

Rev.MVZ Córdoba 23(Supl):7035-7047, 2018. ISSN: 0122-0268

DOI: [10.21897/rmvz.1429](https://doi.org/10.21897/rmvz.1429)

ORIGINAL

# Impacts of aquaculture on water nutrients and benthic macroinvertebrates of lake Guamuez

## Impactos de la acuicultura en los nutrientes del agua y macroinvertebrados bentónicos del lago Guamuez

Edgar González L<sup>1\*</sup>. M.Sc; Elizabeth Burbano G<sup>2</sup> Ing; Reynaldo Aparicio R<sup>2</sup> M.Sc;  
Guillermo Duque N<sup>2</sup> Ph.D; Marco Imuez F<sup>3</sup> M.Sc.

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera 32 N° 12-00 Barrio Chapinero Vía Candelaria, Palmira, Valle del Cauca, Colombia. <sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, Facultad de Ingeniería y Administración, Departamento de Ingeniería (Ingeniería Ambiental). <sup>3</sup>Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Calle 18 Carrera 50 Ciudadela Universitaria Torobajo, Pasto, Nariño. \* Correspondencia: [edagonzalezle@unal.edu.co](mailto:edagonzalezle@unal.edu.co)

Received: November 2017; Accepted: June 2018.

### ABSTRACT

**Objective.** To determine the level of environmental impact caused by an intensive aquaculture season of rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) in floating cage systems in water nutrients and benthic macroinvertebrates in Lake Guamuez. **Materials and methods.** The study was developed in three areas of Lake Guamuez (two floating cage facilities and one control point). Three sampling stations with depths of 0, 10 and 20 meters were taken in each area, in order to perform measurements of total phosphorus, nitrites, nitrates and phosphates. Also, dives were carried out to a depth of approximately 20 meters, collecting sediment samples for the identification of macroinvertebrates. The environmental impact was evaluated by the relationship of the mentioned variables, using discriminant analysis and analysis of variance, previous verification of the statistical assumptions. **Results.** The nitrite, nitrate, phosphate and total phosphorus nutrients present significant differences ( $p < 0.05$ ) among all areas and only at some sampling depths. In addition, seven families of macroinvertebrates (*Chironomidae*, *Thiaridae*, *Ampullariidae*, *Planariidae* and *Tubificidae* indicative of contaminated and moderately contaminated waters and *Hydrobiosidae* and *Hydrachnidae* indicating good water quality) were collected. **Conclusions.** In the culture cages unlike the control point, higher nutrient content values were evidenced; the families of macroinvertebrates indicating contaminated or moderately contaminated water were also found. However, the results found are not found in risk limits for the lacustrine system or for the animals of culture.

**Keywords:** Environmental impact; floating cages; intensive aquaculture; rainbow trout; sediments (*Sources: MeSH, FAO*).

### RESUMEN

**Objetivo.** Determinar el nivel de impacto ambiental ocasionado por una estación acuícola de producción intensiva de trucha arcoíris (*Onchorhynchus mykiss*), en sistemas de jaulas flotantes en los nutrientes del agua y macroinvertebrados bentónicos en el Lago Guamuez. **Materiales y métodos.** El estudio se desarrolló en tres áreas del Lago Guamuez (dos instalaciones de jaulas flotantes y un punto control). Dentro de las áreas se tomaron tres estaciones de muestreo con profundidades de 0, 10 y 20 metros, con el fin de realizar mediciones de fósforo total, nitritos, nitratos y fosfatos. Así mismo se realizaron inmersiones a una profundidad aproximada de 20 metros, recolectando muestras de sedimentos para la identificación de macroinvertebrados. El impacto ambiental se evaluó mediante la relación de las variables mencionadas, utilizando análisis discriminante y análisis de varianza, previo la verificación de los supuestos estadísticos. **Resultados.** Los nutrientes nitritos, nitratos, fosfatos y fósforo total,

presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre todas las áreas y solo en algunas profundidades de muestreo. Adicionalmente se recolectaron siete familias de macroinvertebrados, (*Chironomidae*, *Thiaridae*, *Ampullariidae*, *Planariidae* y *Tubificidae* indicadoras de aguas contaminadas y medianamente contaminadas e *Hydrobiosidae* e *Hydrachnidae* indicadoras de buena calidad de agua). **Conclusiones.** En las jaulas de cultivo a diferencia del punto control, se evidenciaron mayores valores en el contenido de nutrientes; de igual forma, se encontraron las familias de macroinvertebrados indicadoras de aguas contaminadas o medianamente contaminadas. Sin embargo, los resultados encontrados no se encuentran en límites de riesgo para el sistema lacustre ni para los animales de cultivo.

**Palabras clave:** Acuicultura intensiva; impacto ambiental; jaulas flotantes; sedimentos; trucha arcoíris (*Fuentes: DeCS, FAO*).

## INTRODUCTION

Aquaculture is the breeding of aquatic organisms such as fish, molluscs, crustaceans, among other species for cultivation purposes. In 2014, the total world production of fish (excluding aquatic plants) was 167.2 million tons, of which 93.4 million came from capture fisheries and 73.8 million from aquaculture, showing an exponential increase (1).

While it is true, the growth of this activity is positive and exponential with respect to trade, pollution and environmental impacts that this activity generates are also exponential due to the processes of consumption, transformation and generation of the final product, being reflected in aspects aesthetic, landscape, environmental, economic and social (2).

Aquaculture in Colombia has had growth similar to that of world growth, being on average 13% annually during the last 27 years, which position the country in sixth place in order of importance of aquaculture in Latin America. In spite of the existence of norms and laws that regulate the aquaculture activity, its production form is disorganized, with technical and environmental emptys, due to the lack of a clear and efficient policy that regulates the processes (3).

The department of Nariño has been occupying between the fourth and seventh place nationally in fish production mainly by the productions settled in Lake Guamuez Colombia's second largest body of natural water located on the eastern slope of the Los Pastos knot (4). This located in the sector of the Encano, of Pasto Municipality, cataloged within the category of wetlands of global importance Ramsar and presents approximately 822 floating cages installed for the production of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), of which 561 are in production between companies legal and non legal and 261 are out of operation.

The concern of the government and environmental entities focuses on how and how much this activity contaminates, and not on how to proceed to develop it in an environmentally sustainable manner. The use of large quantities of commercial

## INTRODUCCIÓN

La acuicultura es la cría de Organismos acuáticos como peces, moluscos, crustáceos, entre otras especies con fines de cultivo. En 2014, el total de la producción mundial de pescado (excluidas las plantas acuáticas) fue de 167.2 millones de toneladas, de los cuales 93.4 millones procedían de la pesca de captura y 73.8 millones de la acuicultura, presentando un incremento exponencial (1).

Si bien es cierto, el crecimiento de esta actividad es positivo y exponencial con respecto al comercio, la contaminación y los impactos ambientales que esta actividad genera también son exponenciales debido a los procesos de consumo, transformación y generación del producto final, siendo reflejados en aspectos estéticos, paisajísticos, ambientales, económicos y sociales (2).

