dos extremos y un punto intermedio entre las jaulas, y tres puntos al azar en el área control, que fue determinada bajo coordenadas geográficas con la ayuda de un GPS marca Garmin), para un total de nueve estaciones de muestreo.

Monitoreo de parámetros fisicoquímicos

Para medir los parámetros fisicoquímicos, oxígeno disuelto, temperatura y conductividad eléctrica se utilizó una sonda multiparametro YSI modelo 85, el pH mediante un pHmetro Altronix TPA-V, la dureza y alcalinidad se determinaron por el método volumétrico y la transparencia empleando el disco Secchi. Estos parámetros se tomaron y analizaron en tres puntos diferentes y a tres profundidades de la columna de agua (0, 10 y 20 metros) en cada una de las nueve estaciones de muestreo.

Análisis de nutrientes

Para estos análisis se tomó muestras de agua a tres profundidades diferentes en las nueve estaciones de muestreo (0, 10 y 20 metros), utilizando recipientes de dos litros, para realizar las mediciones de fósforo total, nitritos, nitratos y fosfatos. Los análisis fueron realizados con la ayuda de un espectrofotómetro marca Auxiliab 4255/50 y corroborados en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño [7].

Análisis Estadístico

Los datos recolectados fueron procesados, para su presentación, utilizando métodos de estadística descriptiva, en tablas de frecuencia, medidas de tendencia central y de dispersión y gráficas estadísticas. En todos los casos se indica la media y el error estándar ($\bar{Y} \pm EE$). Las

pruebas inferenciales paramétricas se estimaron utilizando un $\alpha = 0,05$.

Dado que se aplicó pruebas estadísticas paramétricas, fue necesario que los datos cumplieran con los supuestos estadísticos de Normalidad, mediante los estadísticos de Chi-cuadrado, Shapiro-Wilk y Z para sesgo, de las cuales, por lo menos una permitió verificar la hipótesis de que las muestras provienen de una población con distribución normal; también el supuesto de homogeneidad de varianzas fue probado a través de la prueba de Bartlett, según la cual las muestras tienen varianzas iguales, al provenir de la misma población; el supuesto de Independencia, a través de la prueba de Durbin-Watson,

para verificar la ausencia de autocorrelación serial de los residuos.

Superada esta etapa, luego de verificar la ausencia de datos atípicos influyentes, se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) para cada una de las variables, con el fin de determinar la existencia de diferencias significativas entre las áreas de muestreo, en cuyo caso se aplicó pruebas de comparación múltiple de Tukey, para identificar diferencias significativas entre medias.

El análisis de agrupamiento se realizó mediante pruebas para datos multivariantes, desarrollando un proceso de análisis discriminante, con el fin de identificar el grado de discriminación de las diferentes variables, con respecto a las áreas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros fisicoquímicos.

Para tal efecto se procedió a estimar el promedio para cada variable, teniendo como base los 81 datos tomados in situ en las tres áreas de muestreo (área 1: jaulas de alevinaje, área 2: jaulas de levante y engorde y área 3: punto control), de igual forma, este proceso se realizó para los 27 datos de nutrientes analizados en las tres áreas muestreadas.

Oxígeno disuelto (mg/L). En la medición correspondiente a la superficie, se registró un valor en el área 3 de $10,17 \pm 0,028$ mg/L, en el área 2 y área 1 se obtuvieron valores de $9,82 \pm 0,064$ mg/L y $9,54 \pm 0,176$ mg/L respectivamente. Para la profundidad de 10 metros, en el área 2 el valor promedio fue de $8,73 \pm 0,003$ mg/L, para las áreas 1 y 3 fueron $8,74 \pm 0,053$ mg/L y $9,79 \pm 0,043$ mg/L respectivamente; finalmente, a profundidad de 20 metros se obtuvieron valores correspondientes a $5,79 \pm 0,510$ mg/L en el área 1, $5,88 \pm 0,037$ mg/L en el área 2 y $7,62 \pm 0,45$ mg/L en el área 3.

El ANOVA indica que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las áreas de muestreo y en las diferentes profundidades. La prueba de comparación múltiple de Tukey in-

dica que el oxígeno disuelto disminuye a medida que aumenta la profundidad en la columna de agua, con mayores valores en el área 3, correspondiente al punto control, a diferencia de las áreas 1 y 2 que pertenecen a las jaulas de cultivo (Figura 1a). Estos resultados concuerdan con estudios anteriores del lago, donde se presenta un valor promedio de 8,26 mg/L, siendo óptimos para el cultivo de trucha y característicos de lagos de alta montaña [4, 8].

