






**Acuicultura y pesca**

Artículo de investigación científica y tecnológica

# Efecto de cultivos piscícolas en los sedimentos y la proliferación de comunidades bacterianas nitrificantes en el lago Guamuez, Colombia

---

 Elizabeth Burbano-Gallardo<sup>1\*</sup>,  Guillermo Duque-Nivia<sup>1</sup>,

 Marco Imues-Figueroa<sup>2</sup>,  Edgar Gonzalez-Legarda<sup>1</sup>,  Mario Delgado-Gómez<sup>2</sup>

 Jonny Pantoja-Díaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. Palmira, Colombia.

<sup>2</sup>Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.

\*Autor de correspondencia: Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira.  
Carrera 32 # 12 - 00, Palmira. Valle del Cauca, Colombia. [eburbanog@unal.edu.co](mailto:eburbanog@unal.edu.co)

Recibido: 26 de septiembre de 2019

Aprobado: 06 de noviembre de 2020

Publicado: 20 de mayo de 2021

*Para citar este artículo:* Burbano-Gallardo, E., Duque-Nivia, G., Imues-Figueroa, M., Gonzalez-Legarda, E., Delgado-Gómez, M., & Pantoja-Díaz, J. (2021). Efecto de cultivos piscícolas en los sedimentos y la proliferación de comunidades bacterianas nitrificantes en el lago Guamuez, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(2), e1581. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol22\\_num2\\_art:1581](https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num2_art:1581)



## Resumen

La piscicultura altera los sedimentos y la microbiota en cuerpos de agua debido a los residuos de concentrados, sustancias químicas y desechos provenientes del metabolismo de los animales en producción. El presente estudio determinó el efecto de la producción extensiva, semiintensiva e intensiva de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en los sedimentos y la proliferación de comunidades bacterianas nitrificantes. Se analizó nitrógeno total, fósforo total, carbono orgánico total y materia orgánica, y su relación con la presencia de bacterias nitrificantes (bacterias oxidantes de amonio [BOA] y bacterias oxidantes de nitritos [BON]) en el sedimento del lago Guamuez, ubicado en el departamento de Nariño, Colombia. Los datos recolectados fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y de correlación múltiple, usando el *software* Statgraphics Centurion XV. Las variables evaluadas presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tres sistemas de cultivo y el punto control. Se encontró una correlación alta y positiva entre las bacterias nitrificantes y los compuestos nitrogenados, la materia orgánica y el fósforo medidos en el sedimento. Se concluyó que la presencia de bacterias nitrificantes depende de las cantidades de compuestos nitrogenados y materia orgánica existentes en el sedimento e incrementa a medida que se intensifica el sistema productivo.

**Palabras clave:** bacterias nitrificantes, compuestos nitrogenados, *Oncorhynchus mykiss*, piscicultura, sedimentos

## Effect of fish farming on sediments and the proliferation of nitrifying bacterial communities in Lake Guamuez, Colombia

### Abstract

Fish farming modifies the sediments and the microbiota in water bodies due to supplementary feed residues, chemical substances, and wastes from the metabolism of animals under production. The current study determined the effect of extensive, semi-intensive, and intensive production of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in sediments, and the proliferation of nitrifying bacterial communities. Total nitrogen, total phosphorus, total organic carbon, and organic matter, and their relationship with nitrifying bacteria (ammonia-oxidizing bacteria-AOB and nitrite-oxidizing bacteria-NOB) were analyzed in the sediment of Lake Guamuez, located in the department of Nariño, Colombia. The data collected were subjected to analyses of variance (ANOVA) and multiple correlation using the Statgraphics Centurion XV software. The variables evaluated showed significant differences ( $p < 0.05$ ) between the three fish farming systems and the control point. A high and positive correlation was found between nitrifying bacteria and nitrogen compounds, organic matter, and phosphorous in the sediment. This study concluded that the presence of nitrifying bacteria depends on the amount of existing nitrogen compounds and organic matter in the sediment, and increases as the production system intensifies.

**Keywords:** nitrifying bacteria, nitrogenous compounds, *Oncorhynchus mykiss*, pisciculture, sediments

## Introducción

Gran parte de la biodiversidad ecosistémica depende del funcionamiento de los sistemas lacustres (Esquivel, 2014). Sin embargo, los lagos sufren una continua contaminación que afecta su fragilidad debido a la disposición de diferentes elementos orgánicos e inorgánicos provenientes de actividades alóctonas en las cuencas (Margalef, 1983; Reques, 2005). Al sur de Colombia, en el departamento de Nariño, se ubica el lago Guamuez (o laguna de La Cocha), cuyo origen glaciar resalta su importancia hídrica y ecológica y lo clasifica en la categoría de humedales de importancia internacional según la Convención de Ramsar (Merino et al., 2013). A pesar de ser un ecosistema estratégico y protegido por las autoridades locales, presenta niveles de contaminación por factores antropogénicos como los cultivos de trucha arcoíris; la recepción de aguas residuales, domésticas y agrícolas; la explotación de carbón ilegal; la deforestación; los cultivos agropecuarios, y el derrame del combustible de embarcaciones utilizadas para el turismo (López & Madroño, 2015).

