



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Variabilidad ecológica e implicaciones sociales de la acuicultura en el humedal RAMSAR, Lago Guamuez**

**Edgar Andrés González Legarda**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Palmira, Colombia

2021

# **Variabilidad ecológica e implicaciones sociales de la acuicultura en el humedal RAMSAR, Lago Guamuez**

**Edgar Andrés González Legarda**

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:

**Doctor en Agroecología**

Director:

Guillermo Duque Nivia, M.Sc., Ph.D.

Línea de Investigación:

Agricultura y Medio Ambiente

Grupo de Investigación:

Ecología y Contaminación Acuática

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Palmira, Colombia

2021

## *Dedicatoria*

*A Dios por darme la vida y las facultades para poder estudiar y sacar adelante mi Doctorado ya que sin el nada es posible.*

*A mi madre Amparo Legarda por estar siempre a mi lado con sus consejos apoyándome en las buenas y malas, animándome día a día a salir adelante, por brindarme su amor y apoyo incondicional.*

*A mi hermana Diana Mosquera por ser mi amiga, mi confidente, mi apoyo y mi ejemplo a seguir.*

*A mi hijo Santiago que es uno de mis motores para seguir luchando en la vida*

*A mi sobrina María José por contagiarme de su amor y alegría todos los días*

*A la Gobernación de Nariño y Fundación CEIBA, por la beca otorgada.*

*A todos mis familiares y amigos que han estado a mi lado en esta etapa tan importante de mi vida.*

*En la vida ni el oro ni la plata vale más que la familia y la tranquilidad. La sabiduría no se cambia ni por el más grande tesoro.*

# Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



---

Edgar Andrés González Legarda

Fecha: 19/01/2022

## Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos a:

GUILLERMO DUQUE NIVIA

PhD. Director de la tesis. Coordinador del programa de Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.

MARCO ANTONIO IMUES FIGUEROA

Zootecnista, Esp, MSc. Profesor de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Universidad de Nariño

DIEGO IVAN ANGEL SANCHEZ

Ph.D. Docente Facultad de Ciencias Agropecuarias, Doctorado en Agroecología, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.

A los demás profesores y funcionarios de la Universidad de Nacional de Colombia sede Palmira y Universidad de Nariño y a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron con su apoyo para la ejecución de esta investigación.

# Resumen

## **Variabilidad ecológica e implicaciones sociales de la acuicultura en el humedal ramsar, lago guamuez**

La acuicultura se propone como una actividad que abastece la producción de carne con alto contenido de proteína de forma rentable y sostenible, sin embargo, sus producciones generan cambios a nivel ecológico-ambiental y tiene implicaciones en el entorno social y pérdida de la cultura al igual que en los usos y costumbres en las comunidades con ella relacionadas. Partiendo de la anterior hipótesis se planteó la presente investigación de enfoque cualitativo y cuantitativo, tendiente a determinar las implicaciones ambientales, sociales y bioculturales de la acuicultura en el cultivo de trucha arcoíris (*Onchorhynchus mykiss*) en cultivos flotantes. Para lograr lo anterior se observaron los cambios en la calidad del agua, en los sedimentos y en la estructura de macroinvertebrados bentónicos, tomando como referencia tres empresas dedicadas a esta actividad ubicadas en la parte alta, media y baja del Lago Guamuez, departamento de Nariño, categorizado como humedal RAMSAR dentro de los humedales de importancia internacional. El análisis social se determinó mediante la metodología agroecológica del Diagnóstico Rural Participativo con ayuda de la metodología de Checkland, mediante acercamientos con la comunidad donde se indagó sobre temas bioculturales y ancestrales de las comunidades indígenas y campesinas acentadas en la zona, al igual que la aplicación de encuestas realizando la ponderación de resultados realizando un análisis descriptivo cuantitativo y cualitativo con histogramas y graficas estadísticas. El estudio ecológico-ambiental se desarrolló entre junio de 2018 a septiembre de 2019, realizando muestreos mediante buceo en temporadas de lluvias altas y bajas, comparando seis zonas (tres empresas y sus puntos control). En cada zona se tomó tres estaciones de muestreo (extremos y mitad de las jaulas a 0, 10 y 20 metros de profundidad con tres réplicas). Se midió parámetros físicos y químicos, al igual que nutrientes en agua y sedimentos, al igual que se analizó macroinvertebrados como bioindicadores. Los cambios agroecológicos fueron evaluados según las correlaciones y dinámicas entre las variables de estudio, mediante análisis discriminante, ACP, ACM y análisis de varianzas, verificando previamente los supuestos estadísticos.

El encuentro social con productores, trabajadores, ancianos sabedores, campesinos, indígenas y comunidad en general, permitió evidenciar que si bien es cierto la acuicultura genera fuentes de empleo y añade un factor económico positivo, no lo es tanto para mantener la biocultura de la zona, puesto que el modelo capitalista de producción va en contravía del arraigo y conservación de la cultura ancestral de las comunidades. De igual forma el diagnóstico rural participativo permitió determinar qué aspectos como la falta de ayuda gubernamental, carencia de extensión rural eficiente y necesidades básicas

insatisfechas, son factores influyentes en el inadecuado manejo de las producciones, el desconocimiento de la importancia del manejo agroecológico de las mismas y el poco desarrollo del sector, de las familias y de la región.

Este análisis social determinó también que el bajo grado de escolaridad influye en la falta de aplicación de buenas prácticas de producción acuícola por parte de los operarios de las empresas analizadas, al igual que muchos de ellos tienen pequeños cultivos los cuales no tienen ningún tipo de asesoría y control ambiental. Sin embargo, la acuicultura impacta favorablemente en la comunidad, puesto que muchos campesinos e indígenas se dedican a esta actividad dejando atrás labores de mayor impacto en el ecosistema como la producción de carbón y leña ilegal.

A diferencia de otras actividades como la agricultura, la producción acuícola aún no es vista como un agroecosistema sostenible y sustentable, sin embargo, al ser una de las actividades agropecuarias más amigables con el ambiente, se convierte en un gran potencial de inclusión social. Lastimosamente el término agroecología aplicada a la acuicultura es poco conocido por los productores, trabajadores, campesinos e indígenas asentados en el Lago Guamuez. En general, se habla de acuicultura ecológica, terminología que al ser profundizada desde el paradigma agroecológico puede influenciar la sostenibilidad ambiental, social, económica y cultural del sector y de sus pobladores.

Esta actividad ha contribuido a generar fuentes de empleo formal e informal, desplazando otras actividades de mayor riesgo como el mototaxismo, el desplazamiento de los jóvenes campesinos e indígenas pertenecientes al Resguardo Indígena Refugio del Sol a las ciudades y otros municipios en busca de empleo o el ingreso a las fuerzas militares perdiendo su arraigo, costumbre y tradiciones ancestrales.

En la parte ambiental, los parámetros fisicoquímicos del agua presentaron valores menos favorables en las empresas de cultivo a diferencia de puntos control, demostrando que los procesos acuícolas alteran en cierto grado la calidad del agua; sin embargo, los valores se encuentran en rangos aceptables para la acuicultura como para la ecología del lago. De igual forma los nutrientes fósforo total y nitrógeno total, la DBO<sub>5</sub> y DQO medidos no demuestran grandes cantidades contaminantes, estando dentro de los valores aceptables de calidad de agua, sin embargo, los valores se tornan mayores en las zonas de cultivo y a mayor profundidad principalmente para el nitrógeno y fósforo, lo que puede ocasionar acumulación en el fondo, creando zonas de proliferación algal y bacteriana.

Los sedimentos como depósito de residuos acuícolas presentaron alteración en los parámetros fisicoquímicos y nutrientes medidos en las empresas de cultivo, principalmente el fósforo total y nitrógeno total, sus valores presentan rangos aceptables pero su incremento podría causar problemas de eutrofización en el lago. Con respecto a los macroinvertebrados como bioindicadores, las zonas de cultivo A, B y C, presentaron

las familias *Chironomidae*, *Thiaridae*, *Ampullariidae*, *Planaridae*, quienes indican cierto grado de contaminación mientras que en los puntos control A1, B1 y C1, se encontraron las familias *Libellulidae*, *hydrobiosidae* e *Hydrachnidae*, lo que demuestra que los residuos provenientes de los cultivos acuícolas alteran la calidad del agua en las zonas circundantes a los mismos. Al igual las zonas de cultivo muestran menores diversidades de familias de macroinvertebrados y mayores dominancias de las mismas, comportamientos de indicadores biológicos poco favorables para los ecosistemas lacustres, bajas diversidades y riquezas en presencia de familias tolerantes demuestran intervención antrópica en este caso asociada a la acuicultura en jaulas flotantes.

**Palabras clave:** Lago Guamuez, humedal RAMSAR, acuicultura, jaulas flotantes, variabilidad ecológica, implicaciones sociales y bioculturales, acuicultura ecológica.

## Abstract

### **Ecological variability and social implications of aquaculture in the ramsar wetland, lake guamuez**

Aquaculture is proposed as an activity that supplies the production of meat with a high protein content in a profitable and sustainable way, however, its productions generate changes at an ecological-environmental level and has implications in the social environment and loss of culture as well than in the uses and customs in the communities related to it. Starting from the previous hypothesis, the present research with a qualitative and quantitative approach was proposed, aimed at determining the environmental, social and biocultural implications of aquaculture in the cultivation of rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) in floating crops. To achieve the above, changes in the quality of the water, in the sediments and in the structure of benthic macroinvertebrates were observed, taking as a reference three companies dedicated to this activity located in the upper, middle and lower part of Lake Guamuez, department of Nariño, categorized as RAMSAR wetland within wetlands of international importance. The social analysis was determined through the agroecological methodology of the Participatory Rural Diagnosis with the help of the Checkland methodology, through approaches with the community where biocultural and ancestral issues of the indigenous and peasant communities accented in the area were investigated, as well as the application of surveys carrying out the weighting of results carrying out a quantitative and qualitative descriptive analysis with histograms and statistical graphs. The ecological-environmental study was developed between June 2018 and September 2019, sampling by diving in high and low rain seasons, comparing six areas (three companies and their control points). In each zone, three sampling stations were taken (ends and half of the cages at 0, 10 and 20 meters depth with three replicas). Physical and chemical parameters were measured, as well as nutrients in water and sediments, as well as macroinvertebrates as bioindicators. The agroecological changes were evaluated according to the correlations and dynamics



between the study variables, through discriminant analysis, PCA, ACM and analysis of variances, previously verifying the statistical assumptions.

The social meeting with producers, workers, knowledgeable elders, peasants, indigenous people and the community in general, allowed to show that although aquaculture generates sources of employment and adds a positive economic factor, it is not so much to maintain the bioculture of the area, since the capitalist model of production goes against the roots and conservation of the ancestral culture of the communities. In the same way, the participatory rural diagnosis allowed to determine which aspects such as the lack of government aid, lack of efficient rural extension and unsatisfied basic needs, are influencing factors in the inadequate management of the productions, the ignorance of the importance of the agroecological management of the same and the little development of the sector, families and the region.

This social analysis also determined that the low level of schooling influences the lack of application of good aquaculture production practices by the operators of the companies analyzed, just as many of them have small crops which do not have any type of advice. and environmental control. However, aquaculture has a favorable impact on the community, since many farmers and indigenous people dedicate themselves to this activity, leaving behind tasks of greater impact on the ecosystem such as the production of illegal charcoal and firewood.

Unlike other activities such as agriculture, aquaculture production is not yet seen as a sustainable and sustainable agroecosystem, however, being one of the most environmentally friendly agricultural activities, it becomes a great potential for social inclusion. Unfortunately, the term agroecology applied to aquaculture is little known by producers, workers, peasants and indigenous people settled in Lake Guamuez. In general, we talk about ecological aquaculture, a terminology that when deepened from the agroecological paradigm can influence the environmental, social, economic and cultural sustainability of the sector and its inhabitants.

This activity has contributed to generating sources of formal and informal employment, displacing other activities of greater risk such as motorcycle taxation, the displacement of young peasants and indigenous people belonging to the Refugio del Sol Indigenous Reservation to cities and other municipalities in search of employment or the entry to the military forces losing their roots, custom and ancestral traditions.

In the environmental part, the physicochemical parameters of the water presented less favorable values in the farming companies than in the control points, showing that the aquaculture processes alter the quality of the water to a certain degree; however, the values are within acceptable ranges for aquaculture as well as for the ecology of the lake. In the same way, the total phosphorus and total nitrogen nutrients, the measured BOD5 and COD do not show large amounts of pollutants, being within the acceptable values of water quality, however, the values become higher in the growing areas and mainly at greater depth. for nitrogen and phosphorus, which can cause accumulation in the bottom, creating areas of algal and bacterial proliferation.