Temperatura (°C). Al igual que el oxígeno, ésta disminuye a mayor profundidad; los valores en las tres áreas de muestreo fueron similares, obteniendo, en el área 2, una temperatura media de $17,28 \pm 0,105$ °C en la superficie, $16,78 \pm 0,046$ °C a 10 m de profundidad, y se registró $15,63 \pm 0,058$ °C en el fondo (Figura 1b).

El ANOVA también indica que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) en el área 2 con respecto a las otras, las cuales no presentan diferencias significativas entre ellas. La prueba de comparación múltiple de Tukey permite establecer diferencias significativas ($p < 0,05$) en el área 2 arrojando el mayor valor de temperatura. Estos resultados catalogan al lago Guamuez como tropical de alta montaña y su temperatura es adecuada para el cultivo de la especie [9].

Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Las mediciones realizadas en el área 1 presentaron valores promedio de $81,28 \pm 1,136 \mu\text{S}/\text{cm}$; $90,21 \pm 0,002 \mu\text{S}/\text{cm}$ y $68,27 \pm 0,042 \mu\text{S}/\text{cm}$, a 0, 10 y 20 m de profundidad, respectivamente; el área 2 registró conductividad de $68,27 \pm 0,042 \mu\text{S}/\text{cm}$ en la superficie, $72,31 \pm 0,032 \mu\text{S}/\text{cm}$ a

10 metros y $126,03 \pm 0,002 \mu\text{S}/\text{cm}$ a los 20 metros de profundidad; para el área 3 los valores fueron $68,27 \pm 0,042 \mu\text{S}/\text{cm}$ a 0 metros, $74,54 \pm 0,036 \mu\text{S}/\text{cm}$ a los 10 metros y $80,83 \pm 0,027 \mu\text{S}/\text{cm}$ a 20 metros de profundidad (Figura 1c).