La producción de trucha arcoíris en el lago Guamuez inició en 1980, cuando se adoptó el sistema de crianza en jaulas flotantes y se desarrollaron los sistemas productivos extensivos, semiintensivos e intensivos. La producción estimada de esta actividad es de 2.585 t/año (Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca, 2013) y su crecimiento es de importancia para la región. Sin embargo, son escasas las investigaciones acerca de los efectos negativos que puede tener la piscicultura en este ambiente lacustre.

La piscicultura aporta distintos agentes contaminantes que provienen del alimento no consumido, de las heces y desechos metabólicos de los peces, y de diferentes sustancias químicas y farmacéuticas utilizadas para el tratamiento de enfermedades, la limpieza y la desinfección de instalaciones. Estos contaminantes ocasionan un aporte excesivo de nutrientes, incluyendo el nitrógeno, en el agua y en los sedimentos (Wang et al., 2012). El nitrógeno que llega a los organismos acuáticos en forma de amonio, nitrato y nitritos es asimilado por bacterias nitrificantes, cuya abundancia se ha utilizado como indicador de la calidad del agua. Si se presentan las condiciones idóneas de oxígeno, pH y temperatura, estas bacterias realizan el proceso de nitrificación en dichos ecosistemas (Infante, 2005).

Las variables físicas y químicas son indicadores de la calidad del agua que pueden ser alterados debido a la descomposición de los productos resultantes de los insumos y las materias primas que promueven la proliferación de bacterias, cuya fuente de alimento es la materia orgánica. Este proceso afecta la interacción química, física y estructural de la relación agua-sedimento en los ecosistemas acuáticos (Brown et al., 1987; Tsutsumi & Kikuchi, 1983). Por consiguiente, el exceso de compuestos nitrogenados en el ambiente podría inhibir la fijación de nitrógeno por las comunidades bacterianas, lo que ocasionaría un cambio en su abundancia, estructura, biomasa y densidad, además de conllevar problemas ambientales adversos como la acidificación y la eutrofización de los cuerpos de agua (Olsen et al., 2014).

Cornel y Whoriskey (1993) y Buschmann (2001) reportaron casos de eutrofización en cultivos de salmónidos de sistemas intensivos de jaulas flotantes, que generaron no solo la liquidación de las empresas, sino también graves problemas ambientales. Hasta el momento, este no ha sido el caso del lago Guamuez.

Este estudio tuvo como objetivo analizar los efectos ambientales que los niveles de producción extensiva (300 t/año), semiintensiva (120 t/año) e intensiva (21 t/año) de tres empresas productoras de trucha arcoíris en jaulas flotantes ocasionan sobre la presencia de comunidades bacterianas nitrificantes que realizan la oxidación de amonio y nitritos, y su relación con los compuestos nitrogenados presentes en el sedimento del lago Guamuez. La importancia de esta investigación radica en el manejo que hacen los productores y la aplicación de las buenas prácticas de producción acuícola. No realizar procedimientos adecuados en la producción de trucha arcoíris en jaulas flotantes puede ocasionar la acumulación de compuestos nitrogenados que causan zonas anóxicas en el sedimento, problemas de eutrofización y mala calidad del agua.

## Materiales y métodos

### Ubicación

El lago Guamuez está ubicado en el departamento de Nariño, sur de Colombia, en las coordenadas 00°53'28" y 01°20'36" latitud norte, y 76°50'50" y 77°14'17" longitud oeste. Cuenta con una superficie de 41,62 km<sup>2</sup>, un volumen de 1.668.567.000 m<sup>3</sup> y una profundidad media de 40,57 m. Además, tiene una capacidad de carga de 930 t/año y una retención hidráulica de 6,8 años, por lo que es catalogado como oligotrófico (Corporación Autónoma Regional de Nariño, 2014).

### Recolección y análisis de sedimentos en las estaciones de cultivo

Las muestras de sedimento se recolectaron durante la temporada de lluvias bajas con una draga Eckman de 250 cm<sup>3</sup>. Se tomaron tres muestras de sedimentos por cada nivel productivo piscícola: extensivo (21 t/año), semiintensivo (120 t/año) e intensivo (300 t/año), a una profundidad promedio de 20 m. Adicionalmente, se recolectaron muestras en una zona donde no existía intervención piscícola, denominada en el estudio como punto control.

El sedimento recolectado se depositó en bolsas con cierre hermético, se cubrió con papel aluminio y se conservó en refrigeración hasta realizar su análisis en laboratorio, de acuerdo con la norma NTC-ISO/IEC 17025 del 2005. En cada muestra se determinó materia orgánica (fórmula matemática), nitrógeno total (ISO 11261 de 1995), fósforo total (ignición de Andersen [1979], SM-4500-P-E) y carbono orgánico total (ISO 14235 de 1998). Posteriormente, para determinar el recuento de bacterias oxidantes de amonio (BOA) y de bacterias oxidantes de nitritos (BON), se tomaron 10 g de cada muestra de sedimento, se les adicionaron 90 mL de solución salina fisiológica y se homogeneizaron en un agitador vórtex por cinco minutos.