The sediments as a deposit of aquaculture residues presented alteration in the physicochemical parameters and nutrients measured in the farming companies, mainly total phosphorus and total nitrogen, their values present acceptable ranges but their increase could cause eutrophication problems in the lake. With regard to macroinvertebrates as bioindicators, the cultivation zones A, B and C, presented the families Chironomidae, Thiaridae, Ampullariidae, Planaridae, which indicate a certain degree of contamination while in control points A1, B1 and C1, the families Libellulidae, Hydrobiosidae and Hydrachnidae, which shows that the residues from aquaculture crops alter the quality of the water in the areas surrounding them. Likewise, the cultivation areas show lower diversities of macroinvertebrate families and greater dominances of them, behavior of biological indicators not very favorable for lake ecosystems, low diversities and wealth in the presence of tolerant families show anthropic intervention in this case associated with aquaculture in floating cages.

**Keywords:** Lake Guamuez, RAMSAR wetland, aquaculture, floating cages, ecological variability, social and biocultural implications, ecological aquaculture.

# Contenido

	Pág.
<b>RESUMEN</b> .....	III
Lista de figuras .....	14
Lista de tablas .....	20
Lista de anexos .....	23
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	25
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	28
<b>2. JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS</b> .....	34
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	38
<b>3.1.</b> Objetivo general.....	38
<b>3.2.</b> Objetivos específicos.....	38
<b>4. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE</b> .....	39
<b>4.1.</b> Memoria Biocultural .....	39
<b>4.1.1.</b> Memoria Biocultural en Ecosistemas .....	39
<b>4.1.2.</b> Memoria Biocultural en Ecosistemas Acuáticos .....	41
<b>4.1.3.</b> Implicaciones sociales para una acuicultura sostenible.....	43
<b>4.2.</b> Desarrollo de una Acuicultura Ecológica.....	44
<b>4.3.</b> Acuicultura agroecológica como un enfoque ecosistémico .....	45
<b>4.4.</b> Estado de la actividad acuícola a nivel mundial .....	47

4.5.	Producción piscícola colombiana .....	48
4.6.	Piscicultura en el departamento de Nariño .....	50
4.7.	Lago Guamuez “Humedal Internacional RAMSAR .....	50
4.8.	Cultivo de Trucha arcoíris en jaulas flotantes .....	52
4.8.1.	Trucha arcoíris “Oncorhynchus mykiss” (Walbaum, 1792).. .....	52
4.8.2.	Hábitat y alimentación. ....	53
4.8.3.	Cultivo en jaulas flotantes.....	53
4.9.	Contaminación en los ecosistemas receptores de procesos acuícolas.....	54
4.10.	Macroinvertebrados acuáticos y su uso como bioindicadores. ....	58
4.10.1.	Beneficios y dificultades del trabajo con macroinvertebrados acuáticos.....	61
4.10.2.	Macroinvertebrados bentónicos y su importancia ecológica. ....	62
<b>5.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>63</b>
5.1.	ÁREA DE ESTUDIO.....	63
5.1.1.	Zonas y estaciones de Muestreo.....	66
5.1.2.	Investigación acción participativa para indagar sobre memoria biocultural .....	68
5.1.3.	Investigación acción participativa para el componente social. ....	69
5.1.3.1.	Diagnóstico Rural Participativo.....	70
5.1.4.	Monitoreo de parámetros fisicoquímicos .....	74
5.1.5.	Análisis de nutrientes, DBO5, DQO, solidos suspendidos y solidos disueltos .....	74
5.1.6.	Determinación de sedimentos. ....	76
5.2.	PARÁMETROS COMUNITARIOS PARA EL ANÁLISIS DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	78
5.2.1.	Parámetros comunitarios de diversidad biológica.....	78
5.2.1.1	Índice de Shannon-Weaver (H´).....	78

5.2.1.2	Índice de Uniformidad o equitatividad de Pielou. (Pielou, E. C. 1975).....	78
5.2.1.3	Índice de riqueza de Margalef.....	79
5.2.1.4	Índice de dominancia de Berger–Parker.....	79
5.2.2.	Análisis Estadístico:.....	79
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	81
6.1	<b>OBJETIVO ESPECÍFICO 1.</b> Importancia y relevancia social, económica y ambiental a través de la memoria biocultural de las comunidades aledañas al lago Guamuez. ....	81
6.1.1.	Memoria Biocultural del Lago Guamuez .....	81
6.1.1.1	Importancia del productor como ser y eje principal del agroecosistema acuícola.....	84
6.2.	<b>OBJETIVO ESPECÍFICO 2.</b> Componente socio-ambiental en torno a la acuicultura desarrollada en el agroecosistema y las relaciones eco-sociales con los productores de la zona.....	90
6.2.1.	Aspectos legales de la actividad piscícola. ....	90
6.2.1.1.	Concesión de aguas.....	90
6.2.1.2.	Aplicación Manuales de buenas prácticas de producción acuícola.....	91
6.2.2.	Aspectos técnicos relacionados a las unidades de cultivo. ....	92
6.2.2.1.	Número de Jaulas que posee la producción.....	93
6.2.2.2.	Manejo y registros productivos.....	94
6.2.2.3.	Uso de medicamentos o sustancias químicas para los procesos de cultivo.....	95
6.2.2.4.	Sistema de cultivo utilizado.....	96
6.2.3.	Aspectos relacionados a la calidad del agua. ....	97
6.2.3.1.	Control de parámetros básicos de calidad de agua en el cultivo.....	98
6.2.3.2.	Control de parámetros especializados o de sedimentos en el cultivo.....	99
6.2.4.	Aspectos socioeconómicos.....	100
6.2.4.1.	Grado de escolaridad de los productores.....	101
6.2.4.2.	Comercialización de los productos provenientes de la acuicultura.....	102
6.2.4.3.	Ingresos económicos de los productores dedicados a la acuicultura.....	103
6.2.4.4.	Personas del núcleo familiar que se benefician de la producción acuícola. ....	105
6.2.4.5.	Actividades desarrolladas antes dedicarse a la acuicultura.....	106
6.2.5.	Planes de expansión y desarrollo. ....	108
6.2.5.1.	¿El productor tiene previsto incrementar sus cultivos acuícolas?... ..	108
6.2.5.2.	Factores limitantes para la expansión de las producciones acuícolas.....	110
6.3.1.	Acuicultura en el contexto agroecológico. Análisis del Lago Guamuez. ....	112
6.3.2.	La acuicultura vista como un agrosistema eficiente para la seguridad alimentaria.....	113
6.3.3.	Acuicultura agroecológica como resiliencia al cambio climático.....	114
6.3.	<b>OBJETIVO ESPECÍFICO 3.</b> Cambios ambientales mediante el análisis de parámetros físicoquímicos en agua y sedimentos.....	116

6.3.1. Parámetros fisicoquímicos del agua .....	116
6.3.1.1 Oxígeno disuelto (mg/). .....	116
6.3.1.2 Temperatura (°C).. .....	120
6.3.1.3 Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).. .....	123
6.3.1.4 Potencial de hidrógeno (pH).....	126
6.3.1.5 Dureza (mgcaCO <sub>3</sub> /L).....	128
6.3.1.6 Alcalinidad (mg/caCO <sub>3</sub> ).....	131
6.3.1.7 Turbidez (UNT).....	134
6.3.1.8 Transparencia (m).....	137
6.3.2. Parámetros fisicoquímicos en sedimentos .....	140
6.3.2.1 Materia orgánica (%). .....	141
6.3.2.2 Fósforo total (gP/kg).....	143
6.3.2.3 Nitrógeno total (gN/kg).....	146
6.3.2.4 Potencial hidrógeno (pH).....	149
<b>6.4. OBJETIVO ESPECÍFICO 4.</b> Determinación del grado de contaminación en las zonas de estudio por medio de la cuantificación de nutrientes aportados por los procesos acuícolas.....	151
6.4.1. Nitrógeno total (mgN/L). .....	152
6.4.2. Fósforo total (mgP/L).....	155
6.4.3. Demanda biológica de oxígeno DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L).....	157
6.4.4. Demanda química de oxígeno DQO (mgO <sub>2</sub> /L).....	161
6.4.5. Sólidos suspendidos (mg/L). .....	163
6.4.6. Sólidos disueltos (mg/L). .....	166
<b>6.5. OBJETIVO ESPECÍFICO 5.</b> Estructura ecológica y taxonómica de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores del sistema acuático.....	169
6.5.1. Porcentaje de individuos por especie y zona de muestreo. ....	170
6.5.2. Parámetros comunitarios de diversidad biológica.....	175
6.5.2.1 Índice de diversidad de Shannon-Weaver (H'):.....	176
6.5.2.2 Índice de Equidad de Pielou (J'):.....	178
6.5.2.3 Índice de riqueza de Margalef (D <sub>mg</sub> ):.....	180
6.5.2.4 Índice de dominancia de Berger–Parker (B).....	182
<b>6.6. ANÁLISIS DE ESTADÍSTICOS MULTIVARIADOS.....</b>	185
6.6.1. Análisis de correlación múltiple. ....	185
6.6.1.1. Análisis de correlación múltiple parámetros fisicoquímicos.....	185
6.6.1.2. Análisis de correlación múltiple parámetros fisicoquímicos en sedimentos. ....	189
6.6.1.3. Análisis de correlación múltiple en nutrientes del agua, DBO <sub>5</sub> , DQO, Sólidos suspendidos y sólidos disueltos.....	191

<b>6.6.1.4.</b>	Análisis de correlación múltiple en parámetros comunitarios de diversidad biológica (Diversidad de Shannon, Riqueza de Margalef, equitatividad de Pielou, dominancia de Berger Parker).....	194
<b>6.6.2.</b>	Análisis Discriminante.....	198
<b>6.6.3.</b>	Análisis de componentes principales .....	204
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES YRECOMENDACIONES</b> .....	213
7.1	Conclusiones .....	213
7.2	Recomendaciones .....	216
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	218
	<b>ANEXOS</b> .....	252

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1:</b> Representación gráfica de la memoria biocultural .....	39
<b>Figura 2:</b> Representación gráfica de la memoria biocultural en los ecosistemas .....	41
<b>Figura 3:</b> El agua como memoria cultural de vida.....	42
<b>Figura 4:</b> Factores principales para una acuicultura sostenible .....	44
<b>Figura 5:</b> Visión agroecológica del sector acuícola mediante el enfoque ecosistémico .....	46
<b>Figura 6:</b> Producción acuícola mundial (1995 – 2014).....	48
<b>Figura 7:</b> Producción acuícola en Colombia (2000 – 2013).....	49
<b>Figura 8:</b> Humedal RAMSAR- Lago Guamuez o laguna de La Cocha.....	51
<b>Figura 9:</b> Trucha arcoíris <i>Oncorhynchus mykiss</i> (Walbaum, 1792).....	53
<b>Figura 10:</b> Jaulas flotantes para el cultivo de trucha arcoíris .....	54
<b>Figura 11:</b> Contaminación en los ecosistemas receptores de procesos acuícolas .....	55
<b>Figura 12:</b> Clave dicotómica para la identificación de macroinvertebrados .....	59
<b>Figura 13:</b> Lago Guamuez, Corregimiento del Encano, Municipio de Pasto, Departamento de Nariño.....	63
<b>Figura 14:</b> Ubicación geográfica Lago Guamuez o Laguna de La Cocha .....	64



<b>Figura 15:</b> Empresas de Producción Intensiva de Trucha Arcoíris. a) Empresa ubicada en la vereda El Motilón, b) Empresa vereda Santa Teresita, c) Empresa vereda El Naranjal.....	64
<b>Figura 16:</b> Ubicación de las zonas de muestreo.....	67
<b>Figura 17:</b> Reunión de articulación con el ICA y productores de trucha arcoíris del Lago Guamuez.....	69
<b>Figura 18:</b> Jornada de integración comunitaria .....	70
<b>Figura 19:</b> Dimensiones de la agroecología involucradas en un Diagnóstico Rural Participativo. ....	70
<b>Figura 20:</b> Recolección de información secundaria con productores de trucha del Lago Guamuez .....	71
<b>Figura 21:</b> Metodología de Checkland, sistemas blandos o suaves .....	73
<b>Figura 22:</b> Aplicación de encuesta a productores de trucha arcoíris del Lago Guamuez .....	74
<b>Figura 23:</b> Monitoreo de parámetros fisicoquímicos en las zonas de muestreo .....	75
<b>Figura 24:</b> Recolección muestras de agua para análisis de nutrientes en las zonas de muestreo .....	75
<b>Figura 25:</b> Análisis de muestras de nutrientes en laboratorio .....	75
<b>Figura 26:</b> Recolección de muestras de sedimentos en las zonas de muestreo.....	76
<b>Figura 27:</b> Muestras de sedimentos para su análisis en laboratorio .....	76
<b>Figura 28:</b> Identificación taxonómica de macroinvertebrados bentónicos .....	77
<b>Figura 29:</b> Determinación de materia orgánica de los sedimentos recolectados en las zonas de muestreo .....	77
<b>Figura 30:</b> Concesiones de agua otorgadas para acuicultura en el lago Guamuez .....	91
<b>Figura 31:</b> Aplicación manuales de buenas prácticas en producción acuícola.....	92
<b>Figura 32:</b> Número de jaulas flotantes que posee la producción.....	94
<b>Figura 33:</b> Manejo de registro productivos .....	95