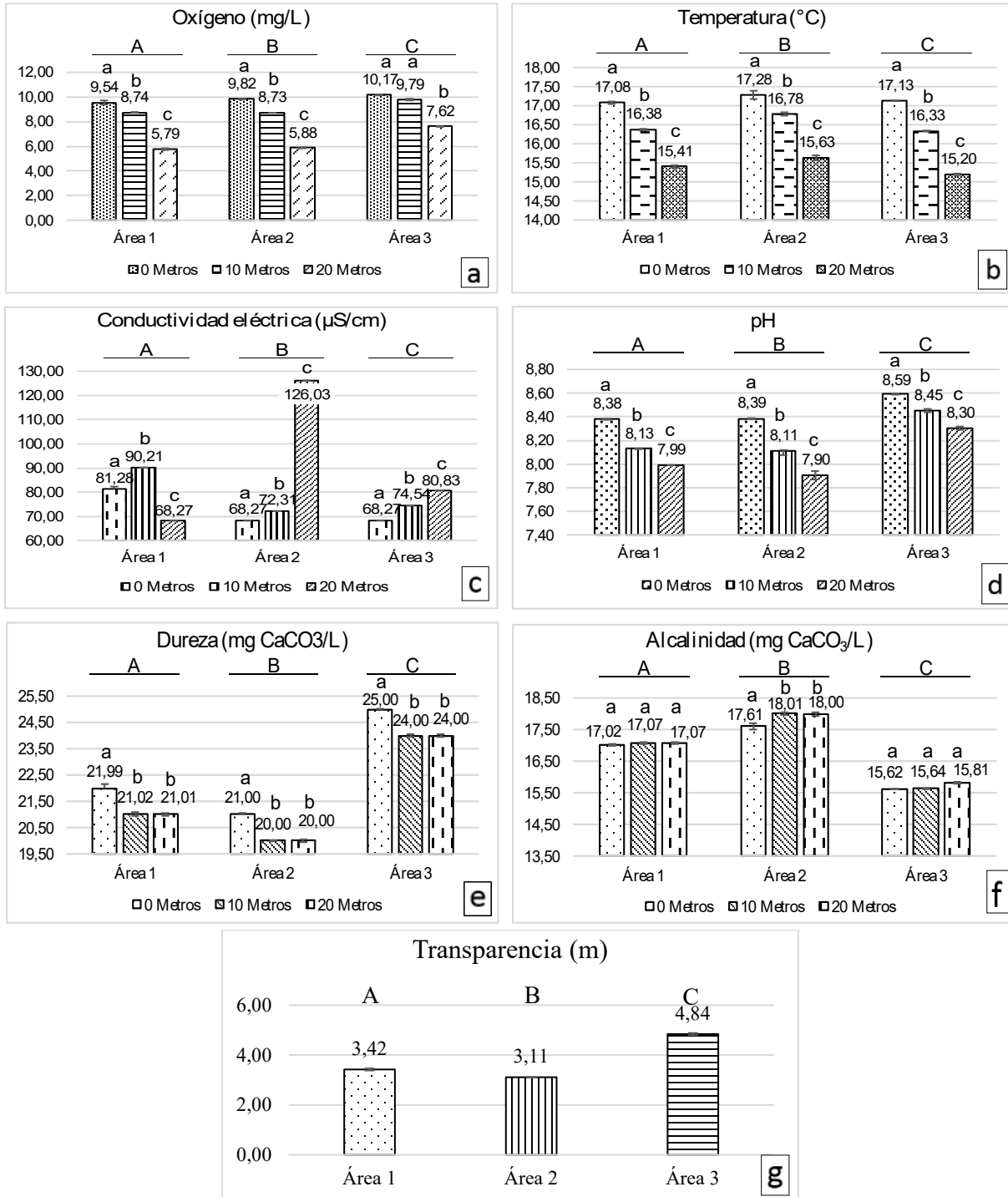


Figura 1. Valores promedio de los parámetros físico-químicos, por áreas y profundidades.

El análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple de Tukey indican la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las áreas de muestreo, al igual que entre las diferentes profundidades. Un valor de conductividad eléctrica (CE) menor a $280 \mu\text{S}/\text{cm}$ indica baja salinidad, lo cual representa baja conductividad, por lo tanto, a diferencia de la temperatura y del oxígeno, la conductividad eléctrica es directamente proporcional a la profundidad, puesto que, a medida que la profundidad de la columna de agua aumenta, también se incrementan los valores de CE. Estos resultados ^[10] demuestran que, a pesar de no encontrarse valores alarmantes, se presenta un valor mayor en las áreas de cultivo, en comparación con el punto control, donde no hay contacto con cultivos ^[11].

Potencial de hidrógeno (pH). Los valores de pH presentan una tendencia básica y similar entre las tres áreas y profundidades de muestreo; a medida que aumenta la profundidad, el pH tiende a disminuir. Los valores en la superficie fluctúan entre $8,38 \pm 0,004$ en el área 1, $8,39 \pm 0,006$ en el área 2 y $8,59 \pm 0,004$ en el área 3. La medición a 10 metros presentan valores medios de $8,13 \pm 0,006$; $8,11 \pm 0,006$ y $8,45 \pm 0,010$ en las áreas 1, 2 y 3 respectivamente; finalmente, a 20 metros de profundidad se obtuvieron valores de $7,99 \pm 0,003$ para el área 1, $7,90 \pm 0,035$ en el área 2 y $8,30 \pm 0,013$ en el área 3.

El análisis de varianza indica la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las áreas de muestreo, al igual que en las diferentes profundidades. La prueba de comparación múltiple de Tukey permite corroborar las mismas diferencias. Estos resultados muestran que el pH tiende a acidificarse a medida que aumenta la profundidad, donde se presenta mayor contacto con los sedimentos del fondo; de igual forma, los valores tendientes a mayor basicidad corresponden al punto control, donde no hay intervención de cultivos acuícolas (Figura 1d). Sin embargo, aunque la acidez es menor en las jaulas de cultivo, estos valores están dentro de un rango aceptable, tanto para la supervivencia

de la especie cultivada, como para el ecosistema ^[12, 13].

Dureza (mg CaCO_3/L). En el área 3 se registraron valores de $25,00 \pm 0,026$, $24,00 \pm 0,043$ y $24,00 \pm 0,045$ mg de CaCO_3/L , para los 0, 10 y 20 metros respectivamente. Para el área 2 los valores correspondieron a $21,00 \pm 0,064$ en la superficie y $20,00 \pm 0,030$ para 10 y 20 metros de profundidad de la columna de agua. En el área 1 el valor fue de $21,99 \pm 0,018$ mg CaCO_3/L a 0 metros, $21,02 \pm 0,053$ a 10 metros y $21,01 \pm 0,051$ a 20 metros (Figura 1e).