A continuación, se utilizó el método de dilución seriada, que consiste en realizar diluciones decimales de las muestras homogeneizadas anteriormente en condiciones estériles. Después, se realizó el cultivo bacteriano en placa de Petri, utilizando agar o medios de cultivo selectivos y diferenciales para bacterias reductoras de amonio —cloruro cálcico (CaCl<sub>2</sub>): 7 mg; cloruro de hierro (FeCl<sub>2</sub>): 1 mg; cloruro de

potasio (KCl): 7 mg; fosfato monopotásico (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>): 11 mg; sulfato de magnesio (MgSO<sub>4</sub>): 5 mg; fosfato de disodio (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>): 29 mg; bicarbonato de sodio (NaHCO<sub>3</sub>): 6.000 mg; cloruro de amonio (NH<sub>4</sub>Cl): 500 mg; agua destilada: 1.000 ml, y agar: 15 g— y nitritos —nitrito de sodio (NaNO<sub>2</sub>): 1 g; carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>): 1 g; solución salina estándar 0,85 %: 50 ml; agua destilada: 950 ml, y agar: 15 g—. Los cultivos bacterianos se incubaron por 24 horas y, finalmente, se realizó el conteo de unidades formadoras de colonia. Este procedimiento se estableció bajo los lineamientos estandarizados de los métodos analíticos para suelos (Motta et al., 1990).

### **Análisis estadísticos**

Dado que los datos recolectados de bacterias nitrificantes no cumplieron con el supuesto estadístico de normalidad (test de Shapiro-Wilk = 0,0001;  $p \leq 0,05$ ), se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis, un método no paramétrico para probar la existencia de diferencias significativas ( $\alpha = 0,05$ ) y las varianzas de las muestras. Posteriormente, se aplicó la prueba t de Student para comparar las medias de las proporciones BOA/BON y determinar si existían diferencias significativas.

Los datos de nutrientes medidos en los sedimentos cumplieron con todos los supuestos estadísticos, lo que permitió aplicar un análisis de varianzas (ANOVA), prueba paramétrica para comparar y demostrar la presencia de diferencias significativas ( $\alpha = 0,05$ ) entre las zonas estudiadas. Al finalizar, mediante el coeficiente de correlación de Pearson se realizó un análisis multivariado para observar la correlación entre las diferentes variables evaluadas y determinar las relaciones de asociación entre el contenido de nutrientes y las poblaciones bacterianas de BOA y BON. El *software* estadístico utilizado para el análisis fue Statgraphics Centurion XV.

## **Resultados y discusión**

### **Contenido de nutrientes en los sedimentos según la intensidad de producción**

El ANOVA demostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para la materia orgánica, el fósforo total, el nitrógeno total y el carbono orgánico medidos en los sedimentos de las zonas con jaulas de peces y el punto control (tabla 1). Las zonas con cultivos piscícolas presentan valores más elevados en comparación con el punto control y el valor de las variables incrementa en las zonas cuyas producciones se intensifican. Como era de esperar, se evidenció que los procesos piscícolas en las áreas de cultivo generan contaminación en las zonas bentónicas del lago. Por el contrario, los valores presentados en el punto control son los más favorables para las condiciones naturales del fondo del lago.

**Tabla 1.** Valores (media  $\pm$  desviación estándar) de nutrientes del sedimento medidos en las cuatro zonas de muestreo

Parámetro	Nitrógeno total mg N/kg	Fósforo total mg P/kg	Carbono orgánico total mg/kg	Materia orgánica (%)
Zona 1 (cultivo extensivo)	7.622,12 $\pm$ 37,32 <sup>c</sup>	171,61 $\pm$ 6 <sup>c</sup>	29.293,42 $\pm$ 492 <sup>c</sup>	5,05 $\pm$ 0,09 <sup>b</sup>
Zona 2 (cultivo semiintensivo)	9.532,44 $\pm$ 314,16 <sup>b</sup>	246,57 $\pm$ 21 <sup>b</sup>	32.577,98 $\pm$ 226 <sup>b</sup>	5,65 $\pm$ 0,09 <sup>a</sup>
Zona 3 (cultivo intensivo)	11.506,40 $\pm$ 148,69 <sup>a</sup>	1.030,02 $\pm$ 39,54 <sup>a</sup>	33.433,33 $\pm$ 131,48 <sup>a</sup>	5,78 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>
Zona 4 (control)	6.598,72 $\pm$ 248,23 <sup>d</sup>	155,49 $\pm$ 2 <sup>c</sup>	27.953,28 $\pm$ 753 <sup>d</sup>	4,72 $\pm$ 0,17 <sup>c</sup>

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, prueba Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fuente: Elaboración propia

Estudios anteriores demostraron la degradación del medio acuático causada por la crianza de truchas en jaulas flotantes al reportar valores de nitrógeno superiores a 12.030 mg/kg en el sedimento (Temminck & Schlegel, 1843, citado por Molina & Vergara, 2004). Así mismo, se han reportado cantidades de fósforo total de 950,62 mg/kg en la laguna de Los Patos (estado de Sucre, Venezuela) asociadas con aguas residuales domésticas (Márquez et al., 2007).