<b>Figura 34:</b> Uso de medicamentos o sustancias químicas para los procesos de cultivo .....	96
<b>Figura 35:</b> Sistema de cultivo utilizado (Intensivo, semi-intensivo, extensivo) .....	97
<b>Figura 36:</b> Control de parámetros básicos de calidad de agua en el cultivo .....	99
<b>Figura 37:</b> Control de parámetros especializados o de sedimentos en el cultivo .....	100
<b>Figura 38:</b> Grado de escolaridad de los productores .....	102
<b>Figura 39:</b> Comercialización de los productos provenientes de la acuicultura .....	103
<b>Figura 40:</b> Ingresos económicos de los productores dedicados a la acuicultura .....	105
<b>Figura 41:</b> Personas del núcleo familiar beneficiadas directa e indirectamente por los cultivos acuícolas .....	106
<b>Figura 42:</b> Actividades desarrolladas antes dedicarse a la acuicultura .....	108
<b>Figura 43:</b> Incremento de las unidades de cultivo .....	110
<b>Figura 44:</b> Factores limitantes para la expansión de las producciones acuícolas.....	111
<b>Figura 45:</b> Valores de oxígeno disuelto (m/L) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo.....	118
<b>Figura 46:</b> Valores de temperatura (mg/L) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo.....	121
<b>Figura 47:</b> Valores de conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo .....	124
<b>Figura 48:</b> Valores de potencial de hidrógeno (pH) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo.....	127
<b>Figura 49:</b> Valores de dureza (mg/ $\text{CaCO}_3$ ) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo.....	130
<b>Figura 50:</b> Valores de alcalinidad (mg/ $\text{CaCO}_3$ ) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo.....	133
<b>Figura 51:</b> Valores de turbidez (UNT) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo.....	136
<b>Figura 52:</b> Valores de transparencia (m) por época de lluvias y zonas de muestreo .....	139

<b>Figura 53:</b> Valores de materia orgánica (%) en sedimentos por época de lluvias y zonas de muestreo.....	142
<b>Figura 54:</b> Valores de fósforo total (gP/Kg) en sedimentos por época de lluvias y zonas de muestreo.....	145
<b>Figura 55:</b> Valores de nitrógeno total (gN/Kg) en sedimentos por época de lluvias y zonas de muestreo.....	147
<b>Figura 56:</b> Valores de potencial de hidrógeno (pH) en sedimentos por época de lluvias y zonas de muestreo.....	150
<b>Figura 57:</b> Valores de nitrógeno total (mg/L) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo.....	153
<b>Figura 58:</b> Valores de fósforo total (mgP/L) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo.....	156
<b>Figura 59:</b> Valores de DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo.....	159
<b>Figura 60:</b> Valores de DQO (mgO <sub>2</sub> /L) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo.....	162
<b>Figura 61:</b> Valores de sólidos suspendidos (mg/L) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo.....	165
<b>Figura 62:</b> Valores de solidos disueltos (mg/L) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo.....	168
<b>Figura 63:</b> Macroinvertebrados bentónicos recolectados en las zonas de monitoreo en el Lago Guamuez. a) <i>Planariidae</i> ; b) <i>Chironomidae</i> ; c) <i>Thiaridae</i> ; d) <i>Ampullariidae</i> ; e) <i>Libellulidae</i> ; f) <i>Hydrobiosidae</i> ; g) <i>Hydrachnidae</i> .....	170
<b>Figura 64:</b> Porcentaje de individuos por especie.....	171
<b>Figura 65:</b> Porcentaje de macroinvertebrados por zona de muestreo.....	172
<b>Figura 66:</b> Valores comparativos del Índice de Diversidad de Shannon-Weaver (H').....	177
<b>Figura 67:</b> Valores comparativos del Índice de Equidad de Pielou (J').....	179
<b>Figura 68:</b> Valores comparativos del Índice de riqueza de Margalef (Dmg).....	181
<b>Figura 69:</b> Valores comparativos del Índice de dominancia de Berger-Parker (B).....	183

**Figura 70:** Representación gráfica del análisis discriminante.....200

**Figura 71:** Gráfica de pesos de las variables entre los componentes 1 y 2 ..... 209

**Figura 72:** Gráfica de pesos de las variables entre los componentes 1 y 3.....210

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1:</b> Componentes, Logros y Objetivos de un análisis agroecológico .....	46
<b>Tabla 2:</b> Clasificación taxonómica de la trucha arcoíris (Walbaum, 1792). .....	52
<b>Tabla 3:</b> Zonas de estudio en el Lago Guamuez .....	67
<b>Tabla 4:</b> Algunos factores de Memoria Biocultural del lago Guamuez.....	83
<b>Tabla 5:</b> Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de oxígeno disuelto (mg/L) de las zonas y profundidades de muestreo.....	118
<b>Tabla 6:</b> Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de temperatura (°C) de las zonas y profundidades de muestreo .....	121
<b>Tabla 7:</b> Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de las zonas y profundidades de muestreo.....	124
<b>Tabla 8:</b> Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de potencial de hidrógeno (pH) de las zonas y profundidades de muestreo.....	127
<b>Tabla 9:</b> Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de dureza (mg/ $\text{CaCO}_3$ ) de las zonas y profundidades de muestreo.....	130
<b>Tabla 10:</b> Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de alcalinidad (mg/ $\text{CaCO}_3$ ) de las zonas y profundidades de muestreo.....	133
<b>Tabla 11:</b> Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de turbidez (UNT) de las zonas y profundidades de muestreo.....	136
<b>Tabla 12:</b> Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de transparencia (m) de las zonas de muestreo.....	139

<b>Tabla 13:</b> Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de materia orgánica (%) en sedimentos de las zonas de muestreo.....	142
<b>Tabla 14:</b> Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de fósforo total (gP/kg) en sedimentos de las zonas de muestreo.....	144
<b>Tabla 15:</b> Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de nitrógeno total (gN/kg) en sedimentos de las zonas de muestreo.....	147
<b>Tabla 16:</b> Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación del potencial de hidrógeno (pH) en sedimentos de las zonas de muestreo....	150
<b>Tabla 17:</b> Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de nitrógeno total (mgN/L) en sedimentos de las zonas de muestreo.....	153
<b>Tabla 18:</b> Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de fósforo total (mgP/L) en sedimentos de las zonas de muestreo.....	156
<b>Tabla 19:</b> Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L) en sedimentos de las zonas de muestreo.....	159
<b>Tabla 20:</b> Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de DQO (mgO <sub>2</sub> /L) en sedimentos de las zonas de muestreo.....	162
<b>Tabla 21:</b> Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de sólidos suspendidos (mg/L) en sedimentos de las zonas de muestreo.....	165
<b>Tabla 22:</b> Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de sólidos disueltos (mg/L) en sedimentos de las zonas de muestreo..	168
<b>Tabla 23:</b> Porcentaje de individuos por época de lluvias y zona de muestreo. ....	171
<b>Tabla 24:</b> Total de individuos y su abundancia relativa por época de lluvias.....	172
<b>Tabla 25:</b> Índice de diversidad de Shannon-Weaver (H') por época de lluvias y zonas de muestreo .....	176

<b>Tabla 26:</b> Índice de Equidad de Pielou ( $J'$ ): por época de lluvias y zonas de muestreo.....	179
<b>Tabla 27:</b> Índice de riqueza de Margalef ( $D_{mg}$ ) por época de lluvias y zonas de muestreo.....	181
<b>Tabla 28:</b> Índice de dominancia de Berger–Parker ( $B$ ) por época de lluvias y zonas de muestreo.....	183
<b>Tabla 29:</b> Análisis de correlación múltiple entre las variables de estudio.....	197
<b>Tabla 30:</b> Grado de significancia ( $p < 0,05$ ) de las funciones discriminantes.....	198
<b>Tabla 31:</b> Coeficiente de la función discriminante entre zonas de estudio.....	198
<b>Tabla 32:</b> Clasificación en porcentaje de casos correctamente clasificados (100,00%).....	201
<b>Tabla 33:</b> Análisis de componentes principales para las variables de estudio.....	204
<b>Tabla 34:</b> Peso de las variables de estudio por componente.....	205

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo A:</b>	Medición de parámetros fisicoquímicos medidos en el agua de las áreas y puntos de muestreo. ....	250
<b>Anexo B:</b>	Análisis Estadístico para Oxígeno Disuelto (mg/L).....	256
<b>Anexo C:</b>	Análisis Estadístico para Temperatura (C°). . . . .	257
<b>Anexo D:</b>	Análisis Estadístico para Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).....	258
<b>Anexo E:</b>	Análisis Estadístico para potencial de Hidrógeno (pH).....	259
<b>Anexo F:</b>	Análisis Estadístico para dureza (mg/caCO <sub>3</sub> ).....	260
<b>Anexo G:</b>	Análisis Estadístico para alcalinidad (mg/caCO <sub>3</sub> ). . . . .	261
<b>Anexo H:</b>	Análisis Estadístico para turbidez (UNT).....	262
<b>Anexo I:</b>	Análisis Estadístico para Transparencia (Metros).....	263
<b>Anexo J:</b>	Medición de parámetros fisicoquímicos medidos en los sedimentos de las áreas y puntos de muestreo. ....	264
<b>Anexo K:</b>	Análisis Estadístico para Materia Orgánica (%) en sedimentos .....	268
<b>Anexo L:</b>	Análisis Estadístico para Fósforo Total (gP/kg) en sedimentos.....	269
<b>Anexo M:</b>	Análisis Estadístico para Nitrógeno Total (gN/kg) en sedimentos .....	270
<b>Anexo N:</b>	Análisis Estadístico para potencial de hidrógeno pH en sedimentos.....	271
<b>Anexo Ñ:</b>	Medición de nitrógeno total, fósforo total, DBO <sub>5</sub> , DQO, sólidos suspendidos y sólidos disueltos, medidos en el agua de las áreas y puntos de muestreo.....	272
<b>Anexo O:</b>	Análisis Estadístico para Nitrógeno Total (mg/L). . . . .	274
<b>Anexo P:</b>	Análisis Estadístico para Fósforo Total (mg/L).....	275
<b>Anexo Q:</b>	Análisis Estadístico para DB <sub>05</sub> (mgO <sub>2</sub> /L) ... . . . .	276



<b>Anexo R:</b>	Análisis Estadístico para DQO (mgO <sub>2</sub> /L).....	277
<b>Anexo S:</b>	Análisis Estadístico para Sólidos Suspendedos (mg/L). .....	278
<b>Anexo T:</b>	Análisis Estadístico para Sólidos Disueltos (mg/L).....	279
<b>Anexo U:</b>	Familias de Macroinvertebrados bentónicos recolectados por época de lluvias y zonas de muestreo en el Lago Guamuez. ....	280
<b>Anexo V:</b>	Análisis Estadístico para Diversidad de Shannon (H').....	284
<b>Anexo W:</b>	Análisis Estadístico para Equitatividad de Pielou (J'). ....	285
<b>Anexo X:</b>	Análisis Estadístico para Riqueza de Margalef (Dmg).....	286
<b>Anexo Y:</b>	Análisis Estadístico para Dominancia de Berger Parker (B). ....	287
<b>Anexo Z:</b>	Matriz de Correlación múltiple .....	289
<b>Anexo AA:</b>	Encuesta caracterización socio-ambiental y económica (sistema cerrado) piscicultores corregimiento del Encano, municipio de Pasto, departamento de Nariño..	290
<b>Anexo AB:</b>	Entrevistas conversacionales sobre conocimientos básicos y aplicación de la agroecología en la acuicultura por parte del productor. ....	293

# Introducción

La acuicultura, a comparación de otros sectores que producen alimentos de origen animal crece a mayor velocidad. El aporte de esta actividad en los mercados internacionales de pescado, moluscos, crustáceos y algas aumentó de 5,8 % de lo producido en su totalidad en peso en 1980 al 48,8 por ciento en 2010, según lo afirma “El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura” (FAO 2012). Debido a la sobreexplotación de la pesca de captura, el daño ocasionado a los ecosistemas y a la ecología acuática, la acuicultura sobresale en la producción de carne con excelentes niveles de proteína (FAO, 2016).