La acuicultura en Colombia ha tenido un crecimiento similar al del crecimiento mundial, siendo en promedio el 13% anual durante los últimos 27 años, lo cual posiciona al país en el sexto lugar en orden de importancia de la acuicultura en América Latina. A pesar de existir normas y leyes que regulan esta actividad agropecuaria, su forma de producción es desordenada, con vacíos técnicos y ambientales ovacionados por falta de una política clara y eficiente que regule los procesos (3).

El departamento de Nariño ha venido ocupando entre el cuarto y el séptimo lugar a nivel nacional en producción piscícola principalmente por las producciones asentadas en el Lago Guamuez, segundo cuerpo de agua natural más grande de Colombia localizado en la vertiente oriental del nudo de Los Pastos (4). Este se encuentra ubicado en el Corregimiento del Encano Municipio de Pasto, catalogado dentro de la categoría de humedales de importancia mundial Ramsar y el cual presenta aproximadamente 822 jaulas flotantes instaladas para la producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), de las cuales 561 entre empresas legales e ilegales se encuentran en producción y 261 están fuera de funcionamiento.

La preocupación del gobierno y entidades ambientalistas se centra en cómo y cuánto esta actividad contamina, y no en cómo proceder para desarrollarla de manera ambientalmente

concentrate for the feeding of fish, their feces and other types of substances, cause important changes in areas that are under the influence of cages and aquaculture facilities; therefore, the present study evaluated the environmental impact caused by the intensive cultivation of rainbow trout in floating cages, under the analysis of nutrients and taxonomic identification of benthic macroinvertebrates.

## MATERIALS AND METHODS

**Study area.** The Lake Guamuez this located in the sector of the Encano, of Pasto Municipality, department of Nariño, geographically located between 1°06'00" North and 77°09'07" West, it has an altitude of 2800 meters above sea level, average temperature of 11°C, with a length of 25 km, surface of 41.5 km<sup>2</sup> of water mirror and an average depth of 75 meters (5).

**Sampling areas and stations.** the research study was developed in three areas of Lake Guamuez between the months of August 2016 to February 2017. The areas were selected depending on the location of the culture cages (area 1: cages for fingerlings, area 2: cages for lifting and fattening and area 3: control point). Within each area three sampling stations were taken (the two ends and half of the cages and three random points in the control area that was determined under geographical coordinates with the help of a GPS, for a total of nine sampling stations each with depths of 0, 10 and 20 meters.

**Nutrient analysis.** immersions were made with the help of a professional diving team, in order to take the water samples at three different depths in the nine sampling stations (0, 10 and 20 meters, with three replicates per depth taken random). It was used plastic containers of two liters PET type, sealed in vacuum and sterilized who guaranteed the collection of water samples in the correct depths and later measurements were made of total phosphorus, nitrites, nitrates and phosphates. The analyzes were carried out with the help of a spectrophotometer and were corroborated in the specialized laboratories of the University of Nariño.

**Sediments.** With the help of a professional diving team, dives were made to bottom, with an approximate depth of 20 meters, until reaching the sediment under the three study areas (cages for fingerlings, cages for lifting and fattening and control point). The collection of sediment samples was carried out directly at the time of the immersion taking the three stations in each area; using a CORE manual circular section of measures 10 x 35 cm. Once extracted, each sample was sieved with 0.5 mm mesh and preserved in

sostenible. La utilización de grandes cantidades de concentrado comercial para la alimentación de los peces, las heces de los mismos y otro tipos de sustancias, causan cambios importantes en las zonas que están bajo la influencia de las jaulas e instalaciones acuícolas; por lo cual, el presente estudio evaluó el impacto ambiental que ocasiona el cultivo intensivo de trucha arcoiris en jaulas flotantes, bajo el análisis de nutrientes e identificación taxonómica de macroinvertebrados bentónicos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio.** El Lago Guamuez se encuentra ubicado en el corregimiento del Encano departamento de Nariño, ubicado geográficamente entre 1°06'00" Norte y 77°09'07" Oeste, presenta una altitud de 2800 msnm; temperatura promedio de 11°C, con una longitud de 25 km, superficie de 41.5 km<sup>2</sup> de espejo de agua y una profundidad media de 75 metros (5).

**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. Las áreas fueron seleccionadas dependiendo de la ubicación de las jaulas de cultivo (área 1: Jaulas de alevinaje, área 2: jaulas de levante y engorde y área 3 punto control). Dentro de cada área se tomó tres estaciones de muestreo (los dos extremos y la mitad de las jaulas y tres puntos al azar en el área control que fue determinada bajo coordenadas geográficas con la ayuda de un GPS, para un total de nueve estaciones de muestreo cada una con profundidades de 0, 10 y 20 metros.

**Análisis de nutrientes.** se realizaron inmersiones con la ayuda de un equipo de buceo profesional, con el fin de tomar las muestras de agua a tres profundidades diferentes en las nueve estaciones de muestreo (0, 10 y 20 metros, con tres replicas por profundidad tomadas al azar). Se utilizó recipientes plásticos de dos litros tipo PET, sellados al vacío y esterilizados que garantizaron la recolección las muestras de agua en las profundidades correctas y posteriormente se realizó las mediciones de fósforo total, nitritos, nitratos y fosfatos. Los análisis fueron realizados con la ayuda de un espectrofotómetro y fueron corroborados en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño.

**Sedimentos.** con la ayuda de un equipo de buceo profesional se realizaron inmersiones hasta el fondo cuya profundidad aproximada es de 20 metros, hasta alcanzar el sedimento bajo las tres áreas de estudio (jaulas de alevinaje, jaulas de levante y engorde y punto control). La recolección de muestras de sedimentos se realizó de forma directa en el momento de la inmersión tomando las tres estaciones en cada área; utilizando un

10% formaldehyde in plastic containers for later taxonomic determination and qualitative and quantitative analysis of macroinvertebrates under the stereoscope in laboratory.

**Community parameters of biological diversity.** with the respective abundances obtained for each taxa per sampling station, a data matrix was formed by calculating the  $H'$  diversity indices of Shannon,  $J'$  equitability of Pielou, the Margalef index for species richness and the index of dominance of Berger-Parker.

**Statistical analysis.** The data collected were processed for presentation through the statistical program Statgraphics Centurion XV.II, using descriptive statistics methods, in frequency tables, measures of central tendency and dispersion and statistical graphs. In all cases, the mean and the standard error are indicated by ( $\bar{x}$ ). Parametric inferential tests were estimated using a confidence level  $\alpha = 0.05$

Given that parametric statistical tests were applied, it is necessary that the data comply with the statistical assumptions of Normality, by means of the Chi-square, Shapiro-Wilk and Z tests for bias, in the same way the assumptions of Homogeneity of variances were applied, by means of the Bartlett and Independence test, through the Durbin-Watson test (6). After this stage and after determining the non-existence of influential atypical data, an analysis of variance (ANOVA) was performed for each of the variables, in order to determine the existence of significant differences between the areas and depths of sampling, in where Tukey multiple comparison tests were applied, to identify significant differences between the means (7).

The grouping analysis was performed using multivariate statistics, developing a process of discriminant analysis, in order to identify the degree of discrimination of the different variables, with respect to the areas (8).