Los valores de nitrógeno (11.506,40 mg N/kg) en la zona de cultivo intensivo son cercanos a los reportados en la literatura y los valores de fósforo total (1.030,02 mg P/kg) demuestran el impacto negativo sobre la interacción agua-sedimento del lago, ya que ambos resultan del aporte de fósforo y nitrógeno proveniente de los procesos fisiológicos de los peces (excreción, respiración), el exceso de concentrado comercial suministrado y otros procesos del cultivo (González, 2012) que pueden deteriorar progresivamente el lago.

Los nutrientes limitantes del ecosistema como el nitrógeno y el fósforo son esenciales para el desarrollo y funcionamiento de los organismos. Sin embargo, las actividades productivas acuícolas han alterado el comportamiento de estos elementos, han modificado el equilibrio de los sistemas acuáticos lénticos, han alterado las comunidades bacterianas nitrificantes y han generado enfermedades en los animales cultivados (Diemer et al., 2010). No obstante, estos compuestos pueden ser asimilados por el fitoplancton presente en los cuerpos lacustres, donde a medida que aumenta el nitrógeno y el fósforo, incrementa también el crecimiento de algas, lo que puede generar problemas de eutrofización (Ramírez et al., 2012).

De igual forma, los compuestos nitrogenados y, sobre todo, los fosfatados pueden ser asimilados y convertidos a niveles de clorofila presentes en las algas y en la vegetación acuática. López y Madroño (2015) evaluaron los niveles de clorofila A en relación con los niveles de nitrógeno y fósforo en diferentes zonas del lago Guamuez. El mayor valor encontrado (2,58  $\mu$ g/L) corresponde a la zona de producción de truchas en jaulas de cultivo pertenecientes a la Universidad de Nariño. De forma similar, López et al.

(2008) reportaron concentraciones de clorofila A de 2,47 y 7,3  $\mu\text{g/L}$  en diferentes zonas de estaciones piscícolas; los mayores valores se registraron en cultivos de mayor intensidad.

Estas alteraciones de compuestos fosfatados y nitrogenados pueden ser controladas mediante un manejo adecuado de las variables productivas, la aplicación de buenas prácticas acuícolas, la limpieza y desinfección de las unidades de cultivo y un uso moderado de productos para desinfección como los detergentes (González-Legarda et al., 2018).

Con respecto al carbono orgánico total (COT), se obtuvieron valores de  $33.433 \pm 144,86$  mg/kg en el cultivo intensivo,  $32.578 \pm 144,86$  mg/kg en el semiintensivo y  $29.293 \pm 144,86$  mg/kg en el extensivo. El menor valor se presentó en el punto control con  $27.953 \pm 144,86$  mg/kg. Se puede observar que estas cantidades aumentan según la intensidad del cultivo.

En las zonas de mayor producción de truchas se utiliza una mayor cantidad de alimento comercial —lo que refleja mayores valores de COT— y de biomasa de animales en cosecha (Yuvanatemiyá & Boyd, 2006). De esta forma, el carbono asimilado por los peces y posteriormente excretado como desecho metabólico ocasiona efectos importantes en la calidad del agua y los sedimentos. Es de suma importancia el manejo adecuado y asertivo de tablas de alimentación en las grandes empresas que las utilizan y su implementación en los cultivos extensivos, que, en general, no se manejan en el lago Guamuez.

Avnimelech y Ritvo (2003) informaron que solo un 13 % del carbono presente en el alimento comercial es asimilado por los peces cultivados; el 87 % restante es descargado al medio natural o acumulado en los sedimentos (Boyd & Green, 1998). En sistemas lénticos donde se implementan cultivos dulceacuícolas, el mayor aportante de compuestos carbonados alóctonos es el alimento concentrado, el cual aporta también mayores cantidades de lípidos, proteínas y carbohidratos (Vásquez, 2004). Todos estos elementos afectan la capacidad de carga de los lagos y las lagunas, lo que conlleva la acumulación de compuestos orgánicos y la degradación del agua y el sedimento en los sistemas acuáticos (Wang et al., 2016).

Uno de los mayores problemas ambientales generados por la acuicultura es la acumulación de materia orgánica (MO) (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2007). Como demuestran los resultados, las zonas 2 y 3, correspondientes a los cultivos semiintensivos e intensivos, presentan los mayores valores de MO, a diferencia de la zona 1 y el punto control, cuyos valores son menores (tabla 1).

En la laguna de Tota —ubicada en Boyacá (Colombia)—, que tiene características climáticas y morfológicas similares al lago Guamuez, Torres Barrera y Grandas Rincón (2017) reportaron valores de MO en sedimentos entre 13-16 % y una proyección de desechos de nitrógeno y fósforo aportados al lago en los últimos 10 años de 5.000 t. Esto se debe a que el reciclado de la MO en los sedimentos produce hipoxia y anoxia, que disminuyen la diversidad de especies bentónicas, incluidas las comunidades bacterianas donde predominan las más tolerantes. Por otra parte, los valores encontrados en este estudio no sobrepasan el 5,78 % en los sistemas intensivos y el 4,72 % en el punto control, por lo que resultan



mucho menores a los reportados en la laguna de Tota y se encuentran dentro de los rangos característicos de lagos de alta montaña catalogados como oligotróficos.