La acuicultura se convirtió en el sustento de proteína de buena calidad y de mejor relación con el ambiente a nivel mundial y con ello abastecerá el incremento en la demanda sobre el consumo de pescado. Por otra parte, la población mundial va en aumento, incrementando el ingreso per cápita y con ello el crecimiento de las ciudades, lo que incentivará el consumo y la demanda de pescado (The Economist, 2003).

Los lugares donde esta actividad ha sido introducida tienden a sufrir cambios en su biocultura, donde la visión capitalista de la producción suele sobrepasar los arraigos ancestrales, al igual que los usos y costumbres de las comunidades, afectando su cultura ancestral y la sana convivencia con la naturaleza y todos los servicios ecosistémicos que esta nos brinda. Es por ello que el objetivo de la acuicultura se debe centrar en mirar la actividad bajo un enfoque de agroecosistema que abarque no solo la relación oferta demanda, sino, que añada la parte social y humana, cultural, política, ambiental y su interacción holística con todo el entorno (Soto, 2017).

Colombia es uno de los países latinoamericanos con mayor biodiversidad del mundo, presentando variedad de ecosistemas hídricos ricos en fuentes de agua dulce, marina y salubre. Cuenta con diferentes relieves cuyos climas presentan periodos estables durante el año, existen grandes áreas de tierra aptas para realizar piscicultura, convirtiéndose en una actividad con promisorio desempeño (AUNAP, 2014). La acuicultura colombiana presenta un incremento paralelo al incremento mundial, donde en promedio al año ha presentado un crecimiento del 15% en los últimos 28 años, destacando principalmente los cultivos extensivos, semi intensivos y en menor proporción

los intensivos, posicionando al país en el séptimo puesto en Latinoamérica. Desafortunadamente este sector realiza sus producciones de forma desagregada, sin organización y sin tener en cuenta los efectos negativos que ocasiona al ambiente, principalmente en los sistemas lenticos como lagos y lagunas y peor aún sin poner en marcha las normas y leyes que la regulan lo que serviría de apoyo efectivo y control en los procesos (AUNAP, 2013).

La producción acuícola es vista como una de las actividades del sector pecuario que mejor se relaciona con el ambiente, sin embargo, como generadora de procesos causa efectos negativos en la ecología y estructura del ecosistema donde se realice, y no solo en la parte ambiental y ecológica, sino, presenta efectos que pueden ser positivos o negativos en el comportamiento social de la población involucrada. Esta variación ecológica y efectos sociales no están descritos con certeza, lo que dificulta el desarrollo agroecológico del sector limitando el acceso a información definida existente en Colombia (FAO, 2014 a).

La producción acuícola en Nariño se posiciona en el sexto lugar a lo largo del territorio colombiano. Tiene como centro de aprovechamiento el Lago Guamuez uno de los sistemas lenticos naturales de mayor extensión de espejo de agua en Colombia, se encuentra ubicado en Corregimiento del Encano municipio de Pasto. Este sistema lacustre fue denominado como Humedal Ramsar, dentro de la categoría de ecosistemas de importancia mundial y donde las producciones acuícolas integran un factor primordial para desempeño económico y social de la población residente en el sector, por lo que actualmente se tiene un estimado de 912 instalaciones flotantes presentes en el lago que son utilizadas para el cultivo de truchas y según los diferentes censos e inventarios realizados se tiene que 545 están con producciones y 267 se encuentran inactivas (AUNAP, 2013; Corponariño, 2014).

Si bien es cierto se destaca lo importante del lago con respecto a las producciones de trucha arcoíris, se refleja la inminente preocupación por el grado de intervención ambiental que dichos cultivos están ocasionando al entorno (Buschmann, 2001). El suministro de alimento balanceado para peces, las heces de los mismos y otro tipo de sustancias causan cambios en la estructura fisicoquímica y biológica en la columna de agua como en sedimentos circundantes a los cultivos piscícolas, llegando afectar incluso a los mismos peces dentro del cultivo (Salas et al., 2014; López, 2014).

Bajo un enfoque agroecológico los humedales son relevantes por sus elevados niveles de productividad biológica, y son fuentes potenciales de recursos, proveyendo diversos servicios ecosistémicos. Muchos de estos agroecosistemas son utilizados para cultivos acuícolas y de pesca, viéndose afectados ecológicamente en sus componentes físicos, químicos y biológicos, sin dejar atrás su interacción con los pobladores y productores quienes influyen de forma positiva como negativa en el desarrollo y desempeño del entorno. Ecológicamente, los humedales no solo juegan un papel importante en el control de inundaciones, almacenamiento de agua y regulación del clima, sino que también purifican el agua, mejoran el suelo y aumentan las especies y el número de animales silvestres (Méndez et al., 2013; FAO, 2014 a).

La acuicultura se desarrolla bajo el concepto ecológico fundamentado en la disminución de la pesca cuyos impactos al ambiente se han visto reflejados en la disminución de la biodiversidad. Sin embargo, el sector acuícola como toda actividad de producción se viene industrializando bajo sistemas intensivos y súper intensivos, que si bien es cierto sus efectos negativos no se comparan con los de la pesca, tampoco son despreciables, sobre todo en los humedales receptores de estos procesos (Cederlof, 2016, Anderson et al., 2016).

Esta investigación permitió realizar un enfoque agroecológico analizando las implicaciones sociales con relación a la población involucrada en la actividad acuícola que se desarrolla en esta Región, determinando no solo sus efectos económicos sino tomando como prioridad su biocultura y arraigos ancestrales. De igual manera, determinó la contaminación que generan los procesos acuícolas de tres empresas con producciones intensivas de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en la columna del agua y sedimentos del lago, analizando parámetros fisicoquímicos y macronutrientes, al igual que la variación en la estructura ecológica por medio de macroinvertebrados bentónicos y su uso como indicadores biológicos.

# 1.Planteamiento del problema

El importante desarrollo de la actividad acuícola ha desencadenado la preocupación de entidades gubernamentales, no gubernamentales y la sociedad en general por los efectos de contaminación y cambios que producen en los ecosistemas acuáticos, además de las implicaciones sociales que causa en las comunidades de pobladores donde se realiza, puesto que la visión de producción puede conllevar a prácticas intensivas de carácter capitalista que finalmente resulta en el desarraigo de la biocultura, pérdida de usos y costumbres y desintegración agrofamiliar. Estos efectos perturban los sistemas lacustres como lagos, lagunas, ríos y mares donde esta actividad se desarrolla. Dichos cambios y perturbaciones no son más que la simple causa del concentrado que los peces no consumen, los desechos metabólicos, productos farmacéuticos, entre otros (Bordehore, 2005; Freitas, 2015).

Para los estudios agroecológicos el principal factor de análisis es el componente social, puesto que toda la agroecología no solo es una herramienta para estudios específicos, sino, es una ciencia holística, que se fundamenta en el contacto y la práctica con las comunidades, sus estilos de vida y funciona más bien como un movimiento social revolucionario enfocado en el desarrollo rural sostenible, la conservación del ambiente, la naturaleza y los territorios; además incluye la dinámica ecológica, ambiental y social que giran alrededor de la población involucrada quienes son los directos responsables de que ocurran dichos procesos (Corponariño, & Corpoamazonia, 2002). Lastimosamente mucha de la información sobre las actividades acuícolas se enfoca en cuanto y como se produce, pero no se tiene en cuenta en qué condiciones se produce, quien produce y como es la relación de esta población que se relaciona directa o indirectamente de la actividad. La condición social y técnico-productiva dentro de un ecosistema presentan una relación directa, por lo que se puede asimilar que, si una de las partes genera cambios, la otra es afectada y viceversa (FAO b, 2011).

Actualmente la principal actividad económica en el corregimiento del Encano donde se encuentra situado el lago Guamuez es la producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mikiss*), con un estimado de 90 empresas productoras que representan 1057 jaulas flotantes instaladas; estas producciones manejan todas las etapas de cultivo, alevinaje, levante y engorde y en algunas se realiza transformación del producto (AUNAP, 2016).

Es fundamental que se apropie los términos agroecológicos en la acuicultura, puesto que una de las prácticas de esta ciencia va direccionada al cuidado y conservación de los ecosistemas, al igual que despierte la preocupación por el estado ambiental, la biodiversidad y la naturaleza del segundo cuerpo de agua más importante a nivel nacional como es el Lago Guamuez o Laguna de La Cocha, categorizada como Humedal RAMSAR, por su importancia ambiental y ecosistémica tanto en Nariño y Colombia, como para el resto del mundo.

Otra de los factores en el lago y cuya importancia lastimosamente no es la esperada, es la diversidad biocultural, vista como evolución paralela de la diversidad biológica y cultural y la adaptación continua entre las dos. Con ella se pretende relacionar la acuicultura con la diversidad social, económica, ambiental y ancestral del lugar permitiendo reflejar las maneras en que las personas conviven con la naturaleza. Esta investigación permitirá a lo largo de generaciones, crear conocimientos ecológicos y prácticas locales que permitan no solo a las comunidades asentadas en el lago, sino, las de todo el mundo y que se dedican a la acuicultura gestionar sus recursos de forma sostenible manteniendo al mismo tiempo su identidad cultural y sus estructuras sociales.

La mayoría de producciones piscícolas establecidas en Nariño y principalmente las existentes en este lago considerado como la fortaleza en producción de trucha del Departamento, no demuestran mayor interés en las variables ecológicas y ambientales en las técnicas productivas, los impactos causados son menospreciados, dando importancia en primer lugar a factores económicos y sociales que no reflejan la conciencia ambiental. Este desinterés por parte de los productores en cómo se produce y que repercusiones se está causando al ecosistema evidencia el desgaste y deterioro del cuerpo lacustre (CORPONARIÑO, 2014).

Gran parte de los problemas ocasionados por la piscicultura se pueden reducir y remediar si en primer lugar se obtiene el conocimiento necesario de la técnica de producción, la ubicación adecuada de las jaulas y jaulones y el manejo adecuado del producto. Existen diferentes manuales y procedimientos para una correcta gestión empresarial y productiva que debe ser tomada en cuenta tanto por los entes gubernamentales como veedores de las políticas como por los empresarios, productores y trabajadores del sector acuícola (FOESA, 2013).

Si bien es cierto, la producción de trucha arcoíris que se realiza en el Lago, no es una práctica endémica ni ancestral de la zona, se convirtió en la fuente principal de sustento familiar, desarrollando sus primeros cultivos en los años 30 y 40 donde se introdujo la semilla desde el lago de la tota en Boyacá. Su práctica desencadenó factores económicos favorables, sin embargo, se visualiza un contraste entre los beneficios ambientales puesto que especies de peces endémicas de la zona como el pez bagre Capitan de la Sabana (*Eremophilus mutisii*), sufrió una gran disminución al ser devorado por las truchas puesto que son de hábitos carnívoros. (Dialogo con mayores, septiembre de 2019).

El cambio sociocultural y agrofamiliar que se evidenció con las nuevas prácticas acuícolas fue decisivo para las condiciones actuales de la zona, si bien es cierto las producciones generaron empleo y beneficios económicos se perdieron ciertas costumbres del arraigo cultural, que se enfocaba más a la agricultura, cría de especies menores (Cuy, gallinas, conejos) y a la caza de especies silvestres en zonas de páramo y montaña. Sin embargo, este cambio sociocultural y económico incidió también en la reducción de la presión sobre el ecosistema productor disminuyendo la tala de bosque y páramo para la producción de carbón de un 20% en los años entre 1960 y 1970 a 55% en el año 2018. (Dialogo con el Gobernador Resguardo Indígena Quillasinga Refugio del Sol, octubre de 2019).

En el contexto ecológico-ambiental, el aumento y auge del cultivo de peces bajo condiciones controladas han generado diversas discusiones cuestionables con respecto al ambiente (Fundación Biodiversa, 2015). Los animales en cultivo son abastecidos con alimento rico en proteínas y grasas, especialmente las harinas y aceites de pescado (Maldonado et al., 2005). Muchos de los ejemplares que se utilizan para iniciar un cultivo

y para los procesos de reproducción son extraídos del medio natural, puesto que en muchos casos no se tiene desarrollado el paquete tecnológico para su crianza en cautiverio, lo que acrecienta el impacto negativo en dichas comunidades silvestres (Aksu y Kocatas 2007; Chibras, 2015).