Fue posible identificar diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las áreas de muestreo, al igual que a diferentes profundidades ($p < 0,05$), cuyas diferencias son significativas ($p < 0,05$) al comparar las medias de las tres áreas. Los resultados demuestran que hay menor presencia de carbonato de calcio en las áreas 1 y 2 (jaulas de alevinaje y levante) influenciadas por los cultivos de trucha arcoíris y su valor es mayor en la superficie a diferencia de los 0 y 10 metros, cuyo valores son menores y no presentan diferencias significativas ($p > 0,05$) entre estas dos profundidades. Estos resultados obtenidos permiten establecer que el agua del Lago Guamuez se clasifica como aguas blandas, puesto que los valores obtenidos de dureza son menores a $75 \text{ mg}/\text{L}$ de CaCO_3 ^[14].

Alcalinidad (mg CaCO_3/L). La alcalinidad, en el área 3 presenta valores de $15,62 \pm 0,007$ a 0 metros, $15,63 \pm 0,006$ a 10 metros y $15,80 \pm 0,023$ mg CaCO_3/L a 20 metros de profundidad. En el área 2 se obtuvo un promedio de $18,00 \pm 0,058$ mg de CaCO_3/L a 10 y 20 metros y $17,60 \pm 0,105$ mg de CaCO_3/L a 0 metros de profundidad. En el área 1 se presentan valores de $17,02 \pm 0,023$, $17,07 \pm 0,025$ y $17,07 \pm 0,033$ mg de CaCO_3/L para 0, 10 y 20 metros (Figura 1f).

El análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple de Tukey indican la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las áreas de muestreo, al igual que a diferentes profundidades ($p < 0,05$). Con dichos resultados se demuestra que existe una mayor presencia de bicarbonatos y otras sales minerales en el área

2 (jaulas de levante y engorde), donde se produce mayor densidad y biomasa de cultivo y respecto a la producción acuícola y los posibles efectos que esta causa al ambiente; se nota una variación comportamental de la dureza y alcalinidad entre las áreas de cultivo y el punto control, aunque dichos valores no representan un peligro potencial para la calidad del agua del Lago [15].

Transparencia (metros). Esta variable, en el punto control, presentó un valor de $4,84 \pm 0,041$ m, $3,42 \pm 0,041$ m; en el área de jaulas de alevinaje y en las jaulas de engorde, la profundidad fue de $3,11 \pm 0,003$ m (Figura 1g), lo cual demuestra que algunos factores químicos, físicos y biológicos, como la utilización de piensos, medicamentos y otros factores como las heces de los peces dentro de los cultivos, disminuyen la transparencia de la columna de agua.

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las tres áreas de muestreo. La prueba de comparación múltiple de Tukey permite establecer diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las áreas, siendo el menor valor de transparencia en el área 2. Estos datos concuerdan con los obtenidos por López [8] y el MAVDT [16], quienes obtuvieron promedios de 3,81 metros en zonas sin influencia de cultivos acuícolas y 4 y 18 m en zonas de influencia de jaulas flotantes; esto demuestra que la producción acuícola afecta negativamente la calidad del agua, debido a la concentración de sólidos disueltos por causa de la descomposición de materia orgánica proveniente del concentrado comercial, productos farmacéuticos y aditivos.

Análisis de nutrientes

Para el análisis de nutrientes, se promedió el valor para cada variable con 27 datos tomados in situ, en las tres áreas de muestreo (área 1: Jaulas de alevinaje, área 2: jaulas de levante y engorde y área 3: punto control).

Nitritos (NO_2^-). Los registros de esta variable corresponden a $0,004 \pm 0,0000$ mg/L en el área 2, a profundidad de 20 m, y $0,005 \pm 0,0000$ a 0 y 10 metros; en el área 1 con $0,003 \pm 0,0004$ mg/L

a 10 metros de profundidad, $0,004 \pm 0,0001$ y $0,005 \pm 0,0004$ a 0 y 20 m, respectivamente; el área 3 o punto control con $0,002 \pm 0,0000$ mg/L, para las tres profundidades (Figura 2a).