## RESULTS

**Nutrient analysis.** Since the objective of the study is to compare the differences between the three areas, we averaged the data obtained in each station and each depth taking them as replicas, obtaining a value for each nutrient with 27 data taken *in situ* in the three sampling areas (area 1: cages for fingerlings, area 2: cages for lifting and fattening and area 3: control point). The values and their coefficients of variation are described in table 1.

core manual de sección circular (10 x 35 cm). Una vez extraídas, cada muestra fue tamizada con mallas de 0.5 mm y conservadas en formol al 10% en recipientes plásticos para su posterior determinación taxonómica y análisis cualitativo y cuantitativo de macroinvertebrados bajo el estereoscopio en el laboratorio.

**Parámetros comunitarios de diversidad biológica.** con las respectivas abundancias obtenidas para cada taxa por estación de muestreo, se conformó una matriz de datos calculando los índices de diversidad  $H'$  de Shannon, equitabilidad  $J'$  de Pielou, el índice de Margalef para la riqueza de especies y el índice de dominancia de Berger-Parker.

**Análisis estadístico.** Los datos recolectados fueron procesados para su presentación mediante el programa estadístico Statgraphics Centurion XV.II, 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 ( $\bar{x}$ ). Las pruebas inferenciales paramétricas se estimaron utilizando un nivel de confianza  $\alpha = 0.05$

Dado que se aplicaron pruebas estadísticas paramétricas, es necesario que los datos cumplan con los supuestos estadísticos de Normalidad, mediante las pruebas de Chi-cuadrado, Shapiro-Wilk y Z para sesgo, de igual forma se aplicaron los supuestos de Homogeneidad de varianzas, mediante la prueba de Bartlett e Independencia, a través de la prueba de Durbin-Watson (6). Superada esta etapa y después de determinar la inexistencia 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 y profundidades de muestreo, en donde se aplicó pruebas de comparación múltiple de Tukey, para identificar diferencias significativas entre las medias (7).

El análisis de agrupamiento se realizó mediante estadística multivariada, desarrollando un proceso de análisis discriminante, con el fin de identificar el grado de discriminación de las diferentes variables, con respecto a las áreas (8).

## RESULTADOS

**Análisis de nutrientes.** Puesto que el objetivo del estudio es comparar las diferencias entre las tres áreas, se promedió los datos obtenidos en cada estación y cada profundidad tomándolos como replicas, obteniendo un valor para cada nutriente 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). Los valores y sus coeficientes de variación se describen en la tabla 1.

**Table 1.** Average values of nutrients evaluated by sampling areas and depths.

| Parameter        | Depth (meters) | Area 1                        | Area 2                      | Area 3                      |
|------------------|----------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Nitrites         | 0              | 0.004±<br>0.0001 <sup>a</sup> | 0.005±<br>0.00 <sup>a</sup> | 0.002±<br>0.00 <sup>a</sup> |
|                  | 10             | 0.003±<br>0.0004 <sup>b</sup> | 0.005±<br>0.00 <sup>b</sup> | 0.002±<br>0.00 <sup>a</sup> |
|                  | 20             | 0.005±<br>0.0004 <sup>c</sup> | 0.004±<br>0.00 <sup>c</sup> | 0.002±<br>0.00 <sup>a</sup> |
|                  | 0              | 0.13±<br>0.00 <sup>a</sup>    | 0.18±<br>0.00 <sup>a</sup>  | 0.100±<br>0.00 <sup>a</sup> |
| Nitrates         | 0              | 0.13±<br>0.00 <sup>a</sup>    | 0.18±<br>0.00 <sup>a</sup>  | 0.100±<br>0.00 <sup>a</sup> |
|                  | 10             | 0.13±<br>0.00 <sup>a</sup>    | 0.18±<br>0.00 <sup>a</sup>  | 0.100±<br>0.00 <sup>a</sup> |
|                  | 20             | 0.13±<br>0.00 <sup>a</sup>    | 0.18±<br>0.00 <sup>a</sup>  | 0.100±<br>0.00 <sup>a</sup> |
|                  | 0              | 0.03±<br>0.00 <sup>a</sup>    | 0.039±<br>0.00 <sup>a</sup> | 0.020±<br>0.00 <sup>a</sup> |
| Phosphates       | 0              | 0.03±<br>0.00 <sup>a</sup>    | 0.039±<br>0.00 <sup>a</sup> | 0.020±<br>0.00 <sup>a</sup> |
|                  | 10             | 0.03±<br>0.00 <sup>a</sup>    | 0.039±<br>0.00 <sup>a</sup> | 0.020±<br>0.00 <sup>a</sup> |
|                  | 20             | 0.03±<br>0.00 <sup>a</sup>    | 0.039±<br>0.00 <sup>a</sup> | 0.020±<br>0.00 <sup>a</sup> |
|                  | 0              | 0.02±<br>0.00 <sup>a</sup>    | 0.031±<br>0.00 <sup>a</sup> | 0.015±<br>0.00 <sup>a</sup> |
| Total phosphorus | 0              | 0.02±<br>0.00 <sup>a</sup>    | 0.031±<br>0.00 <sup>a</sup> | 0.015±<br>0.00 <sup>a</sup> |
|                  | 10             | 0.02±<br>0.00 <sup>a</sup>    | 0.031±<br>0.00 <sup>a</sup> | 0.015±<br>0.00 <sup>a</sup> |
|                  | 20             | 0.02±<br>0.00 <sup>a</sup>    | 0.031±<br>0.00 <sup>a</sup> | 0.015±<br>0.00 <sup>a</sup> |

Coefficient of variation (CV) = zero for all data. a, b, c: Statistically significant differences ( $p < 0.05$ )

**Nitrites (NO<sub>2</sub>-) and nitrates (NO<sub>3</sub>-).** The analysis of variance and Tukey's multiple comparison test indicated that there are significant differences ( $p < 0.05$ ) between the sampling areas, as well as the different depths ( $p < 0.05$ ), with the highest values obtained in area 2 (lifting and fattening cages).

**Phosphates (PO<sub>43</sub>-) and total phosphorus.** These nutrients presented the same behavior as that of the nitrites and nitrates, where the analysis of variance and the Tukey test indicated that there are significant differences ( $p < 0.05$ ) between the sampling areas, obtaining the highest values in area 2 in their three depths and lower values in area 3 (control point).

**Taxonomic identification of macroinvertebrates.** During the study period, a total of seven macroinvertebrate families were collected among the three sampling areas for a total of 532 individuals, of which 40% corresponds to the *Chironomidae* family, 24% to the *Thiaridae* family, 11% to *Ampullariidae*, 9% for *Planariidae*, 8% for *Hydrachnidae*, 5% for *Tubificidae* and finally 3% for the family *hydrobiosidae* (Figures 1 and 2). According to Roldan, the *Chironomidae*, *Thiaridae*, *Ampullariidae*, *Planariidae* and *Tubificidae* families are indicators of contaminated or moderately contaminated water, while the families *Hydrachnidae* and *hydrobiosidae* are indicators of good water quality (9).

**Community parameters of biological diversity.** Table 2 shows the results of community indices of biological diversity by sampling area.