El valor más alto de MO reportado en este estudio se presentó en los sistemas intensivos (5,78 %). Sin embargo, este valor se encuentra entre los rangos aceptables en aguas naturales, por lo que hasta el momento no representa un peligro para la calidad del sedimento del lago. Así lo confirman González-Legarda et al. (2018), quienes aseguran que los valores de MO y de carbonatos mayores a 10 % y 5 %, respectivamente, corresponden a lagos con sedimentos orgánicos del tipo Gytija, mientras los valores menores a estos corresponden a lagos con sedimentos minerales.

No obstante, el estado de eutrofización y acumulación de nutrientes en los sistemas acuáticos lénticos receptores de procesos acuícolas puede variar con facilidad, perturbar así la ecología del lago y causar efectos negativos en la economía del productor cuyos ingresos dependen de forma directa de los recursos que proveen estos sistemas lacustres (Márquez et al., 2007). El lago Guamuez alberga alrededor de 94 productores, quienes, según el último censo de la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (2013) y la Corporación Autónoma Regional de Nariño (2014), tienen un estimado de 912 jaulas flotantes dedicadas a la producción de trucha arcoíris (545 produciendo), las cuales ocupan el 0,49 % del área total del lago.

### **Proliferación de bacterias nitrificantes en los sedimentos según intensidad de cultivo**

Los resultados presentan una relación positiva entre las unidades formadoras de colonia (UFC) de bacterias nitrificantes y la intensidad productiva, que es mayor en la zona 3 (cultivo intensivo) con  $417,8 \times 10^1 \pm 18,1$  UFC/g de BOA y  $293,9 \times 10^3 \pm 20,5$  UFC/g de BON. Esta relación disminuyó en las zonas 1 (cultivo extensivo) y 2 (cultivo semiintensivo), y registró la menor concentración en el punto control (tabla 2).

**Tabla 2.** Cantidad de UFC de bacterias nitrificantes en sedimentos del lago Guamuez (promedio  $\pm$  desviación estándar)

<b>Bacterias nitrificantes</b>	<b>BOA (UFC/g)</b>	<b>BON (UFC/g)</b>
Zona 1 (cultivo extensivo)	$33,0 \times 10^1 \pm 6,8$	$109,3 \times 10^3 \pm 16,8$
Zona 2 (cultivo semiintensivo)	$128,4 \times 10^1 \pm 6,3$	$228,8 \times 10^3 \pm 17,3$
Zona 3 (cultivo intensivo)	$417,8 \times 10^1 \pm 18,1$	$293,9 \times 10^3 \pm 20,5$
Zona 4 (control)	$30,0 \times 10^1 \pm 13,1$	$58,9 \times 10^3 \pm 17,6$

Fuente: Elaboración propia

Por ser un lago oligotrófico, el Guamuez presenta niveles óptimos de oxígeno mayores de 7 mg/L, con una temperatura promedio de 13 °C y un porcentaje de saturación de 140,24, condiciones favorables que permiten el desarrollo de bacterias nitrificantes. Másmela-Mendoza et al. (2019) informaron que los lagos de alta montaña presentan mayor cantidad de bacterias nitrificantes respecto a otros ecosistemas

acuáticos, según pH alcalinos y altas concentraciones de oxígeno, características del agua propias de este lago (González-Legarda et al., 2018).

El lago Guamuez presenta condiciones físicas y químicas en la interfase agua-sedimento favorables para el crecimiento de bacterias nitrificantes, que se demuestran en los resultados obtenidos en el punto control. No obstante, procesos antrópicos como la producción de truchas incrementan de forma significativa la presencia de MO y compuestos nitrogenados y fosfatados, los cuales dificultan el proceso de biodegradación por no tener un control ambiental (Morata et al., 2012).

Según los resultados del presente estudio, esta clase de bacterias aún poseen la capacidad de preservar las condiciones naturales de este sistema hídrico. Sin embargo, es fundamental implementar un manejo adecuado de las sustancias orgánicas e inorgánicas que se vierten a este cuerpo de agua, pues las bacterias nitrificantes presentan una alta susceptibilidad a diversos compuestos tóxicos que frenan su crecimiento. En el peor de los casos, estas colonias bacterianas pueden llegar a disminuir significativamente y generar así procesos de eutrofización (González et al., 2010).

Por otra parte, se encontraron diferencias significativas entre las zonas estudiadas mediante el cálculo de proporciones BOA/BON; se identificaron menores valores de proporción para BOA y mayores valores para BON (tabla 3).