Otro de los problemas es la alteración fisicoquímica que ocasionan los residuos líquidos provenientes de los cultivos piscícolas, aportando diferentes contaminantes relacionados con medicamentos, detergentes para la limpieza de las instalaciones y desperdicios del concentrado que no es digerido por los peces (Sanz et al., 2011). Cuando no se lleva un correcto manejo de cultivo aplicando las buenas prácticas acuícolas, se presentan diversidad de complicaciones relacionadas a la presencia de hongos y bacterias, excesiva presencia de algas, disminución del oxígeno y demás factores que alteran la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos (Del Río et al., 2016).

En diferentes estudios realizados en el lago Guamuez, se evidencia la alteración de algunos parámetros fisicoquímicos en las instalaciones de jaulas flotantes, reflejando la disminución de oxígeno con niveles mínimos de 5 mg/l comparado con valores entre 9 y 10 mg/l en zonas sin intervención acuícola; el aumento de la conductividad eléctrica con topes máximos de 126  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , siendo lo normal entre 60 y 80  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dependiendo de la profundidad, pH de 7 en zonas de cultivo y 9 en puntos sin intervención, valores de dureza en zonas de cultivo y zonas sin instalaciones acuícolas entre 20 y 25 mgCaCO<sub>3</sub>/L respectivamente y alcalinidades de 18 mgCaCO<sub>3</sub>/L en las empresas acuícolas y 15 mgCaCO<sub>3</sub>/L en zonas control (López, 2008; CORPONARIÑO, 2014; González et al., 2017;). Estos datos representan la alteración del ecosistema acuático con respecto algunos de los Parámetros fisicoquímicos de importancia en la calidad del agua.

Un factor esencial a tener en cuenta y que representa un nivel de importancia en cuanto a la contaminación en los cuerpos de agua donde existen instalaciones acuícolas, es la eutrofización o crecimiento excesivo de algas, que se presenta cuando los sistemas acuáticos son contaminados por el ingreso excesivo de nutrientes, principalmente por fosfatos causando altos índices de mortalidad en peces, transformando los microhábitats del bentos, alterando la estabilidad ecosistémica de animales y plantas acuáticas y finalmente ocasionando que se formen zonas carentes de oxígeno, con niveles de 0, 1 y



2 miligramos por litro (Aksu and Kocatas, 2007; Velasco et al., 2015). Este estado eutrófico se presenta en primer lugar por el ingreso de grandes cantidades de nutrientes mediante compuestos fosfatados, nitratos, nitritos y demás elementos que impactan negativamente los sedimentos y las zonas circundantes a las instalaciones de cultivo, cambios que pueden ser analizados mediante un análisis comparativo con zonas dentro del mismo sistema acuático que no presenten cultivos piscícolas (Bordehore, 2005; Corpoboyacá, 2016).

La piscicultura como actividad generadora de productos impacta irremediablemente las fuentes hídricas que son utilizadas para tal fin. Empresas que realizan producciones iguales o mayores a 11 toneladas anuales como las relacionadas para este estudio impactan al ecosistema en mayor medida, sin demeritar el aporte contaminante de los sistemas extensivos o cultivos de auto consumo. Esto impulsa a generar ideas de cómo reducir estos impactos mediante la divulgación y puesta en marcha de la normatividad ambiental existente que pueda controlar las actividades de producción mediante una visión de sostenibilidad, de concientización a los productores y bajo la aplicación de buenas prácticas de producción acuícola y gestión ambiental (Velasco et al., 2012).

Producciones como la cría de cerdos, avicultura y ganado cuyas emisiones de gases efecto invernadero y generación de materia orgánica para el procesamiento de lácteos o cárnicos genera mayores niveles de contaminación e impactos al ambiente (Riede y Frasinelli, 2013; Nieto et al., 2014). De esta forma la acuicultura se convierte en una actividad de generación de carne con alto contenido de proteína y subproductos de excelente calidad. Sin embargo, como todo proceso productivo no deja de existir el riesgo potencial de la generación de impactos ambientales que modifiquen negativamente las estructuras fisicoquímicas y ambientales del agua y ecológicas en el sedimento de los cuerpos de agua receptores, por lo cual el análisis de ciertos parámetros, permiten desarrollar una visión del estado de intervención de los lagos donde se realizan procesos acuícolas (Vásquez et al., 2015)

González et al (2017), reporta los cambios que sufren las comunidades de macroinvertebrados acuáticos bentónicos presentes en el Lago Guamuez a causa de las instalaciones de cultivo, encontrando familias indicadoras de aguas contaminadas o medianamente contaminadas, como *Ampullariidae*, *Thiaridae*, *Planariidae*, *Tubificidae*, y

*Chironomidae* en zonas de cultivo, las cuales están ausentes en las zonas donde no hay instalaciones piscícolas y por el contrario la presencia de especies como *Hydrachnidae* e *Hydrobiosidae* pertenecientes a aguas con buenas características de calidad en estas últimas zonas. La presencia de estos bioindicadores refleja la variabilidad en la ecología del lago siendo negativa para las zonas de cultivo, por lo cual se debe prestar importancias en como los procesos acuícolas afectan la composición macrofaunística del sector.

Esta investigación aportará, no solo conocimiento de las variables ambientales y ecológicas que pueden ser afectadas o no por la actividad acuícola, sino dar los primeros pasos de inclusión de la agroecología en la acuicultura cuyo fin es apropiar a las comunidades de la zona en realizar producciones sostenibles y ambiental mente amigables sin dejar atrás la conservación de sus prácticas y saberes integrando la biocultura de sus riberas donde se asientan los acuicultores y agricultores, descendientes de antiguas culturas indígenas como los quillacingas, siendo también un lugar de referencia para otras de la zona como los kamsá, los kofán y los inga que la consideran aun un lugar sagrado

## 2.JUSTIFICACIÓN

El agua es fundamental para la vida en la Tierra. Para que los grupos humanos y los ecosistemas puedan prosperar, esa agua debe ser limpia, permanecer limpia y, más importante aún, debe estar al alcance de todos, tanto para el consumo humano como para actividades agropecuarias e industriales con buen manejo en su utilización (Surríba, 2010; UNESCO, 2017).

La relación del agua con los seres humanos ha sido históricamente vital y ancestralmente cultural, por lo que enfatizar en el rescate de la biocultura de las comunidades acentadas en el Lago Guamuez es fundamental para la incursión de estudios agroecológicos que se relacionen con las producciones acuícolas mediante una visión holística y no centralizada en como y cuanto se produce.

Sin embargo se pretende indagar en como el sector acuícola de la región ha incidido en la biocultura de las comunidades y en la disminución de otras actividades que ocasionan mayores impactos al ambiente del ecosistema, como por ejemplo los cultivos de papa en alturas y laderas llegando hasta el páramo y sobre todo el flagelo que sufre esta región a causa de la tala indiscriminada de los bosques para la extracción de madera y la producción de carbón ilegal, sin tener en cuenta que estos árboles son los que protegen los suelos, estabilizan el clima local y proporcionan albergues propios para gran diversidad y riqueza de la flora y fauna (Bastidas, 2010).

Según la Alcaldía de Pasto (2015), en su Plan de Ordenamiento Territorial y Económico, expresa que entre las principales actividades agropecuarias que han existido en el Lago Guamuez se destacan los cultivos de papa (45%), hortalizas (30%), trigo (25%), frijol y cebada (20%); en menor proporción se cultiva zanahoria, arveja y haba. La ganadería en menor proporción es vacuna con fines principalmente lecheros, también existe algunas prácticas con el ganado ovino y la cría de curíes. Algunos ingresos dependen de la explotación forestal en su mayoría de forma ilegal y de las prácticas acuícolas y pesquera.

Lo anterior expresa la riqueza y diversidad agrícola y pecuaria de la zona, factor que justifica la intervención investigativa y objetiva que tiene este estudio cuya visión holística y agroecológica pretende mantener la concepción sacral y cultural sin dejar a un lado las producciones acuícolas que se quiere o no, hacen parte de la agricultura familiar y comunitaria de este hermoso agroecosistema.

De la cantidad total de agua disponible en el planeta, el 0,3% se encuentra en forma de agua dulce líquida superficial y de esta pequeña cantidad, el 90% se almacena en los lagos. La importancia de los lagos radica en el aporte a la protección de los entornos ecosistémicos, la diversidad biológica y la interacción positiva con los seres humanos. Desafortunadamente estos sistemas acuáticos presentan gran vulnerabilidad y fragilidad por la contaminación causada por procesos alóctonos y también por consecuencia de actividades antrópicas entre ellas la acuicultura que alteran el equilibrio de los ecosistemas (Bovarnick et al., 2010; Steinman et al., 2017).

El deterioro de la calidad de las aguas en ríos, arroyos, lagos y mantos freáticos tiene consecuencias directas sobre los ecosistemas y la salud humana. Esta situación constituye preocupación indescriptible y un obstáculo importante para el desarrollo. Numerosos cuerpos de agua, que fueron fuente de abastecimiento y albergue de rica fauna, están ahora gravemente contaminados. El deterioro de la calidad del agua en la superficie y en los sistemas freáticos está agravando la escasez de recursos hídricos, con repercusiones negativas en nuestro entorno natural y los bienes y servicios vinculados al ecosistema que éste ofrece, poniendo en peligro la seguridad alimentaria y los medios de subsistencia (CIPCA, 2015).

Descrita la importancia de los lagos, esta investigación pretende aportar al cuidado y protección del Lago Guamuez como ecosistema de importancia mundial, evaluando diferentes factores físicos, químicos y bióticos que se relacionan con la actividad acuícola mediante procesos de producción y generación de residuos que alteran el normal funcionamiento del agrosistema. De igual forma se pretende diagnosticar un componente muestral de la población que se dedica a esta actividad y que lastimosamente por la falta de conocimiento y capacitación realizan los procesos sin aplicar las buenas prácticas de acuicultura, manejo de residuos y obtención del producto final. (Moreno 2004; Angulo, 2015).

Con el análisis resultante de este estudio se pretende aportar argumentos para que se tomen decisiones y se planten estrategias que permitan mejorar el manejo de las producciones sin afectar la calidad de vida y el trabajo de los pobladores, al igual que puede dar pautas para la protección del recurso hídrico de este ecosistema y fomentar las buenas prácticas para el desarrollo agroecológico de esta actividad económica y la sostenibilidad de las empresas del sector.

El gobierno departamental como alternativa para disminuir el efecto de la extracción de carbón sobre el ecosistema del lago, impulsó el fomentando la acuicultura en jaulas y estanques bajo condiciones legales y sostenibles. Dicha propuesta fue bien recibida por los pobladores ya que representa una manera de aumentar sus ingresos y mejorar su estabilidad económica. Por consiguiente la acuicultura se incrementó de forma considerable aportando al desarrollo del sector. Desafortunadamente, a pesar que la acuicultura fortaleció la sustentabilidad económica y contribuyó como fuente de alimento para los pobladores, no se prestó la atención suficiente los impactos ambientales y contaminantes que causaría en el ecosistema lacustre.

Finalmente se pretende aportar un análisis multidimensional que involucre a la acuicultura y la agroecología con miras a la soberanía alimentaria mediante la producción de pescado, la conservación de la biodiversidad y el fortalecimiento de los conocimientos de las comunidades campesinas e indígenas del sector y a las innovaciones productivas de los piscicultores. Además involucrar a los productores (indígenas y campesinos), en la sensibilización ambiental, cultural y espiritual que conlleva la inclusión de las prácticas y saberes agroecológicos en la bonita actividad de la piscicultura.

Por lo anterior se hizo necesario realizar este estudio sobre los cambios ecológicos-ambientales que generan los cultivos intensivos de trucha arcoíris en jaulas flotantes tomando como referencia tres empresas de producción instalados en la parte alta, media y baja del Lago Guamuez, además de las implicaciones sociales mediante el análisis y acercamiento con las comunidades, indagaciones de su biocultura, usos y costumbres ancestrales, lo cual genera un alcance de lo que sucede en el lago con relación a los procesos acuícolas; esto bajo el análisis del ecosistema acuático en su parte física, química y biológica, conjugando dichas variables hacia un enfoque ecosistémico que integre a la población involucrada, con el fin de brindar información académica y

científica que pueda ser compartida con el sector productivo contribuyendo a la mejora de las practicas acuícolas en el Lago, pretendiendo que dicha actividad pueda ser ejercida como una actividad sustentable y sostenible.