**Nitritos (NO<sub>2</sub>-) y Nitratos (NO<sub>3</sub>-).** El análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple de Tukey indicaron que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las áreas de muestreo, al igual que las diferentes profundidades ( $p < 0.05$ ), siendo los mayores valores los obtenidos en el área 2 (jaulas de levante y engorde).

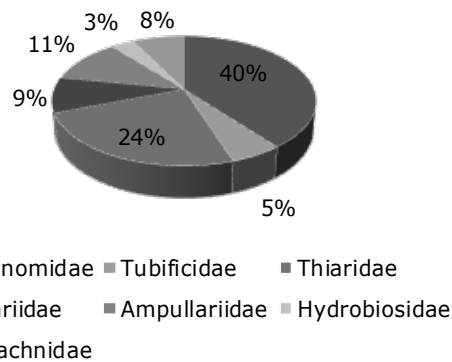
**Fosfatos (PO<sub>43</sub>-) y Fósforo total.** Estos nutrientes presentaron el mismo comportamiento que el de los nitritos y nitratos, donde el análisis de varianza y la prueba de Tukey indicaron que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las áreas de muestreo, obteniendo los mayores valores en el área 2 en sus tres profundidades y menores valores en el área 3 (punto control).

**Identificación taxonómica de macroinvertebrados.** Durante el período de estudio se recolectó un total de siete familias de macroinvertebrados entre las tres áreas de muestreo para un total de 532 individuos, de los cuales el 40% corresponde a la familia *Chironomidae*, 24% para la familia *Thiaridae*, 11% para *Ampullariidae*, 9% para *Planariidae*, 8% para *Hydrachnidae*, 5% para *Tubificidae* y finalmente un 3% para la familia *hydrobiosidae* (Figuras 1 y 2). Según Roldan, las familias *Chironomidae*, *Thiaridae*, *Ampullariidae*, *Planariidae* y *Tubificidae*, son indicadoras de aguas contaminadas o medianamente contaminadas, mientras que las familias *Hydrachnidae* e *hydrobiosidae* son indicadoras de buena calidad de agua (9).

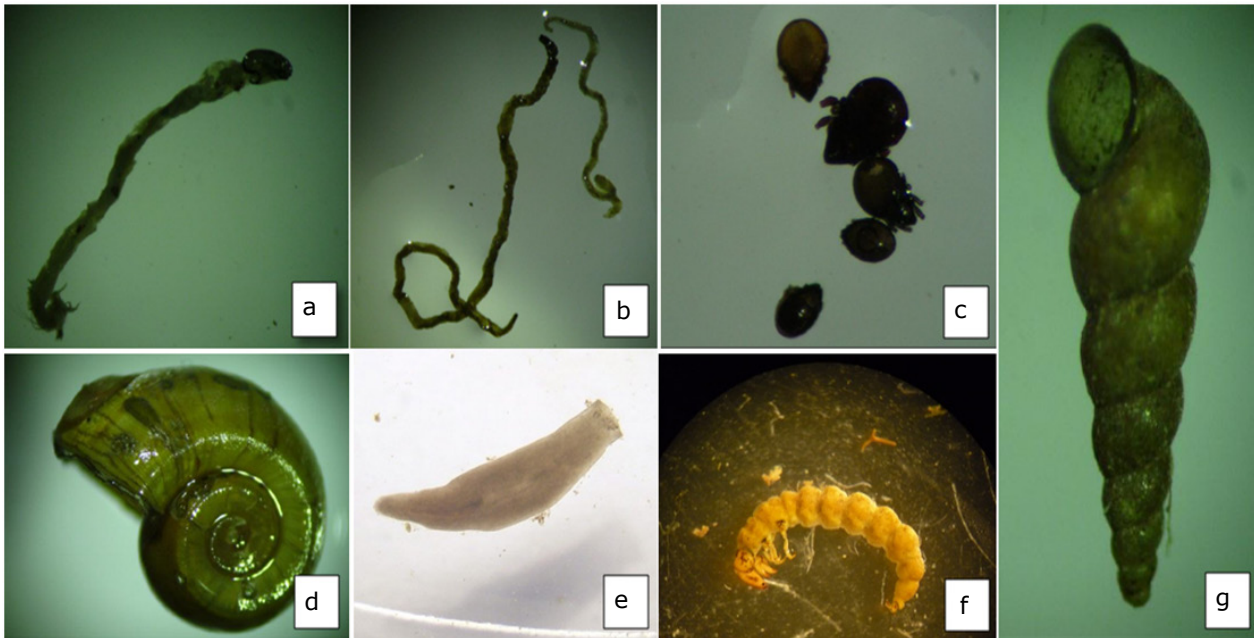
**Parámetros Comunitarios de diversidad biológica.** En la tabla 2 se muestran los resultados de los índices comunitarios de diversidad biológica por área de muestreo.

**Índice de diversidad de Shannon-Weaver (H').** el análisis de varianza indicó que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las áreas de muestreo, sin embargo el área 1 (jaulas de

## % Individuals



**Figure 1.** Percentage of individuals found in the Guamuez Lake sampling areas.



**Figure 2.** Exemplars of the macrofauna families found in the sampling areas in Lake Guamuez. a) *Chironomidae*; b) *Tubificidae*; c) *Hydrachnidae*; d) *Ampullariidae*; e) *Planaridae*; f) *Hydrobiosidae*; g) *Thiaridae*.

**Table 2.** Values of diversity, equitability, richness and dominance of macroinvertebrate species found in the three study areas.

| Calculation of community biodiversity parameters in sampling areas |                    |                    |                    |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|
| Index  | Area 1             | Area 2             | Area 3             |
| Shannon ( $H'$ )   | 1.391 <sup>A</sup> | 1.245 <sup>A</sup> | 0.619 <sup>A</sup> |
| Pielou ( $J'$ )  | 0.715 <sup>A</sup> | 0.640 <sup>A</sup> | 0.318 <sup>A</sup> |
| Margalef ( $D_{mg}$ )  | 1.146 <sup>A</sup> | 1.061 <sup>A</sup> | 1.478 <sup>A</sup> |
| Berger-Parker ( $B$ )  | 0.484 <sup>A</sup> | 0.416 <sup>A</sup> | 0.690 <sup>A</sup> |

A: significant differences between areas ( $p < 0.05$ )

**Shannon-Weaver diversity index ( $H'$ ).** Analysis of variance indicated that there are no significant differences ( $p > 0.05$ ) between the sampling areas, Nevertheless area 1 (cages for fingerlings) presented the greatest diversity with a value of 1.391, what shows changes in behavior of the macroinvertebrates according to the intensity of production in the cages.

**Equity of Pielou ( $J'$ ).** The analysis of variance indicated that there are no significant differences ( $p > 0.05$ ) between the sampling areas, with area 1 (cages for fingerlings) the highest the most equity with a value of 0.715.

**Margalef wealth index ( $D_{mg}$ ).** The analysis of variance determined that there are no significant differences ( $p > 0.05$ ) between the sampling areas, however the highest wealth value was obtained in area 3 (control point) with 1.478.

alevinaje) presentó la mayor diversidad con un valor de 1.391, lo que evidencia cambios comportamentales de los macroinvertebrados según la intensidad de producción en las jaulas.