Las pruebas estadísticas indican la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$) entre áreas de muestreo, al igual que en las diferentes profundidades. Estos resultados demuestran que no existe un riesgo potencial, tanto para la calidad del agua como para la salud de los peces, sin embargo se observa un pequeño aumento en las áreas 1 y 2 donde se encuentran localizados los cultivos acuícolas. Así, el lago se clasifica como oligotrófico por presentar bajos niveles de nitritos (0,0 a 0,5 mg/L) [17].

Nitratos (NO_3^-). Los valores de nitratos mostraron un comportamiento semejante al de los nitritos, tanto en las diferentes áreas como en las profundidades de muestreo; para el área 2 la media fue $0,18 \pm 0,000$ mg/L para las tres profundidades; en el área 1 con $0,13 \pm 0,000$ mg/L y en el área 3 con $0,10 \pm 0,000$ mg/L (Figura 2b).

El ANOVA indica que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las áreas de muestreo, al igual que la prueba de comparación múltiple de Tukey.

De acuerdo con lo anterior, la concentración de nitratos tampoco muestra un riesgo potencial para la calidad del agua y para la salud de los peces; sin embargo, se observa un pequeño aumento en las áreas 1 y 2 donde se encuentran localizados las jaulas de cultivo. Los niveles de nitratos, al igual que los nitritos, categorizan al Lago Guamuez como oligotrófico [17].

Fosfatos (PO_4^{3-}). Los fosfatos presentaron valores en el área 2 con $0,039 \pm 0,0000$ mg/L en las tres profundidades; el área 1 con $0,030 \pm 0,0000$ mg/L y el área 3 con $0,020 \pm 0,0000$ mg/L para los 0, 10 y 20 metros de profundidad (Figura 2c).

El análisis de varianza indica la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las diferentes áreas de muestreo. La prueba de comparación múltiple de Tukey permite establecer la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias de las tres áreas,

siendo menor el contenido de fosfatos detectado en el punto control. Estos resultados demuestran que los fosfatos se incrementan en las jaulas de cultivo, especialmente en las jaulas de levante y engorde, donde se suministra la mayor cantidad de alimento comercial; pero dichos valores, al igual que los reportados en estudios anteriores, no representan un peligro potencial para la calidad del agua del lago [5, 8].

Fósforo total. El fósforo total presenta el mismo comportamiento que los fosfatos, cuyo contenido muestra valores de $0,031 \pm 0,0000$ mg/L en el área 2, para las tres profundidades; el área 1 con $0,020 \pm 0,0000$ mg/L a 0, 10 y 20

metros de profundidad, y el área 3 con $0,015 \pm 0,0000$ mg/L (Figura 2d).

Los análisis estadísticos indican la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las áreas de muestreo ($p < 0,05$), al igual que entre las medias de las tres áreas, siendo menor el contenido de fósforo total en el área 3.

Al igual que los fosfatos, a pesar de que se nota un leve aumento en las áreas de cultivo, estos datos corresponden a valores que no afectan significativamente a la calidad del agua del lago, caracterizándolo como mesoeutrófico, por estar entre el rango de 0,010 y 0,030 mg/L [18].