## **Hipótesis**

El Lago Guamuez como Humedal RAMSAR, proporciona riqueza ambiental, ecológica, económica, cultural y ancestral, brindado beneficios agroambientales y bienestar social a las comunidades.

La actividad acuícola en el Lago Guamuez, afecta su conservacion como sistema RAMSAR, puesto que genera cambios en las propiedades físicas y químicas del agua, al igual que altera su estructura ecológica.

La memoria biocultural de las comunidades aledañas al lago Guamuez refrenda su importancia y relevancia social, económica y ambiental para los moradores que han tenido una relación ancestral con el.

La actividad acuícola influye positivamente en la economía del territorio, sin embargo, la manera de realizarla ha determinado cambios importantes en la forma en que las comunidades aledañas se relacionan con este ecosistema.

## **3.Objetivos**

### **3.1. Objetivo general**

Determinar como la acuicultura afecta la conservación del sistema RAMSAR Lago Guamuez en el departamento de Nariño.

### **3.2. Objetivos específicos**

- Conocer a partir de la memoria biocultural de las comunidades aledañas al lago Guamuez su importancia y relevancia social, económica y ambiental.
- Identificar y analizar los impactos socioculturales que genera estas actividades acuícolas empresariales en las comunidades del sector.
- Establecer los cambios ambientales en la ecología acuática del Lago en tres empresas productoras de trucha arcoíris mediante análisis de parámetros fisicoquímicos en el agua y los sedimentos.
- Establecer el grado de contaminación en las zonas de estudio por medio de la cuantificación de nutrientes aportados por estos procesos acuícolas.
- Identificar la estructura ecológica y taxonómica de macroinvertebrados bentónicos y su uso como bioindicadores en la aplicación de parámetros comunitarios de diversidad biológica.

## 4. Marco teórico y estado del arte.

### 4.1. Memoria Biocultural

En las comunidades rurales y poblacionales de todo el mundo (Indígenas, afros, campesinos, entre otros), la agroecología ha funcionado como método de transmisión y aprendizaje cultural y productivo, actuando como un elemento importante que asegura el mantenimiento de la bioculturalidad, una vez que se articula las situaciones de experiencias empíricas y creencias, es decir, las experiencias que se producen en las interrelaciones entre el hombre y el medio natural, y por lo tanto, determinan comportamientos, los cuales son conocidos como comportamientos bioculturales (Alves, 2018). (Figura 1).

Las investigaciones de carácter agroecológico y etnobiológico son caracterizadas por diferentes contextos. Por ello, en estos ambientes se registran que las herencias ecológicas y culturales varían de región a región. Así, los investigadores pasan de ser los poseedores del conocimiento a ser interpretadores y aprendices del mismo, interactuando con nuevas culturas, ajustándose a los patrones del área en estudio aceptando las reglas locales y vivenciando situaciones únicas de diversidad y cultura que jamás podrían ser consecuencia del conocimiento científico (Halffter, 2009).

**Figura 1.** Representación gráfica de la memoria biocultural



Fuente: Anda Lucia Solidaria. La memoria biocultural indígena de Bolivia al servicio de la soberanía alimentaria. 2014.



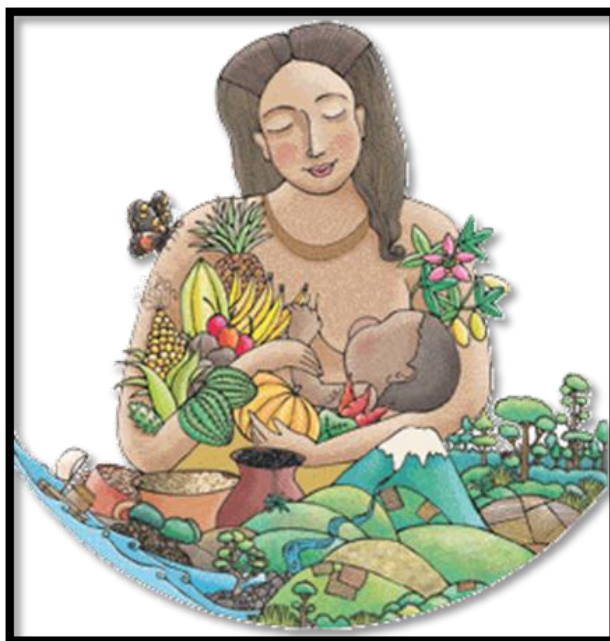
#### **4.1.1. Memoria Biocultural en Ecosistemas**

En las últimas décadas, se ha manifestado una tendencia creciente a valorizar el conocimiento tradicional de los ecosistemas, incluyendo su manejo y conservación. Este conocimiento, transmitido en forma oral en aquellas comunidades que conservan su estructura social y tradiciones, constituye un verdadero patrimonio o memoria biocultural. Para los agroecólogos puede resultar especialmente interesante conocer y aprender a valorar esta memoria biocultural (Figura 2).

Toledo y Barrera (2014), muestran un enfoque mundial y una amplia discusión sobre la importancia de la memoria biocultural y con ella de la etnoecología que sería justamente el estudio de esta memoria. De igual forma Boege, E (2008), se enfatiza en la relación que existe entre conservación de la memoria biocultural y la apropiación del uso de los recursos naturales por los pueblos indígenas. Estos investigadores muestran un panorama lleno de sugerencias en esta época en que resulta ineludible buscar una estrategia de uso sustentable para la conservación de la memoria biocultural de los ecosistemas.

De todas las expresiones que integran una cultura, los conocimientos sobre los ecosistemas conforman diferentes dimensiones articuladas entre sí, ya que compendian las observaciones sobre un entorno ecosistémico a través de largos periodos de tiempo. Conocimientos y usos de la biodiversidad han estado asociados en las culturas tradicionales a formas de conservación que hacen su utilización sustentable. Estas formas de uso dependen de primordiales equilibrios entre el conocimiento de los recursos naturales y la explotación que se hace de ellos, además de la interacción con las comunidades asentadas en estos ecosistemas. A medida que se extienden y penetran los procesos de globalización (culturales y comerciales), las demandas de espacio y de recursos se incrementan y ponen en peligro los conocimientos y usos tradicionales, lo que puede afectar la memoria biocultural y su expresión empírico-científica (Toledo y Barrera, 2014; Altieri et al., 2017).

**Figura 2.** Representación gráfica de la memoria biocultural en los ecosistemas



Fuente: Patrimonio biocultural de México. Memoria biocultural de la selva. 2019

#### **4.1.2. Memoria Biocultural en Ecosistemas Acuáticos.**

En ecosistemas acuáticos podemos hablar de la memoria cultural del agua como recurso principal de vida y de conocimiento ancestral de la resiliencia comunitaria; lo que en ciertas ocasiones pone en evidencia la pérdida de conocimientos ancestrales y de los universos cosmogónicos, y un debilitamiento de las soberanías en los territorios cuando se enfatiza en el análisis de la relación cultura-naturaleza y los cambios actuales producto de los procesos de vulnerabilidad que afectan a los ecosistemas y sus comunidades (Figura 3).

La Memoria Biocultural es una categoría de análisis emergente, que nace de nuevos paradigmas de tipo interpretativo-simbólico, en donde se busca la protección de las prácticas sobre el manejo ambiental y sus recursos biológicos y el rescate de las dimensiones espirituales para la gobernanza de los territorios ancestrales. Incluye un reconocimiento a las voces de las comunidades indígenas y su relación espiritual con la naturaleza (Moreno, 2021).

Los conocimientos ancestrales ligados a una comprensión de los mitos fundacionales, y el reconocimiento de las comunidades y sus tradiciones como sujeto principal de vida,

permite a los agroecólogos y todas las áreas del conocimiento interezadas en la biocultura, un acercamiento a los sistemas natoculturales construidos históricamente por cada comunidad y las características insentricas de su territorio. La situación actual de la emergencia climática, pone en el escenario científico, un nuevo interés en los manejos sostenibles del agua y las interacciones que han definido la vida humana en los ecosistemas lacustres que vienen siendo utilizados y/o vulnerados bajo la presión por el desarrollo de diversas actividades comerciales, sociales, ambientales, turísticas, extractivas y productivas (Altieri, 2018).

La introducción de tecnologías y visiones capitalistas frente a los diferentes escenarios productivos, ponen en riesgo y en una mayor condición de vulnerabilidad social y ambiental a las comunidades rurales, entre ellos todos los grupos poblacionales y étnicos, debido a actores como el aumento en la temperatura, la pérdida de la biodiversidad y la evaporación de los cuerpos de agua. Los conocimientos ancestrales depositados de forma especial en la memoria biocultural del agua, establecen unos significados culturales que se evidencian en el manejo de los territorios sagrados, sus prácticas tradicionales en relación a los ciclos del agua, sus sistemas agrícolas y la presencia en mitos de Origen y Visión ancestral (Moreno, 2021).

**Figura 3.** El agua como memoria cultural de vida.



**Fuente:** Memoria biocultural: el desafío de enunciar la vida. CENSAT Agua Viva - Amigos de la Tierra – Colombia. 2017.

#### **4.1.3. Implicaciones sociales para una acuicultura sostenible.**

El crecimiento de la acuicultura ha impulsado el desarrollo en la economía y la sociedad en diferentes ámbitos dedicados a estas producciones, aportando en gran manera a generar empleo y alimento humano de buena calidad y con alto contenido de proteína. La acuicultura es de suma importancia a nivel mundial puesto que uno de los fines de su producción es contribuir a eliminar el hambre de las personas, proveer de alimento y mejorar la calidad de vida de los seres humanos que comen pescado al igual que aporta a la calidad económica de los productores (OLDEPESCA, 2011; FAO 2014 e).

La acuicultura debe ser vista preferiblemente bajo un enfoque ecosistémico de la acuicultura (EEA), como un plan estratégico que integre la actividad dentro de la amplitud de los ecosistemas, promoviendo el crecimiento económico y productivo con visión de sostenibilidad, siendo equitativo y con la destreza necesaria para la recuperación de la integralidad económica, ecológica y social que indiscutiblemente esta interconectadas (FAO, 2011; Aguilar et al., 2017).

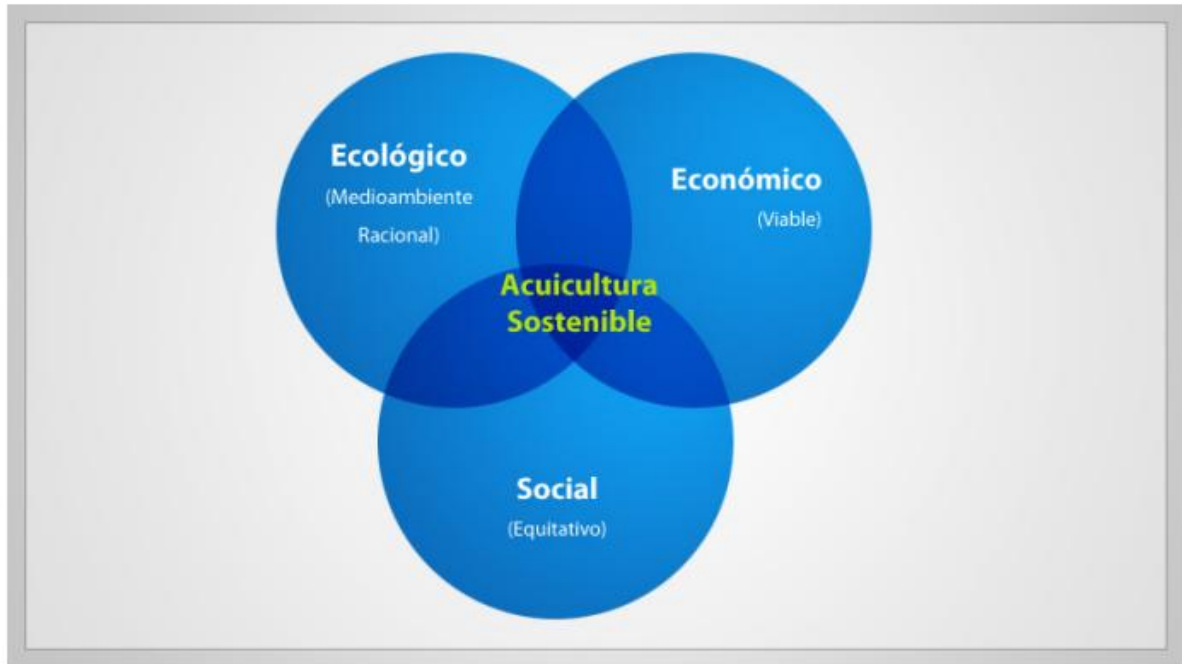
Esta actividad ha demostrado su importancia en el desarrollo social y económico mediante la obtención de alimentos, contribuyendo a generar ingresos aportando al sustento de muchas familias, aunque no se puede desconocer que su mala administración afecta la estructura de los sistemas naturales disminuyendo los servicios ambientales y ecosistémicos que estos prestan, al igual que conlleva diferentes problemas de carácter social y económico (McKindsey et al., 2006; Kasozi, 2014).