**Equidad de Pielou ( $J'$ ).** El análisis de varianza indicó que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las áreas de muestreo, siendo el área 1 (jaulas de alevinaje) la de mayor equidad con un valor de 0.715.

**Índice de riqueza de Margalef ( $D_{mg}$ ).** El análisis de varianza determinó que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las áreas de muestreo, sin embargo se obtuvo el mayor valor de riqueza en el área 3 (punto control) con 1.478.

**Índice de dominancia de Berger-Parker ( $B$ ).** El análisis de varianza determinó que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las áreas de muestreo, obteniéndose el mayor valor en el área 3 (punto control) con 0.690, demostrando un cambio de comportamiento de as especies en el área sin intervención acuícola.

**Análisis multivariado discriminante para nutrientes.** Para el caso de los nutrientes, el análisis discriminante presentó dos funciones ( $Z_1$  y  $Z_2$ ) que resultan ser significativas ( $p < 0.05$ ) y las cuales suman una varianza del 100%.

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

**Berger-Parker dominance index (B).** The analysis of variance determined that there are no significant differences ( $p > 0.05$ ) between the sampling areas, obtaining the highest value in area 3 (control point) with 0.690, demonstrating a change of behavior of species in the area without aquaculture intervention.

**Multivariate discriminant analysis for nutrients.** In the case of nutrients, the discriminant analysis presented two functions ( $Z_1$  and  $Z_2$ ) that turn out to be significant ( $p < 0.05$ ) and which add a variance of 100%.

The coefficients are a reflection of the weight of each of the variables in the discriminant functions. Function 1 has the nitrates with the highest coefficient (1.3) indicating the predominant influence on the differentiation of the areas under study, so that this function could be identified as "Nitrates". In the case of Function 2, the highest weight is given by nitrites, obtaining as coefficient is 0.8478, variable that can identify the function (Table 3).

**Tabla 3.** Coeficientes de la función discriminante entre áreas de muestreo para nutrientes

| Variables        | Function $Z_1$ | Function $Z_2$ |
|------------------|----------------|----------------|
| Phosphates       | -0.779579      | 0.779579       |
| Total phosphorus | 0.12421        | -0.65076       |
| Nitrates         | 1.3            | -0.16613       |
| Nitrites         | -0.10209       | 0.847846       |
| Depth            | -0.17549       | -0.41075       |

In order to analyze the behavior of the variables according to their level of influence on the different areas, the crossing between the two discriminant functions is represented, just as the three groups (areas) can be clearly seen discriminated. In the case of Area 1, whose location is in the upper left quadrant, the values are relatively high; that is, the variables have a good influence on the classification factor and, as Function 1 (nitrates) decreases, Function 2 increases (nitrites).

When analyzing the behavior of Area 2, it can be determined that the variables have a high influence on Function 1 (nitrates) and low on Function 2 (nitrites), observing a decrease in the latter, when the first increases; and, finally, in Area 3, the variables studied have little influence on discrimination; when Function 1 (nitrates) decreases, Function 2 (nitrites) also decreases (Figure 3).

According to the analyzed data for nitrites and nitrates, it was obtained that the areas 1 and 2 corresponding to the crops presented a greater

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, obteniendo como coeficiente es de 0.8478, variable que podrá identificar a la función. (Tabla 3).

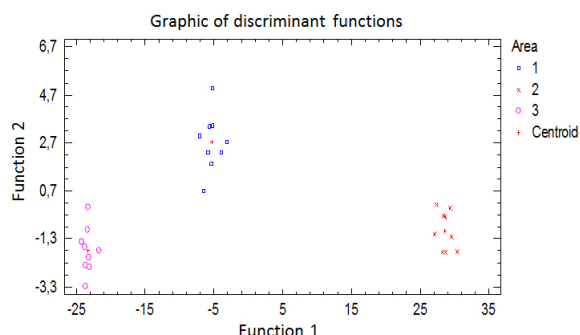
Con el fin de analizar el comportamiento de las variables según su nivel de influencia sobre las diferentes áreas, se representa el cruce entre las dos funciones discriminantes, al igual que se puede observar claramente discriminados los tres grupos (áreas). En el caso del Área 1, cuya ubicación está en el cuadrante superior izquierdo, los valores son relativamente altos; es decir, las variables tienen una buena influencia sobre el factor de clasificación y, a medida que la Función 1 (nitratos) disminuye, aumentan la Función 2 (nitritos).

Al analizar el comportamiento del Área 2, se puede determinar que las variables tienen alta influencia en la Función 1 (nitratos) y baja en la Función 2 (nitritos), observando una disminución en esta última, cuando la primera aumenta; y, finalmente en el Área 3, las variables estudiadas tienen poca influencia en la discriminación; cuando la Función 1 (nitratos) disminuye, la Función 2 (nitritos) también disminuye. (Figura 3).

Según los datos analizados para nitritos y nitratos, se obtuvo que las áreas 1 y 2 correspondientes a los cultivos presentaron una mayor intervención con respecto a las demás variables (Fosfatos y fósforo total), mientras que en el área 3 donde no se presenta intervención acuícola, los valores de nitratos presentaron un comportamiento directamente proporcional al de los nitritos, disminuyendo en las dos funciones.

**Análisis multivariado discriminante para macroinvertebrados.** Para los macroinvertebrados se presentaron dos funciones ( $Z_1$  y  $Z_2$ ) que resultan ser significativas ( $p < 0.05$ ) y las cuales suman una varianza del 100%.

La función 1, presentó el mayor coeficiente para la variable diversidad de Shannon con un valor de 1320.48 indicando la influencia predominante



**Figura 3.** Representación gráfica del análisis discriminante de nutrientes.

intervention with respect to the other variables (Phosphates and total phosphorus), while in area 3 where no aquaculture intervention is presented, nitrate values presented a behavior directly proportional to that of nitrites, decreasing in the two functions.

Multivariate discriminant analysis for macroinvertebrates. For the macroinvertebrates there were two functions ( $Z_1$  and  $Z_2$ ) that turn out to be significant ( $p < 0.05$ ) and which add a variance of 100%.

Function 1, presented the highest coefficient for the diversity variable of Shannon with a value of 1320.48 indicating the predominant influence on the differentiation of the study areas, so that this function could be identified as "Shannon Diversity". Similarly, Function 2 presents Shannon as the variable that can identify the function, whose coefficient is 164,068, as well as the fairness of Pielou where the coefficient is the same as that of Shannon but in a negative sign (Table 4).

**Table 4.** Coefficients of the discriminant function between sampling areas for biological diversity parameters.

| Variables     | Function $Z_1$ | Function $Z_2$ |
|---------------|----------------|----------------|
| Berger-Parker | 0.31615        | 0.158829       |
| Margalef      | 0.26971        | -0.11287       |
| Pielou        | -1320.34       | -164.068       |
| Shannon       | 1320.48        | 164.068        |

In order to analyze the behavior of the variables according to their level of influence on the study areas, the crossing between the two discriminant functions is represented, just as the three sampling areas can be clearly seen discriminated. For area 1, low values were observed where the variables had a low influence on the classification factor, determining that as diversity (Function 1) increases, the equitability decreases (Function 2).