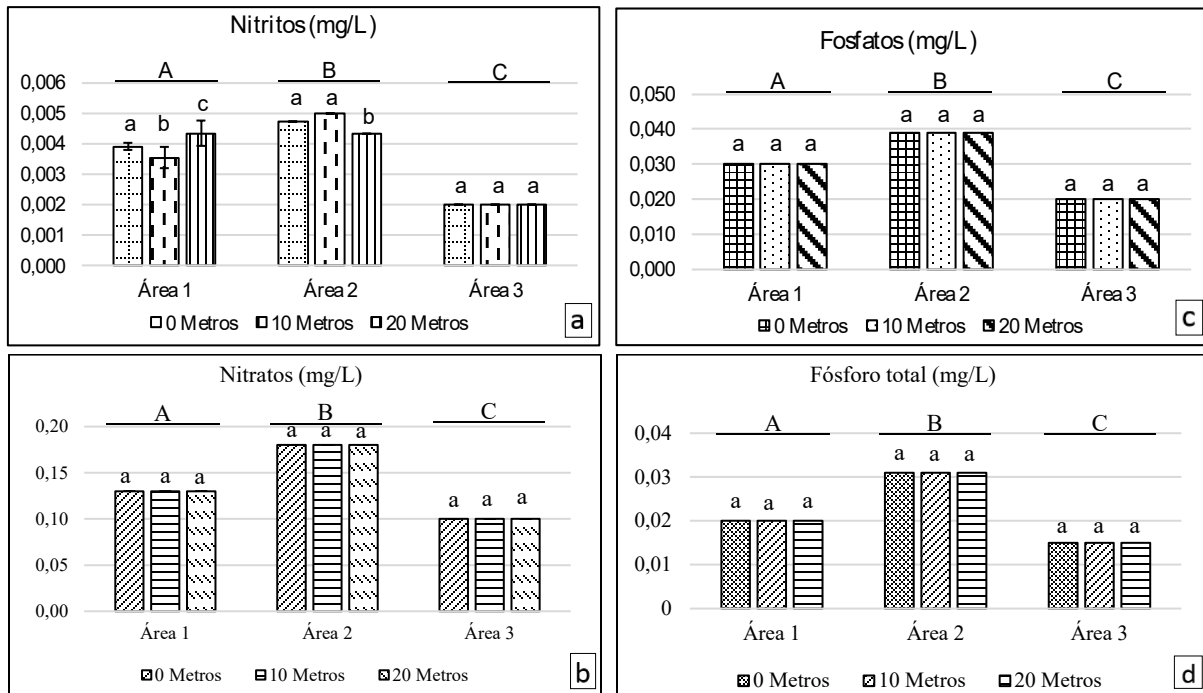


Figura 2. Valores promedio de nutrientes evaluados por áreas y profundidades de muestreo.

Análisis multivariado

Análisis discriminante en parámetros fisico-químicos. El estudio de estas variables permitió discriminar dos funciones (Z_1 y Z_2) que resultan ser significativas ($p < 0,05$). Para la primera función discriminante (Z_1) se obtuvo una varianza de 96,532 equivalentes al 94,11% de la varianza total; para la segunda función (Z_2), la varianza fue de 6,042 que representa 5,89%, cuya sumatoria corresponde al 100% de la varianza total, indicando que no hay pérdida de información.

En la Tabla 1 se muestran los coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes estimadas en el estudio, para los parámetros físico-químicos.

Tabla 1. Coeficientes de las funciones discriminantes en las áreas de muestreo para los parámetros fisicoquímicos.

Variables	Función Z_1	Función Z_2
Alcalinidad	-0,687575	0,22955
Conductividad Eléctrica	0,241321	2,42122
Dureza	1,77251	0,202589

Oxígeno Disuelto	2,10676	1,25496
pH	0,299314	4,10043
Profundidad	4,93287	5,35917
Temperatura	1,16804	2,33944

Los coeficientes son un reflejo del peso de cada una de las variables en las funciones discriminantes. La Función 1 tiene a la Profundidad con el mayor coeficiente (4,93) indicando la influencia predominante sobre la diferenciación de las áreas en estudio, por lo que dicha función se podría identificar como “Profundidad”. En el caso de la Función 2, el mayor peso está dado por el pH (después de la profundidad, que ya fue integrada en la función anterior), cuyo coeficiente es de 4,1004, variable que podría identificar a la función.

En la Figura 3 se representa el cruce entre las dos funciones discriminantes, con el fin de analizar el comportamiento de las variables según su nivel de influencia sobre las diferentes áreas, al igual que se puede observar claramente discriminados los tres grupos (áreas). En el caso del Área 1, cuya ubicación está en el cuadrante inferior izquierdo, los valores son bajos, es decir, las variables tienen poca influencia sobre el factor de clasificación y, a medida que la Función 1 (Profundidad) disminuye, aumenta la Función 2 (pH).

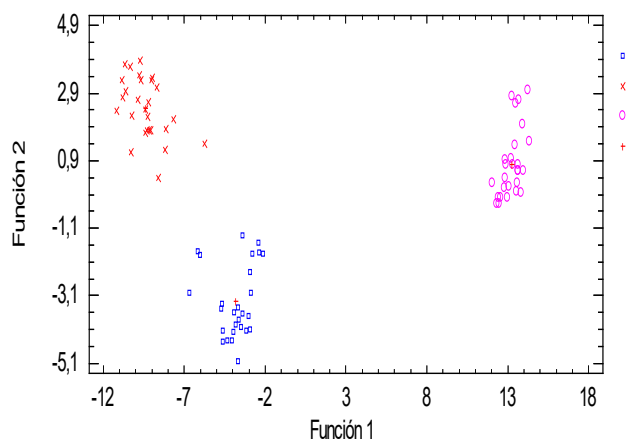


Figura 3. Representación gráfica del análisis discriminante para parámetros físico-químicos.