Las personas dedicadas a esta actividad, entre los que se encuentran productores, trabajadores, asociados y familias campesinas, no comprenden el funcionamiento básico de los ecosistemas acuáticos ignorando la relación ecológica y la interacción entre el sistema natural y la producción. La desarticulación de la institucionalidad para formular e integrar la normatividad que permita controlar las empresas productoras y su impacto al ambiente conlleva a la falta de estrategias de producción limpia, capacitación y asistencia técnica a medianos y pequeños productores y la falta de control de cómo y cuánto se tiene permitido producir (Soto, 2009; Aguilar., 2017).

Una acuicultura sostenible con enfoque agroecológico debe basarse principalmente en tres pilares fundamentales, entre los cuales se encuentra un agrosistema y su ecología, visto como un componente principal vida, el medio económico, que provee de diferentes bienes

y servicios y el sistema social que realice una integración participativa de la sociedad como estrategias para alcanzar el desarrollo sostenible (García et al., 2011) (Figura 4).

**Figura 4.** Factores principales para una acuicultura sostenible.



Fuente: At a Crossroads: Will Aquaculture Fulfill the Promise of the Blue Revolution a Sea Web Aquaculture Clearinghouse. 2004.

#### **4.2. Desarrollo de una Acuicultura Ecológica**

Gracias a la implementación del nuevo reglamento europeo sobre acuicultura donde se incluye una normativa para la acuicultura ecológica, diferenciada de la convencional, que determina la gestión ecológica de los stocks reproductores, haciendo hincapié en aspectos como el espacio, la calidad del agua, el oxígeno, la temperatura, la luminosidad, la densidad o el uso de medicamentos (Aguilera et al., 2012).

Esta nueva normatividad se enfoca en tres aspectos principales relacionados con la sostenibilidad de la actividad, entre los cuales se encuentran en primer lugar el bienestar de los animales en cultivo, donde sus aspectos, fisiológicos, morfológicos y de salubridad estén en óptimas condiciones. En segundo lugar, se presta atención a regular las

condiciones del cultivo, donde se incluye el bienestar laboral de los trabajadores y sus familias que en muchos de los casos son productores artesanales y replicadores de la actividad en menor escala y finalmente se enfatiza en el efecto ambiental y cuidado de los ecosistemas (Aguilera et al., 2012; Biolatina, 2014).

De esta manera se pretende favorecer el uso de recursos renovables, definir claramente los mecanismos de control sanitario, fomentar el cultivo de especies nativas y regular el uso de los concentrados comerciales, especialmente en cuanto al uso de compuestos que estén libres de OMG (alimentos genéticamente modificados), que procedan de pesquerías sostenibles y que estén libres de contaminantes y demás sustancias químicas (AUNAP; 2015).

#### **4.3. Acuicultura agroecológica como un enfoque ecosistémico.**

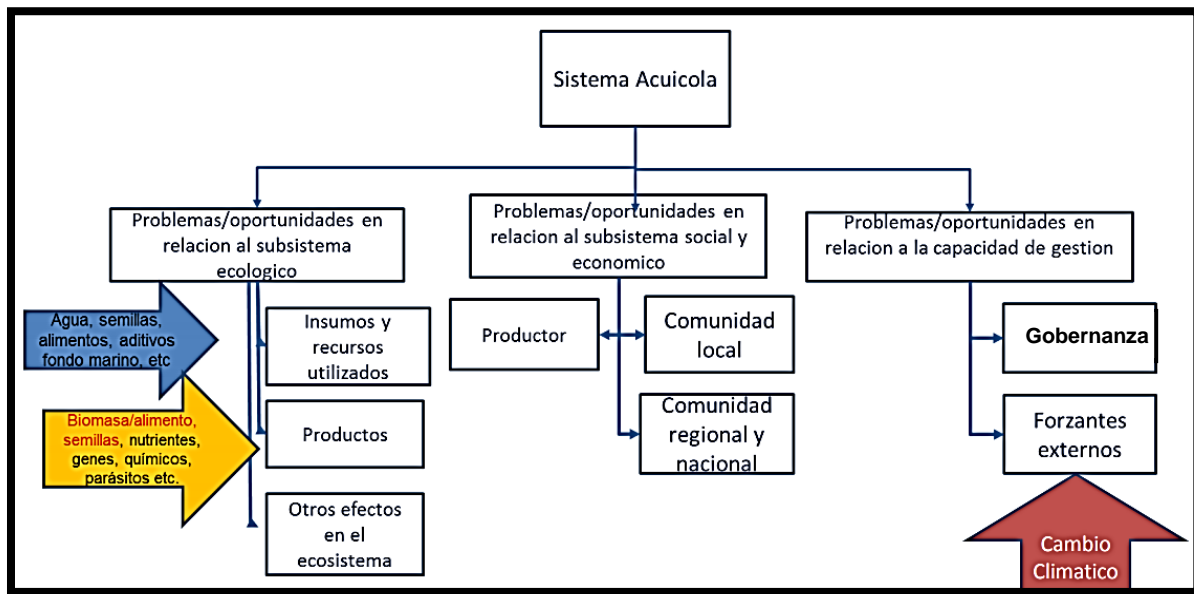
Para tener claro como la actividad debe relacionarse con el agrosistema de una forma amigable, se debe conceptualizar a la acuicultura como un proceso de producción, focalizarse hacia cuanto entra y de que fuentes provienen esas entradas principalmente en los alimentos balanceados y de esa forma pretender analizar cuanto sale de esas producciones y adónde van. Por lo tanto, las consideraciones ecosistémicas son necesarias desde el comienzo del proceso de planificación (Soto, 2017).

El Enfoque Ecosistémico (EEA) debe ser visto como una estrategia para la integración de la actividad dentro del ecosistema de tal forma que promueva el desarrollo sostenible, la equidad y la resiliencia de los sistemas ecológicos y sociales que allí se conectan (Mier et al., 2018). Esta visión agroecológica de la acuicultura pretende realizar una gestión integral ante el entorno donde se desarrolla, teniendo como principales factores de conservación los componentes tierra, agua y los recursos vivos mediante su utilización de forma equitativa y sostenible (PISCES, 2013).

La acuicultura se debe desarrollar en el contexto de las funciones y servicios ecosistémicos asegurando el bienestar ecológico, incluyendo la biodiversidad sin degradación de éstos más allá de su resiliencia, de igual forma debe mejorar el bienestar humano y la equidad para todas las partes interesadas relevantes y elevar su nivel de participación en el contexto de otros sectores y políticas de gobernanza (Soto, 2017; Giraldo, 2018), como la

integración con otras actividades como por ejemplo la acuaponía (agro-acuicultura integrada) que integra el cultivo de peces y hortalizas (Figura 5) (Calvo y Rey, 2015).

**Figura 5.** Visión agroecológica del sector acuícola mediante el enfoque ecosistémico



Fuente: Escuelas de agroecología y acuicultura, 2015.

Si bien es cierto la acuicultura sigue creciendo y su industrialización contrasta con los lineamientos agroecológicos (Giraldo, 2015), es una actividad de menor experiencia en comparación a otro tipo de producción animal. El desafío y uno de los grandes retos que tiene el sector acuícola es abordar de forma equitativa los diferentes componentes agroecológicos y convertirlos en objetivos capaces de brindar la sostenibilidad necesaria para el sector (Tabla 1), con el fin de que las producciones y los movimientos sociales aprovechen la transformación de la producción de carne en el sistema alimentario. (Giraldo, 2016).

**Tabla 1.** Componentes, Logros y Objetivos de un análisis agroecológico

Componente	Logro	Objetivo
<b>Económico y productivo</b>	Resultados Económicos	Optimizar el aumento de la producción y de ingresos
<b>Social</b>	Resultados de Bienestar	Lograr beneficios

	Social	económicos y sociales en forma equitativa
<b>Ambiental y ecosistémico</b>	Mantenimiento de servicios ecosistémicos	Mantener funciones y servicios ecosistémicos (incluye biodiversidad, ecología, entre otros)

Fuente: World Bank Group, FAO. (2017). Aquaculture Zoning, site selection and areamanagement under the ecosystem approach to aquaculture A handbook.

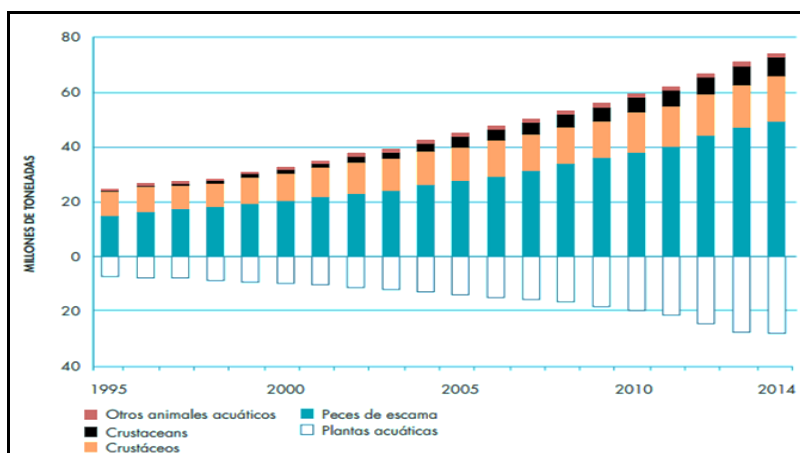
#### 4.4. Estado de la actividad acuícola a nivel mundial

En 2014, la producción piscícola proveniente de la cría de peces en cautiverio obtuvo un valor de 74,5 millones de toneladas, con valores iniciales de venta de 161.300 millones de dólares, representados en 48,9 millones de toneladas de peces equivalentes a 98.300 millones de dólares, 17,2 millones de moluscos (18.100 millones de dólares), crustáceos con 7,1 millones equivalentes a 35.320 millones de dólares y finalmente 8,2 millones de toneladas de diferentes especies acuáticas, con un valor de 4.600 millones de dólares (Figura 6) (FAO, 2016).

La mayoría de pescado proveniente de los cultivos acuícolas es utilizado para la alimentación del hombre, de igual forma los productos secundarios obtenidos se utilizan en muchos casos para procesos ajenos a la alimentación (FAO, 2014 b). Una de las desventajas que presenta el sector de la acuicultura a nivel mundial, es la falta de reportes económico por parte de las empresas, esto relacionado en cuanto producen y cuanto se comercializa. De igual forma deben incluirse el valor agregado de los subproductos y la transformación lo que demostraría con mayor claridad el prominente desempeño y lo importante de dichos valores dentro del mismo gremio de la acuicultura (FAO, 2016).



**Figura 6.** Producción acuícola mundial (1995 – 2014)



Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO, 2016

#### 4.5. Producción piscícola colombiana

En países tropicales como Colombia, donde la temperatura tiende a ser constante y la presencia de fuentes hídricas es dominante a lo largo del territorio nacional, las producciones acuícolas presentan un auge promisorio, obteniendo mayores ganancias en comparación a otros sectores agropecuarios como la ganadería o porcicultura (Gobierno de Colombia, 1990). Sin embargo, las producciones se han visto afectadas por el inclemente aumento de los concentrados y demás productos necesarios para el cultivo (FEDEACUA, 2016).

La acuicultura en Colombia como en el resto del mundo, además de diversos beneficios aporta a la disminución de la sobrepesca, deterioro ambiental y la destrucción de los ecosistemas acuáticos. Existe la normatividad vigente para el desarrollo de la actividad, con entidades específicas encargadas del seguimiento y control, de carácter público y privado, al igual que se desarrollan diferentes funciones investigativas y administrativas que propenden fomentar la actividad. Sin embargo, el problema radica en que muchas de estas leyes y políticas no se adoptan ni aplican de una manera eficiente y responsable (FAO Colombia, 2015).

La industria de la acuicultura en el país, se desarrolla principalmente en estanques de tierra, concreto o geomebranas y en jaulas flotantes, cultivando especies con mejor comportamiento comercial como la tilapia roja (*Oreochromis sp*), cachama blanca

(*Piaractus brachypomus*) y el camarón (*Penaeus vannamei*) referentes a climas cálidos y la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) para menores temperaturas utilizando las mismas estructuras que las anteriores; entre los sistemas de cultivo existentes están el extensivo, semi-intensivo y el intensivo con mayor nivel de producción, utilizando diferentes métodos para la obtención de grandes cantidades de oxígeno disuelto en el agua (FEDEACUA, 2015 A).