When analyzing the behavior of Area 2, it was possible to determine that the variables have a high influence on Function 2 (Shannon Diversity) and low on Function 1 (Equity of Pielou), observing a decrease in the latter when the first increases and finally in Area 3, the variables studied have a high influence on discrimination, noting that by increasing Function 1, which for this case is the Shannon diversity, Function 2 (Equity of Pielou) tends to be maintained (Figure 4).

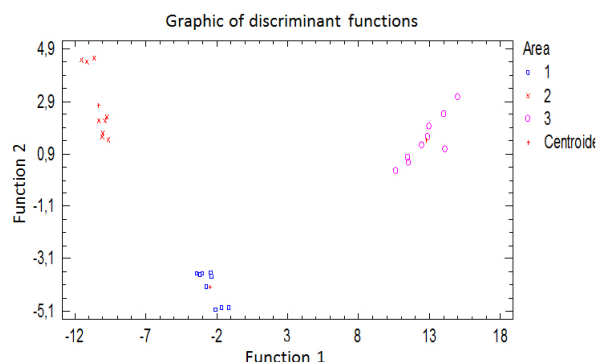
According to the analysis carried out for the indices of biological diversity using benthic macroinvertebrates as bioindicators, it was possible to determine that the greatest diversity was

sobre la diferenciación de las áreas de estudio, por lo que dicha función se podría identificar como "Diversidad de Shannon". De igual forma la Función 2, presenta a Shannon como la variable que podrá identificar a la función, cuyo coeficiente es de 164.068, al igual que la equitatividad de Pielou donde el coeficiente es el mismo al de Shannon pero en signo negativo (Tabla 4).

Con el fin de analizar el comportamiento de las variables según su nivel de influencia sobre las áreas de estudio, se representa el cruce entre las dos funciones discriminantes, al igual que se puede observar claramente discriminadas las tres áreas de muestreo. Para el área 1, se observan valores bajos donde las variables presentaron una baja influencia sobre el factor de clasificación, determinando que a medida que la diversidad (Función 1) aumenta, disminuye la equitatividad (Función 2).

Al analizar el comportamiento del Área 2, se logró determinar que las variables tienen alta influencia en la Función 2 (Diversidad de Shannon) y baja en la Función 1 (Equitatividad de Pielou), observando una disminución en esta última cuando la primera aumenta y finalmente en el Área 3, las variables estudiadas tienen una alta influencia en la discriminación, notándose que al aumentar la Función 1 que para este caso es la diversidad de Shannon, la Función 2 (equitatividad de Pielou) tiende a mantenerse (Figura 4).

Según el análisis realizado para los índices de diversidad biológica utilizando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores, se logró determinar que la mayor diversidad se presentó en las áreas 1 y 2 correspondientes a las jaulas de cultivo al igual que la equitatividad, mientras que en el área 3 o punto control el número de especies encontradas fue menor disminuyendo así el valor de estos índices; con ello se puede determinar la importancia de estas dos variables en las funciones discriminantes.



**Figure 4.** Graphic representation of the discriminant analysis for biological diversity parameters.



presented in areas 1 and 2 corresponding to the culture cages as well as fairness, while in area 3 or control point, the number of species found was smaller, thus decreasing the value of these indexes; With this, the importance of these two variables in the discriminant functions can be determined.

## DISCUSSION

**Nutrients.** Research on pollution and alterations produced by rainbow trout farming in cage systems in Lake Guamuez is scarce, however in limnological studies, nutrient values are reported similar to those of this study, which does not rule out that there is a slight and permanent degree of pollution that although it is true does not generate large impacts such as eutrophication processes, in the long term and without a proper control of the activity it can generate greater pollution problems in this important wetland (4).

The values of nitrites and nitrates showed that there is no potential risk for both water quality and fish health, however there is a small increase in areas 1 and 2 where the aquaculture crops are located. Nitrate levels, like nitrites, categorize Guamuez Lake as oligotrophic (10,11).

For rainbow trout crops in Colombian lagoons, nitrogen supply values of 16.4 kg/year are reported for extensive or self-consumption crops and from 44 to 255.9 kg / year in intensive and super intensive crops. Similarly, the contribution of phosphorus from fish farming ranges between 9.9 kg/year in extensive crops and 163 kg/year in super-intensive crops, reflecting the environmental impact and the pollution load caused by aquaculture in ecosystems; however, these values, like those reported in this research, are lower than those contributed to lakes and ecosystems by other livestock and agricultural activities. (12,13).

The levels of phosphates and total phosphorus show their increase in the culture cages, especially in area 2, (cages for lifting and fattening), where the largest amount of commercial feed is supplied; but these values, like those reported in previous studies, do not represent a potential danger for the water quality of the lake and characterize it as mesoeutrophic (14).

**Macroinvertebrados bentónicos.** Benthic macroinvertebrates have been recognized as potential indicators of the biological quality of aquatic systems for a long time. Several studies have shown that macroinvertebrates react to the environment where they are found (streams, rivers and lakes) through appropriate biological and ecological responses according to their morphological, physiological or behavioral

## DISCUSIÓN

**Nutrientes.** Las investigaciones sobre la contaminación y alteraciones que producen los cultivos de trucha arcoíris en sistemas de jaulas en el Lago Guamuez son escasos, sin embargo en estudios limnológicos, valores de nutrientes son reportados con similaridad a los de este estudio, lo que no descarta que exista un grado de contaminación leve y permanente que si bien es cierto no genera grandes impactos como procesos de eutrofización, a largo plazo y sin un debido control de la actividad puede generar mayores problemas de contaminación a este importante humedal (4).

Los valores de nitritos y nitratos demostraron 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. Los niveles de nitratos al igual que los nitritos categorizan al Lago Guamuez como oligotrófico (10,11).

Para cultivos de trucha arcoíris en lagunas de Colombia se reportan valores de aporte de nitrógeno de 16,4 kg/año para cultivos extensivos o de autoconsumo y de 44 a 255,9 kg/año en cultivos intensivos y súper intensivos. De igual forma el aporte de fósforo proveniente de cultivos piscícolas oscila entre 9,9 kg/año en cultivos extensivo y de 163 kg/año en cultivos súper intensivos, lo que refleja el impacto ambiental y la carga contaminante que causa la acuicultura en los ecosistemas; sin embargo estos valores al igual que los reportados en esta investigación son inferiores a los aportados a los lagos y ecosistemas por otras actividades pecuarias y agrícolas. (12, 13).

Los niveles de fosfatos y fósforo total demuestran su incremento en las jaulas de cultivo, especialmente en el área 2, (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 y lo caracterizan como mesoeutrófico (14).