**Tabla 3.** Relación entre bacterias oxidantes de amonio (BOA) y bacterias oxidantes de nitritos (BON) (media  $\pm$  desviación estándar)

Proporción de bacterias	BOA/BON (%)
Zona 1 (cultivo extensivo)	0,31 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup>
Zona 2 (cultivo semiintensivo)	0,56 $\pm$ 0,04 <sup>b</sup>
Zona 3 (cultivo intensivo)	1,43 $\pm$ 0,62 <sup>c</sup>
Zona 4 (punto control)	0,56 $\pm$ 0,22 <sup>b</sup>

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, prueba Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fuente: Elaboración propia

Esto se debe posiblemente a que, en ecosistemas de mayores altitudes, la proporción de bacterias BOA es inhibida por algún parámetro que no cumple con las condiciones ambientales para su crecimiento, como presencia de metales pesados, alteración en el pH, temperatura o concentraciones de compuestos nitrogenados (Ye & Thomas, 2001).

En la laguna de Tota se encontró esta misma relación entre BOA y BON. Briceño et al. (2009) hallaron que los mayores aportantes de compuestos nitrogenados provenían de los cultivos de cebolla en temporada de lluvias por la escorrentía del suelo, y afectaban el número de bacterias nitrificantes y la eliminación de nitratos del agua en el lago. Esta misma situación puede presentarse en el lago Guamuez debido al aporte constante del nitrógeno y el fósforo procedentes de los cultivos piscícolas y producidos

por el alimento concentrado no consumido y los procesos metabólicos. Otras actividades agropecuarias alrededor del lago también afectan el ritmo de crecimiento de las poblaciones bacterianas.

En las zonas de cultivo semiintensivo y punto control se encontraron porcentajes de BOA/BON iguales del 0,56 %, por lo que no se identificaron diferencias significativas. Lo anterior puede deberse a que estos grupos bacterianos encontraron la misma capacidad de adaptación a las condiciones ambientales de las zonas evaluadas (Infante, 2005). Así, lograron adquirir el mismo ritmo de crecimiento, pero a diferentes UFC. El valor del cultivo semiintensivo fue mayor que el del punto control.

Por otro lado, al comparar las proporciones BOA/BON en las zonas evaluadas, se encontró que el cultivo intensivo presentó el valor más alto de proporción con un 1,43 % para BOA y un 98,57 % para BON. Esto puede deberse a que la cantidad disponible de nutrientes inhibe la síntesis celular o incrementa el crecimiento bacteriano (Zhou et al., 2017). Además, en esta zona de cultivo intensivo se encontraron los mayores valores de contenido de carbono orgánico total, nitrógeno total, fósforo total y MO. De esta forma, se puede afirmar que existe una relación positiva del crecimiento de las BOA y las BON con las concentraciones de dichas variables.

#### **Análisis de correlación múltiple entre la proliferación de BOA/BON y las variables medidas en el sedimento**

Esta investigación presenta la correlación de las UFC de BON y de BOA con las variables fisicoquímicas medidas en los sedimentos, teniendo en cuenta que la interacción de nutrientes en la interfase agua-sedimento es de gran importancia para el comportamiento del ciclo del nitrógeno en cuerpos de agua natural. Como se muestra en la tabla 4, existe una alta correlación positiva de las BOA y BON con el carbono orgánico, la MO, el fósforo total y el nitrógeno total presentes en los sedimentos. A mayor cantidad de compuestos con nitrógeno, fósforo y MO, mayor cantidad de colonias de bacterias nitrificantes.

**Tabla 4.** Correlación entre BOA/BON y parámetros del sedimento del lago Guamuez

	<b>Nitrógeno total mg N/kg</b>	<b>Fósforo total mg P/kg</b>	<b>Carbono orgánico total mg/kg</b>	<b>Materia orgánica (%)</b>
<b>BOA</b>	0,8112	0,8801	0,7169	0,6801
<b>BON</b>	0,9741	0,7980	0,9616	0,9239

Fuente: Elaboración propia

Como se afirmó anteriormente, el alimento concentrado es el mayor aportante de nutrientes dada su composición: 51 % de fósforo, 78 % de nitrógeno y 40 % de carbono (Bueno et al., 2008). Sin embargo, el porcentaje de asimilación por los animales en cultivo oscila entre 25-45 % de nitrógeno, 20-30 % de fósforo y 10-15 % de carbono (Boyd & Tucker, 1998). Las cantidades sobrantes y no consumidas participan en el ciclo biogeoquímico del lago, donde cierta parte es retenida en el sedimento y la restante es metabolizada por las bacterias (Krebs, 2003).

La acumulación de nitrógeno, compuestos fosfatados y MO que provienen de los cultivos acuícolas intensifica la densidad de bacterias nitrificantes necesarias para la degradación y descomposición de estos compuestos, y disminuye el oxígeno disuelto disponible en el sistema lacustre (Arana, 2004). Por otro lado, si no se presentan variables fisicoquímicas ideales (temperatura, pH, oxígeno disuelto y sustancias tóxicas) para la proliferación de estas bacterias, la gran descarga de nutrientes puede ocasionar una relación inversa y causar la eutrofización de cualquier sistema acuático natural (Briceño et al., 2009).