Al analizar el comportamiento del Área 2, se puede determinar que las variables tienen baja influencia en la Función 1 (Profundidad) y alta

en la Función 2 (pH), observando un incremento en esta última, cuando la primera disminuye y finalmente en el Área 3, las variables estudiadas tienen gran influencia en la discriminación. Identificando que, cuando la Función 1 (Profundidad) incrementa, la Función 2 (pH) también aumenta.

Según los datos registrados para pH en función de la profundidad, éste tiende a volverse más ácido a medida que la profundidad aumenta, acercándose al fondo, observando que dicho parámetro es menor en el área 2 (jaulas de levante y engorde), donde se encuentran mayores densidades de cultivo; seguido del área 1 donde la utilización de concentrado comercial y otros productos son suministrados en menor cantidad y, por último, el área 3, donde no se presenta intervención acuícola, los valores de pH son más altos tendiendo volverse alcalinos.

Análisis discriminante para nutrientes. Para el caso de los nutrientes, el análisis discriminante presentó dos funciones (Z_1 y Z_2) que resultan ser significativas ($p < 0,05$). Para la primera función discriminante (Z_1) se obtuvo una varianza de 522,16 equivalentes al 99,18% de la varianza total; para la segunda función (Z_2), la varianza fue de 4,32 que representa 0,82%, cuya sumatoria corresponde al 100% de la varianza total indicando que no hay pérdida de información.

La Tabla 2 relaciona los coeficientes estandarizados de las dos funciones discriminantes (Z_1 y Z_2) estimados, para los nutrientes que fueron analizados en el estudio.

Tabla 2. Coeficientes de la función discriminante entre áreas de muestreo para nutrientes.

Variables	Función Z_1	Función Z_2
Fosfatos	-0,597259	0,779579
Fosforo Total	0,124211	-0,650763
Nitratos	1,300000	-0,166133
Nitritos	-0,102092	0,847846
Profundidad	-0,175486	-0,410751

Los coeficientes son un reflejo del peso de cada una de las variables en las funciones discriminantes. La Función 1 tiene a los nitratos

con el mayor coeficiente (1,3) indicando la influencia predominante sobre la diferenciación de las áreas en estudio, por lo que dicha función se podría identificar como “Nitratos”. En el caso de la Función 2, el mayor peso está dado por los nitritos, cuyo coeficiente es de 0,8478, variable que podrá identificar a la función.

En la Figura 4 se muestra el comportamiento de las variables y su influencia sobre las diferentes áreas, en el cruce entre las dos funciones discriminantes, al igual que se puede observar claramente discriminados los tres grupos (áreas). En el caso del Área 1, cuya ubicación está en el cuadrante superior izquierdo, los valores son relativamente altos, es decir, las variables tienen influencia sobre el factor de clasificación y, a medida que los nitritos (Función 1) disminuyen, aumentan los nitritos (Función 2).

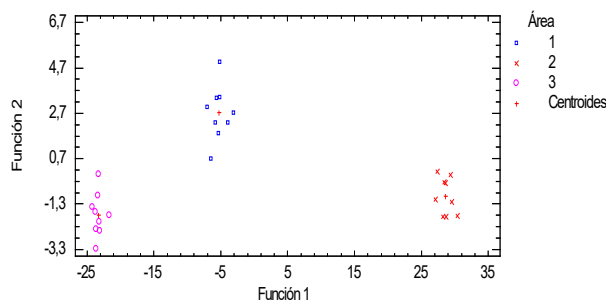


Figura 4. Representación gráfica del análisis discriminante para los nutrientes.

Al analizar el comportamiento del Área 2, es posible determinar la influencia que tienen las variables sobre los nitratos, la cual es baja en los nitritos, observando una disminución en esta última, cuando la primera aumenta. Esto también se muestra en el Área 3, donde las variables estudiadas expresan baja influencia para realizar la discriminación; así, cuando la Función 1 disminuye, la Función 2 también disminuye.