**Macroinvertebrados bentónicos.** Los macroinvertebrados bentónicos han sido reconocidos como potenciales indicadores de la calidad biológica de los sistemas acuáticos desde hace mucho tiempo. Diversos estudios han demostrado que los macroinvertebrados reaccionan al entorno donde se encuentren (arroyos, ríos y lagos) mediante respuestas biológicas y ecológicas apropiadas según sus características morfológicas, fisiológicas o de comportamiento, esencialmente por su amplia distribución y diversidad, lo que les permite adaptarse a características muy definidas de calidad del agua (15).

characteristics, essentially due to their wide distribution and diversity, which allows them to adapt to very defined characteristics of water quality (15).

Macroinvertebrates are able to integrate temporal information and their sensitivity allows them to respond to various types of anthropogenic pollutant disturbances under agricultural, domestic activities, among others, reflecting the integrated effect of all environmental variables (16).

The families *Chironomidae*, *Thiaridae*, *Ampullariidae*, *Planariidae* and *Tubificidae*, found in areas 1 and 2 corresponding to the culture cages they are indicators of contaminated or moderately contaminated waters, while the families *Hydrachnidae* and *hydrobiosidae* found in area 3 or control point are indicators of good water quality (17).

The presence of the *Chironomidae* family, in a body of water, is indicator of mesoeutrophic waters, while the presence of the family *Hydrobiosidae*, indicate oligotrophic waters. For its part, the *Planariidae* family is characterized by living in very well oxygenated waters, such as those in lake Guamuez (9, 18).

With this, it can be deduced that the presence / absence of the families of macroinvertebrates found shows that there is contamination by the aquaculture crops of rainbow trout, negatively affecting the quality of the water in the areas where they develop, altering the environment and the ecosystem of the lake (17).

With respect to the calculation of community parameters of biological diversity through the use of macroinvertebrates as biological indicators, the diversity of Shannon indicated that although there are no significant differences ( $p > 0.05$ ) between the monitored areas, the highest values of diversity were submitted in areas 1 and 2 where the aquaculture crops are located; however, the index showed that there is low diversity in the study areas, which reflects a certain degree of contamination, since high diversity is related to clear and clean water while low values are associated with contamination (19). In ecosystems values that are less than two 2 are a reflection of low diversity and on the contrary values greater than 3 represent a wide variety of biological species (20).

Likewise, the fairness of Pielou did not show significant differences ( $p > 0.05$ ) between the monitored areas, however it is greater in areas 1 and 2 corresponding to the culture cages since they have values closer to 1, which represents the uniformity of families in these areas. These behaviors correspond to the fact that the abundances of the families found are similar and belong to the families that indicate moderately polluted and polluted waters (21). As

Los macroinvertebrados son capaces de integrar información temporal y su sensibilidad les permite responder a varios tipos de perturbaciones contaminantes antrópicas bajo actividades agropecuarias, agrícolas, domésticas, entre otras, reflejando el efecto integrado de todas las variables ambientales (16).

Las familias *Chironomidae*, *Thiaridae*, *Ampullariidae*, *Planariidae* y *Tubificidae*, encontradas en las áreas 1 y 2 correspondientes a las jaulas de cultivo son indicadoras de aguas contaminadas o medianamente contaminadas, mientras que las familias *Hydrachnidae* e *hydrobiosidae* encontradas en el área 3 o punto control son indicadoras de buena calidad de agua (17).

La presencia de la familia *Chironomidae*, en un cuerpo de agua, es indicadora de aguas mesoeutróficas, mientras que la presencia de la familia *Hydrobiosidae*, indican aguas oligotróficas. Por su parte, la familia *Planariidae* se caracteriza por habitar en aguas muy bien oxigenadas, como las existentes en el lago Guamuez (9,18).

Con esto se puede deducir que la presencia/ausencia de las familias de macroinvertebrados encontrados demuestra que existe una contaminación por parte de los cultivos acuícolas de trucha arcoíris afectando negativamente la calidad del agua de las zonas donde se desarrollan, alterando el ambiente y el ecosistema del lago (17).

Con respecto al cálculo de los parámetros comunitarios de diversidad biológica mediante el uso de macroinvertebrados como indicadores biológicos, la diversidad de Shannon indicó que a pesar de que no haya diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las áreas monitoreadas, los valores más altos de diversidad se presentaron en las áreas 1 y 2 donde se encuentran los cultivos acuícolas; sin embargo el índice demostró que hay una baja diversidad en las zonas de estudio lo cual refleja un cierto grado de contaminación, puesto que altas diversidades se relacionan con aguas claras y limpias mientras que los valores bajos están asociados a la contaminación (19). En ecosistemas valores que se encuentren menores a dos 2 son reflejo de bajas diversidades y por el contrario valores superiores a 3 representan una amplia variedad de especies biológicas (20).

De igual forma, la equitatividad de Pielou no presentó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las áreas monitoreadas, no obstante es mayor en las áreas 1 y 2 correspondientes a las jaulas de cultivo ya que presentan valores más cercanos a 1, lo cual representa la uniformidad de las familias en estas áreas. Estos comportamientos corresponden a que las abundancias de las familias encontradas son similares y pertenecen a las familias indicadoras de aguas medianamente contaminadas y contaminadas (21). Como era de esperarse, la equidad de las especies presentes en las dos

expected, the equity of the species present in the two cultivation areas present a behavior directly proportional to the diversity, reflecting pollution effects, however, it can not be affirmed that if the number of tolerant species is more equitable, contamination is greater since they do not show statistically differences (22).

The wealth of Margalef showed the lowest values in areas 1 and 2 where the productions are located; However, the index describes that values below 2 are considered as areas of low diversity and richness, similar values were reported in previous studies in the lake (5). The *Chironomidae* family belonging to the chironomids and where their larval stage develops in continental waters with a certain degree of contamination (23), presents the greatest richness of all the species, which reflects the environmental impact that is generated in the sediments deposited under the cages (24)

Like diversity and fairness, there were no statistically significant differences between areas ( $p > 0.05$ ). The dominance of Berger-Parker presented the highest values in area 3 or control point where the lowest diversity was obtained. Although in area 3 only two families were found (*Hydrobiosidae* and *Hydrachnidae*), they showed the highest dominance showing the importance of these species in relation to the whole community and its relevance in spaces without aquaculture crops; similar data were reported in lakes of the Cundiboyacense highlands whose values correspond to low diversities and high predominances reflecting the good quality of its waters (25).

Dominance values range from 0 to 1, where those close to 1 express the presence of more dominant species. In areas 1 and 2 corresponding to the culture cages, there was a lower dominance and a higher diversity value, which shows that the species tolerant to pollution have lower values of dominance but their distribution is higher, this being a bad indicator of quality (26).

According to the variables of influence determined by the multivariate statistical analyzes, the environmental changes caused by the aquaculture processes in the ecosystem and the water quality of the Guamuez lake are not extreme or alarming, however it is verified that there is a level of environmental impact in the areas of influence, which leads to paying attention and monitoring the development of this activity alarms must be activated over on future negative impacts on the ecosystem caused by the potential increase of the production companies.

áreas de cultivo presentan un comportamiento directamente proporcional a la diversidad, reflejando efectos de contaminación, sin embargo no se puede afirmar que si el número de especies tolerantes es más equitativo la contaminación es mayor puesto que estadísticamente no muestran diferencias (22).