## Conclusiones

Existen diferencias significativas entre las variables evaluadas en el sedimento en cuanto al aporte de materia orgánica, fósforo, nitrógeno y carbono orgánico, cuyos valores son mayores en las zonas de cultivos semiintensivo e intensivo. Lo anterior evidencia que los cultivos con mayor producción piscícola generan mayor contaminación en las zonas bentónicas del lago, debido al suministro de alimento comercial y a los procesos metabólicos de los peces.

Se determinó que existe una correlación alta positiva de las bacterias nitrificantes evaluadas con los compuestos nitrogenados y la MO medidos en el sedimento, lo cual evidencia que dichos microorganismos aumentan su actividad y ritmo de crecimiento para descomponer estos derivados de la piscicultura.

Según los resultados obtenidos en el punto control, el sedimento del lago Guamuez presenta características adecuadas para el crecimiento de grupos bacterianos nitrificantes. Sin embargo, la piscicultura puede ocasionar alteraciones ambientales y biológicas si no se realiza bajo un manejo adecuado de los procesos productivos aportantes de compuestos nitrogenados.

## Agradecimientos

A Dios, por ser el guía y el forjador de enseñanzas en el camino del aprendizaje académico; a todos los autores que hicieron parte de esta investigación, y a la revista *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, por la oportunidad de compartir los resultados de este trabajo.

## Descargos de responsabilidad

Todos los autores realizaron aportes significativos al documento, están de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

## Referencias

Arana, L. (2004). *Princípios químicos da qualidade de água em aquíicultura: uma revisão para peixes e camarões* (2nd ed). Editora da UFSC.

- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. (2013). *Consolidación del censo pesquero en Pasto*. Edición n. ° 4.
- Avnimelech, Y., & Ritvo, G. (2003). Shrimp and fish pond soils: processes and management. *Aquaculture*, 220(1-4), 549-567. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00641-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00641-5)
- Boyd, C., & Green, B. (1998). Dry matter, ash, and elemental composition of pond-cultured tilapia *Oreochromis aureus* and *O. niloticus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 29(1), 125-128. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1998.tb00310.x>
- Boyd, C., & Tucker, C. (1998). *Pond aquaculture water quality management*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5407-3>
- Briceño, F., Camargo, M., & Lizarazo, F. (2009). Bacterias asociadas a la transformación del nitrógeno en la zona litoral del lago de Tota-Aquitania-Boyacá. *Suelos Ecuatoriales*, 39(1), 29-33. <https://bit.ly/37ae1E0>
- Brown, J., Gowen, R., & McLusky, D. (1987). The effect of salmon farming on the benthos of a Scottish sea loch. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 109(1), 39-51. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(87\)90184-5](https://doi.org/10.1016/0022-0981(87)90184-5)
- Bueno, G., Marengoni, N., Júnior, A., Boscolo, W., & Teixeira, R. (2008). Estado trófico e bioacumulação do fósforo total no cultivo de peixes em tanques-rede na área aquícola do reservatório de Itaipu. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 30(3), 237-243. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v30i3.519>
- Buschmann, A. (2001). *Impacto ambiental de la acuicultura. El estado de la investigación en Chile y el mundo*. Terram Publicaciones. <https://www.cetmar.org/DOCUMENTACION/dyp/ImpactoChileacuicultura.pdf>
- Cornel, G., & Whoriskey, F. (1993). The effects of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cage culture on the water quality, zooplankton, benthos and sediments of Lac du Passage, Quebec. *Aquaculture*, 109(2), 101-117. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90208-G](https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90208-G)
- Corporación Autónoma Regional de Nariño. (2014). *Capacidad de carga del lago Guamués o laguna de La Cocha del corregimiento del Encano, municipio de Pasto. Convenio interadministrativo de interés público N.º 132711*. Universidad Mariana; Universidad de Nariño; Corporación Autónoma Regional de Nariño.
- Diemer, O., Neu, D., Feiden, A., Lorenz, E., Bittencourt, F., & Boscolo, R. (2010). Dinâmica nictimeral e vertical das características limnológicas em ambiente de criação de peixes em tanques-rede. *Ciência Animal Brasileira*, 11(1), 24-31. <https://www.revistas.ufg.br/vet/article/view/6754>
- Esquivel, M. A. (Comp.). (2014). *La pesca y la acuicultura en Colombia*. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca.
- González, J. (2012). Uso y manejo de sedimentos provenientes de piscicultura como base para el manejo sostenible: revisión del tema. *Revista Ciencia Animal*, 5, 121-143.
- González, P., Quintans, P., Vizcaíno, M., Domínguez, R., González, J., Pérez, J., & García, R. (2010). Estudio de la inhibición del proceso de nitrificación como consecuencia de la acumulación de metales en el fango biológico de la EDAR de León y su alfoz. *Tecnología del Agua*, 30(322), 28-38.
- González-Legarda, E., Imués-Figueroa, M., Duque-Nivia, G., Burbano-Gallardo, E., & Guerrero-Romero, C. (2018). Efecto de la producción aquícola sobre las variables de calidad del agua del lago Guamuez. *Revista Investigación Pecuaría*, 5(1), 33-43. <https://doi.org/10.22267/revip.1851.4>
- Infante, G. (2005). *Diversidad de bacterias como indicadores de contaminación en el lago de Tota-Boyacá, Colombia* [Tesis de pregrado, Universidad de los Andes]. Séneca Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/1992/23285>