Al realizar este mismo análisis multivariado con respecto a nitritos y nitratos, las Áreas 1 y 2, correspondientes a los cultivos, presentan una mejor discriminación que las demás variables (fosfatos y fósforo total), mientras que en el Área 3, donde no se presenta intervención acuícola, los valores de nitratos presentan un comportamiento directamente proporcional al de los nitritos, con una tendencia a disminuir en las dos funciones.

CONCLUSIONES

Existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las áreas y profundidades de muestreo, con respecto a los parámetros fisicoquímicos; lo que determinó que la actividad acuícola de las áreas estudiadas genera cambios ambientales negativos en la zona donde se desarrolla.

Los nitritos, nitratos, fosfatos y fósforo total, presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre áreas pero no entre profundidades, incrementando sus valores en las Áreas 1 y 2 pertenecientes a las jaulas de cultivo; esto demuestra que existe una mayor contaminación debido principalmente al alimento suministrado a los peces, los productos metabólicos de los mismos y el alimento no consumido.

El análisis discriminante permite establecer que las variables mayormente afectadas por los procesos acuícolas son el pH, el oxígeno disuelto, los nitritos y nitratos, que reciben los efectos de las áreas con mayor actividad.

Los resultados obtenidos permiten visualizar la existencia de impactos ambientales ocasionados por la acuicultura intensiva en jaulas flotantes sobre el cuerpo de agua receptor; sin embargo, en los niveles actuales, esta actividad no desborda los parámetros para los lagos de altura, siendo necesario más estudios que permitan determinar la intensidad de cultivo que puede soportar el Lago.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). El estado mundial de la acuicultura y pesca: Oportunidades y desafíos. Roma; 2014. 274 p.
- [2] Buschmann AH. Impacto ambiental de la acuicultura: el estado de la investigación en Chile y el mundo. Osorno: Publicaciones Terram; 2001.
- [3] Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). La pesca y la acuicultura en Colombia. Bogotá: AUNAP; 2014. 26 p.
- [4] Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). Consolidación del censo pesquero en Pasto. Edición No. 4. Cali; AUNAP; 2013.
- [5] Corporación Autónoma regional de Nariño (CORPONARIÑO). Capacidad de carga del Lago Guamués 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.
- [6] Fondo de Promoción Turística de Colombia. Pasto [Colombia]: Plan de Desarrollo Turístico de Nariño; 2013. 299 p.
- [7] 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.
- [8] López JN, Salas J, Gómez VY, Sanguino WR. Diagnóstico del estado de trofización y estudio de la variabilidad de los parámetros limnológicos y su interrelación con la producción de trucha arcoíris en jaulas flotantes en el Lago Guamués. Pasto [Colombia]: Corponariño - Universidad de Nariño; 2008. 156 p.
- [9] Roldan G, Ramírez J. Fundamentos de limnología neotropical. Segunda edición. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia; 2008.
- [10] Ramírez A. Tratamiento y reúso de las aguas del canal Tibanica para el riego de cultivos mediante un sistema de lagunas. [Tesis de maestría]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2007.
- [11] Duran Z. Evaluación del desempeño de un conjunto de lagunas para el tratamiento de las aguas de riego provenientes del canal Tibanica. [Tesis de maestría]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2007.
- [12] Mariano M, Huaman P, Mayta E, Montoya H, Chanco M. Contaminación producida por piscicultura en lagunas Andinas de Junín, Perú. Rev Perú biol. 2010; 17 (1): 137-140.
- [13] Arboleda D. Limnología aplicada a la acuicultura. Redvet. 2006; 7 (11): 1-24.
- [14] Rojas CH. Análisis fisicoquímico del agua en métodos normalizados. Cali: Universidad del Valle, Programa Nacional de Calidad de aguas; 1998. 117 p.
- [15] Espinosa T, Paz CA. Determination of water quality index (WQI) of Moron river and Patanemo river of Carabobo state in Venezuela. Journal of Engineering. 2016; 23 (2): 204-205.
- [16] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). Pasto [Colombia]: Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO), Plan de Manejo Ambiental Integral Humedal Ramsar Laguna de La Cocha; 2011. 256 p.
- [17] Roldán G. Fundamentos de limnología tropical. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia; 1991.
- [18] Roberts J, Davies P, Fixter D. Symbiotic anemones can grow when starved: nitrogen budget for *Anemonia viridis* in ammonium supplemented seawater. Marine Biology. 1999; 133: 29-35.
- [19] 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.