La riqueza de Margalef arrojó los menores valores en las áreas 1 y 2 donde se encuentran las producciones; sin embargo el índice describe que valores inferiores a 2 son considerados como zonas de baja diversidad y riqueza, valores similares se reportaron en estudios anteriores en el lago (5). La familia *Chironomidae* perteneciente a los quironomidos y donde su estado larval se desarrolla en aguas continentales con cierto grado de contaminación (23), presenta la mayor riqueza de todas las especies, lo que refleja el impacto ambiental que se genera en los sedimentos depositados bajo las jaulas. (24).

Al igual que la diversidad y equitatividad, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre áreas ( $p > 0.05$ ). La dominancia de Berger- Parker presentó los mayores valores en el área 3 o punto control donde se obtuvo la menor diversidad. A pesar de que en el área 3 solo se encontraron dos familias (*Hydrobiosidae* e *Hydrachnidae*), estas presentaron la mayor dominancia demostrando la importancia de estas especies en relación a la totalidad de la comunidad y su relevancia en espacios sin cultivos acuícolas; datos similares fueron reportados en lagos del altiplano cundiboyacense cuyos valores corresponden a bajas diversidades y altas predominancias reflejando la buena calidad de sus aguas (25).

Los valores de dominancias oscilan entre 0 y 1, donde los cercanos a 1 expresan la presencia de especies más dominante. En las áreas 1 y 2 correspondientes a las jaulas de cultivo, se presentó una menor dominancia y un mayor valor de diversidad, lo que demuestra que las especies tolerantes a la contaminación tienen menores valores de dominancia pero su distribución es mayor siendo esto un mal indicador de calidad (26).

Según las variables de influencia determinadas por los análisis estadísticos multivariados, los cambios ambientales ocasionados por los procesos acuícolas en el ecosistema y la calidad del agua del lago Guamuez no son extremos o alarmantes, sin embargo se comprueba que existe un nivel de impacto ambiental en las áreas de influencia, lo que conlleva a prestar atención y seguimiento al desarrollo de esta actividad y se deben encender las alarmas sobre futuros impactos negativos en el ecosistema originados por el potencial aumento de las empresas productoras.

## REFERENCES

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The state of world aquaculture and fisheries. Opportunities and Challenges [Internet]. Roma: FAO; 2016. [Citado sept 1 2017]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i5555e.pdf>
2. Buschmann AH, Stead RA, Hernández MC, Pereda, SV., Paredes, J.E. Maldonado, M.A. Un análisis crítico sobre el uso de macroalgas como base para una acuicultura sustentable. *Rev Chil Hist Nat.* 2013; 86(3):251-264.
3. Parrado, Y. Historia de la acuicultura en Colombia. *Rev AquaTIC.* 2012; 37:60-77
4. Lopez, M. y Madroñero, S. Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: Caso Laguna de La Cocha. *Cien Ing Neogranad.* 2015; 25(2):21-42.
5. Cabrera, W. La Cocha: "Un Lago Andino en el Sur de Colombia". *Soc Geog Col.* 1970; 17(101):1-13
6. Heerera M, Guerra C, Sarduy L, Garcia Y. y Martinez C. Diferentes métodos estadísticos para el análisis de variables discretas. Una aplicación en las ciencias agrícolas y técnicas. *Rev Cie Téc Agr.* 2012; 21(1):58-62.
7. Correa J, Iral R, Rojas L. Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza. *Rev Col Est.* 2006; 29(1):57-76.
8. Carmona V, Carmona T. La Diversidad de los Analisis de Diversidad. *Bioma.* 2013; 14:20-28.
9. Roldán G. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Rev Acad Col.* 2016; 40(155):254-274.
10. Roldán G. Fundamentos de Limnología Tropical. Colombia: Editorial Universidad de Antioquia; 1991.
11. Vitoria I, Maraver F, Sánchez F, Valverde F. Contenido en nitratos de aguas de consumo público españolas. *Rev Gac San.* 2015; 29(3):217-220.
12. Velazco A, Calvario M, Pulido F, Acevedo S, Castro R, Román G. Problemática Ambiental de la Actividad Piscícola en el Estado de Hidalgo, México. *Rev Acad Ing.* 2012; 16(3):165-174.
13. Torres, N. y Granadas, I. Estimación de los desperdicios generados por la producción de trucha arcoiris en el Lago de Tota, Colombia. *Corpoica Cienc Tecnol Agrop.* 2017; 18(2): 247-255.
14. Carneiro C, Kelderman P, Irvine K. Assessment of phosphorus sediment-water exchange through water and mass budget in Passaúna Reservoir. *Environmental Earth Sciences (Paraná State, Brazil).* *Environ Earth Sci.* 2016; 75(7):564.
15. Tomanova S, Polatera U. Patterns of benthic community traits in neotropical streams: relationship to mesoscale spatial variability. *Fundamental Applied Limnology.* 2007; 170:243-255.
16. Guinard J, Ríos T, Bernal J. Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua de las cuencas alta y baja del río Gariché, provincia de Chiriqui, Panamá. *Rev Gest Amb.* 2013; 16(2):61-70.
17. Baptista D, Buss B, Egler M, Giovanelli A, Silveira P, Nessimian J. A multimetric index based on benthic macroinvertebrates for evaluation of Atlantic Forest streams at Rio de Janeiro State, Brazil. *Hydrobiologia.* 2007; 575:83-94.
18. Figueroa R, Palma A, Ruiz V, Niell X. Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: Río Chillan, VIII Región. *Rev Chil Hist Nat* 2007; 80(2):225-242.
19. Obando N, Bustamante C. Macroinvertebrados y algas perifíticas de la quebrada cajones, unidad de manejo de cuenca umc río espejo municipio de montenegro, quindío, Colombia. *Rev Asoc Col.* 2014; 26:133-144.
20. Pla L. Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de shannon y la riqueza. *Interciencia.* 2006; 31(8):583-590.

21. Wronski T, Dusabe M, Apio A, Hausdorf B, Albrecht C. Biological assessment of water quality and biodiversity in Rwandan rivers draining into Lake Kivu. *Aquat Ecol.* 2015; 49(3):309–320.
22. Reyes P, Torres J. Diversidad, distribución, riqueza y abundancia de condrictios de aguas profundas a través del archipiélago patagónico austral, Cabo de Hornos, Islas Diego Ramírez y el sector norte del paso Drake. *Rev Biol Mar Oceanogr.* 2009; 44(1):243-251.
23. Caleño Y, Rivera C, Ovalle H. Hábitos alimentarios de quironómidos (Diptera: Chironomidae) en lagos del páramo de Chingaza, Colombia. *Rev Biol Trop.* 2018; 66(1):136-148.
24. Rossaro B, Lencioni V, Boggero A, Marziali L. Chironomids from Southern Alpine running waters. *Ecology, Biogeography. Hydrobiologia.* 2006; 562(1):231-246.
25. Meza A, Rubio J, Dias L, Walteros J. Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del Río Chinchiná. *Caldasia.* 2012; 34(2):443-456.
26. Morelli E, Verdi A. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en cursos de agua dulce con vegetación ribereña nativa de Uruguay. *Rev Mex Bio.* 2014; 85(4):1160-1170.