- Krebs, R. (2003). *Respiración del suelo como herramienta para evaluar calidad de fondos en acuicultura. I. Desarrollo de un protocolo estándar para medir dióxido de carbono* [Tesis de maestría, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Dspace en ESPOL. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/8666>
- López, M., & Madroñero, S. (2015). Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: caso laguna de La Cocha. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 21-42. <https://doi.org/10.18359/rcin.1430>
- López, J., Salas, J., Gómez, Y., Gómez, A., López, H., Ortega, A., & Guerrero, C. (2008). *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 Guamuez*.
- Margalef, R. (1983). *Limnología*. Ediciones Omega.
- Márquez, A., Senior, W., Martínez, G., & González, A. (2007). Concentraciones de nitrógeno y fósforo en sedimentos recientes en la laguna de los Patos. Estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 46(2), 137-145.
- Másmela-Mendoza, J., Lizarazo-Forero, L., & Aranguren Riaño, N. (2019). Bacterias nitrificantes cultivables de la zona limnética del lago de Tota, Boyacá. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1378>
- Merino, M., Bonilla, S., & Bages, F. (2013). *Diagnóstico del estado de la acuicultura en Colombia*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://www.aunap.gov.co/wp-content/uploads/2016/04/25-Diagn%C3%B3stico-del-estado-de-la-acuicultura-en-Colombia.pdf>
- Molina, L., & Vergara J. (2004). Aquaculture environmental impact assessment. En C. Brebbia, S. Kungolos, V. Popov & H. Itoh, *Waste management and the environment* (pp. 321-333). Witpress.
- Morata, T., Sospedra, J., Falco, S., & Rodilla, M. (2012) Exchange of nutrients and oxygen across the sediment-water interface below a *Sparus aurata* marine fish farm in the north-western Mediterranean Sea. *Journal of Soils and Sediments*, 12, 1623-1632. <https://doi.org/10.1007/s11368-012-0581-2>
- Motta, B., Rodríguez, C., Montenegro, H., Marulanda, J., Correa, A., & Bendeck, M. (1990). *Métodos analíticos del laboratorio de suelos* (5th ed). Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Olsen, L., Hernández, K., Van Ardelan, M., Iriarte, J., Sánchez, N., González, H., Tokle, N., & Olsen, Y. (2014). Responses in the microbial food web to increased rates of nutrient supply in a southern Chilean fjord: possible implications of cage aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, 6(1), 11-27. <http://hdl.handle.net/11250/2457652>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2007). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2006*. <http://www.fao.org/3/a-a0699s.pdf>.
- Ramírez, J., González, R., & Gutiérrez, F. (2012). Establecimiento del nutriente limitante con base en los cambios en la estructura del ensamblaje fitoplanctónico en un embalse tropical colombiano. *Caldasia*, 34(2), 421-441. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/39162>
- Reques, R. (2005). *Conservación de la biodiversidad en los humedales de Andalucía* (2nd ed.). Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. <https://bit.ly/39FXINP>
- Torres Barrera, N., & Grandas Rincón, I. (2017). Estimación de los desperdicios generados por la producción de trucha arcoíris en el lago de Tota, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(2), 247-255. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol18\\_num2\\_art:631](https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2_art:631)

- Tsutsumi, H., & Kikuchi, T. (1983). Benthic ecology of a small cove with essential oxygen depletion caused by organic pollution. *Publications from the Amakusa Marine Biological Laboratory, Kyushu University*, 7, 17-40.
- Vásquez, W. (2004). *Principios de nutrición aplicada al cultivo de peces*. Universidad de los Llanos.
- Wang, X., Olsen, L., Reitan, K., & Olsen, Y. (2012). Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquacult Environment Interactions*, 2, 267-283. <https://doi.org/10.3354/aei00044>
- Wang, Q., Li, Z., Lian, Y., Du, X., Zhang, S., Yuan, J., Liu, J., & Silva, S. (2016). Farming system transformation yields significant reduction in nutrient loading: case study of Hongze Lake, Yangtze River Basin, China. *Aquaculture*, 457, 109-117. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.02.025>
- Ye, R., & Thomas, S. (2001). Microbial nitrogen cycles: physiology, genomics and applications. *Current Opinion in Microbiology*, 4(3), 307-312. [https://doi.org/10.1016/s1369-5274\(00\)00208-3](https://doi.org/10.1016/s1369-5274(00)00208-3)
- Yuvanatemiya, V., & Boyd, C. (2006). Physical and chemical changes in aquaculture pond bottom soil resulting from sediment removal. *Aquacultural Engineering*, 35(2), 199-205. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2006.02.001>
- Zhou, Z., Li, H., Song, C., Cao, X., & Zhou, Y. (2017). Prevalence of ammonia-oxidizing bacteria over ammonia-oxidizing archaea in sediments as related to nutrient loading in Chinese aquaculture ponds. *Journal of Soils and Sediment*, 17(2), 1928-1938. <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1651-2>