El país presenta algunos lugares de mayor relevancia productiva, con variedad de especies que se adaptan a las condiciones de clima y ambiente autóctonas de cada región; departamentos como Cundinamarca, Antioquia, Nariño y Boyacá son pioneros en la producción de trucha arcoíris arrojando un 82% de lo producido en 2015. En los últimos años, esta clase de cultivo ha venido en aumento en departamentos como Quindío, Santander y Norte de Santander, Huila y Cauca entre muchos más que demuestran su interés en el cultivo de esta especie principalmente en jaulas flotantes, seguido en menor proporción en estanques en tierra reforzados con cemento y cubiertos con membranas artificiales. Las producciones piscícolas del país se han incrementado constantemente desde el año 2000, pasando de 41.000 toneladas a casi 100.000 toneladas en 2015, presentando un incremento de 291% (PROCOLOMBIA, 2015; FEDEACUA, 2015 b) (Figura 7).

**Figura 7.** Producción acuícola en Colombia (1980 – 2015).



Fuente. Ministerio de Agricultura y desarrollo rural, Colombia

#### **4.6. Piscicultura en el departamento de Nariño**

La piscicultura, particularmente ha registrado un crecimiento notorio, gracias al impulso que se ha dado mediante la organización de los eslabones bajo el lineamiento del encadenamiento piscícola, garantizando seguridad alimentaria con especies como la trucha arcoíris, por tener una gran demanda debido a su coloración, la carpa roja que presenta excelente rendimiento, la tilapia y cachama las cuales muestran un aumento en producción progresivo (Gobernación de Nariño, 2015).

En el año de 2015, el área total en espejo de agua dedicada a la piscicultura fue de 317.824 m<sup>2</sup>, de las cuales ha incrementado en un 31%, desde el año 2013. El crecimiento productivo y el uso del recurso hídrico, se deriva principalmente a la gran riqueza hídrica presente en el departamento de Nariño que actualmente se está aprovecha de forma adecuada con el incremento de unidades productivas para el fortalecimiento del sector piscícola como una alternativa económica rentable para la población rural (Gobernación de Nariño, 2015).

La conformación de la Cadena piscícola del Departamento de Nariño incluye cuatro eslabones fundamentales que se fundamentan en la organización, producción de alevinos y carne, transformación y comercialización, con sus ejes transversales como investigación, formación, empoderamiento, gestión, crédito y sistema de información. En el Departamento, esta actividad se desarrolla con producciones de diversos tamaños de producción, mediante sistemas productivos en estanques de tierra o cemento y en jaulas o jaulones suspendidos en el agua, a pequeña, mediana y gran escala, donde se hace fundamental integrar el fortalecimiento en procesamiento y comercialización, teniendo como base primordial al ser humano su nivel de organización y empoderamiento dentro del sistema del encadenamiento (Gobernación de Nariño, 2010 b; AUNAP 2016).

#### **4.7. Lago Guamuez “Humedal Internacional RAMSAR.**

El Lago Guamuez o llamado coloquialmente Laguna de La Cocha, es uno de los cuerpos de agua natural más grandes de Colombia, nominado bajo la categoría de Humedal RAMSAR, se encuentra ubicado en el corregimiento del Encano a 28 kilómetros al suroccidente de la capital nariñense. Se encuentra entre los 2680 y 2701 msnm, cuenta con un área aproximada de 78 km<sup>2</sup>, y 75 metros de profundidad, albergando casi 1560 millones de m<sup>3</sup> de agua recibidos por diferentes sistemas hídricos como ríos y quebradas

(Figura 8). Debido a su importancia hídrica y ecológica, es uno de los ecosistemas protegidos y de conservación más grandes de los andes que atraviesa los países de Perú y Venezuela (Obando, 2010).

**Figura 8.** Humedal RAMSAR- Lago Guamuez o laguna de La Cocha.



Fuente: El Diario. (2010). Laguna La Cocha, una leyenda natural. Eldiario.com.co. Pereira, Colombia.  
Recuperado de: <http://eldiario.com.co/seccion/TURISMO/laguna-la-cocha-una-leyenda-natural101020.html>.

La categoría RAMSAR fue otorgada al Lago Guamuez el 18 de abril de 2001, siendo este catalogado como un humedal de importancia a nivel mundial, comprometiendo a Colombia ante las organizaciones mundiales a mitigar los impactos ambientales que sobre este pueden realizarse. Además, obliga a utilizar los recursos de forma adecuada y sostenible cuidando al máximo el recurso hídrico pues este satisface las demandas sociales y el factor económico de las personas que lo habitan, de igual forma al ser elevado a esta categoría, permite que las entidades gubernamentales proporcionen recursos para su conservación (RAMSAR, 1971, MINAMBIENTE, 2014).

La relevancia ecológica y ambiental de un humedal radica en que presentan una gran disponibilidad de entornos naturales como lagos, lagunas, ríos, pastos de inundación, arrecifes coralinos, al igual que pueden ser utilizados como sistemas para tratar aguas residuales y para la construcción de represas, lugares que sirven de vivienda para diversidad de especies acuáticas, aéreas y terrestres. Un humedal tiene la capacidad de reservar agua para temporadas de sequías lo que mantiene la armonía ecológica e hídrica, evitando desastres naturales como deslizamientos, inundaciones y escases de agua tanto para los sistemas naturales como para el del hombre.

De esta forma se demuestra la importancia de los humedales para las relaciones socioculturales puesto que brindan diferentes servicios ecosistémicos como el turismo, acciones paisajísticas, actividades de ocio y recreación; al igual que para la regulación del recurso hídrico y el aporte para mitigar el cambio climático (Groot et al., 2007). Sotelo (2016), expone que los humedales se pueden representar como ecoregiones, puesto que su importancia no solo radica en el ámbito ambiental y ecológico, sino son pilares fundamentales de recarga energética, fuentes de bioculturalidad, sistemas eco-agroambientales, reservas históricas y centros de interacción socio-ambiental, donde el intercambio de culturas y saberes son la base de un desarrollo multicultural enfocado a su conservación y en otros casos a su restauración.

#### 4.8. Cultivo de Trucha arcoíris en jaulas flotantes

**4.8.1. Trucha arcoíris “*Oncorhynchus mykiss*” (Walbaum, 1792).** Esta especie nativa de Norte América representante de la familia *salmonidae* (Tabla 2), cuya presencia natural prevalece en ríos cuyos efluentes limitan con el Pacífico, presenta cierta domesticación y manejo para su cultivo. Su introducción a otras regiones geográficas del mundo se hizo para fines de piscicultura y pesca deportiva, dando sus primeros pasos de cultivo en España en los años 60; desarrollando las destrezas para cultivar principalmente hembras puesto que obtienen de forma más rápida su talla comercial que los machos (MARM, 2011; FONDEPEZ, 2014).

**Tabla 2.** Clasificación taxonómica de la trucha arcoíris (Walbaum, 1792)

Clasificación taxonómica	
Reino	<i>Metazoa</i>
Subreino	<i>Eumetazoa</i>
Phylum	<i>Chordata</i>
Subphylum	<i>Gnathostomata</i>
Clase	<i>Actinopterygii</i>
Subclase:	<i>Teleostei</i>
Orden	<i>Salmoniformes</i>
Suborden	<i>Salmonoidei</i>
Familia	<i>Salmonidae</i>
Género	<i>Oncorhynchus</i>
Especie	<i>mykiss</i>

Fuente: Gall, G. y Crandell, P. (1992). "The rainbow trout". *Aquaculture*.100:1-10

**4.8.2. Hábitat y alimentación.** La trucha arcoíris (Figura 9) se desarrolla a bajas temperaturas y en aguas generalmente limpias de lagos y ríos, su rango ideal de temperatura puede oscilar entre los 5 a los 27°C, y entre los 9 y 14°C para sus procesos de reproducción y aumento de peso y talla (Mundy, 2005). A pesar de ser una especie exigente en cuanto a calidad del agua, es un pez que resiste diferentes ambientes, haciéndolo atractivo para el cultivo. Su madures sexual esta entre los 2 a 3 años, donde las hembras ponen hasta 3000 huevos por kilogramo de peso. Sus hábitos alimenticios en el medio natural son variados teniendo como preferencia pequeños invertebrados como insectos, crustáceos y peces de menor tamaña (Perdomo et al, 2013).

**Figura 9.** Trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792)



Fuente. Imágenes de Google. Disponible en: <https://pixabay.com/es/photos/trucha/>

**4.8.3. Cultivo en jaulas flotantes.** Estos sistemas son utilizados principalmente en lagos y embalses artificiales de gran profundidad, aptos para el cultivo de especies como la tilapia y la trucha arcoíris. A comparación de los estanques, estos sistemas pueden albergar mayor cantidad de peces por metro cubico (cultivos intensivos), los procesos de alimentación y control de las jaulas es más sencillo, lo que se refleja en un mejor crecimiento de los animales. Entre sus diferentes diseños se encuentran instalaciones en forma de circulo o cuadrado, su estructura se conforma por una base flotante con estructuras de soporte para las mallas y anclas situadas alrededor de las jaulas para su estabilidad; de igual forma tienen corredores para las operaciones de cultivo que realizan los operarios. (FAO, 2014 c) (Figura 10).

**Figura 10.** Jaulas flotantes para el cultivo de trucha arcoíris



Fuente: AKVA Group, Polarcirkel EcoNet, tecnología en acuicultura. 2018

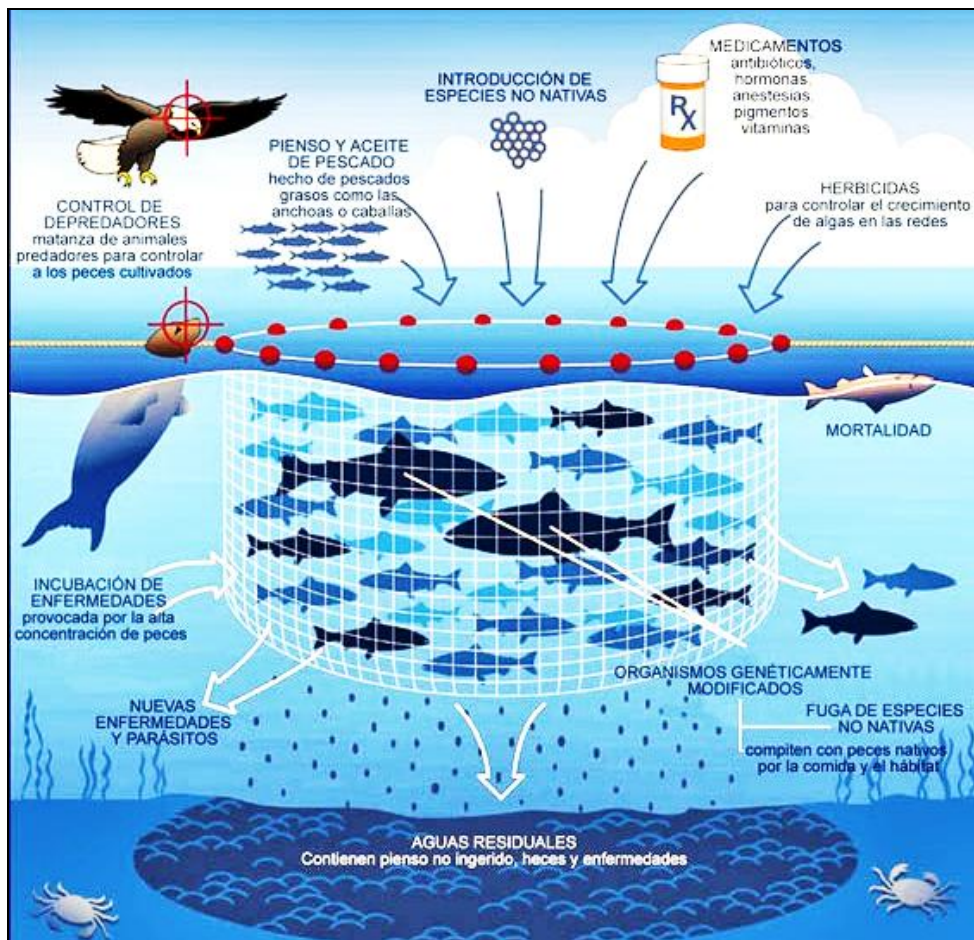
Los animales juveniles son trasladados a estas jaulas de cultivo una vez llegan a un tamaño entre los 10 y 12 centímetros en aguas con parámetros óptimos de variables como el oxígeno, temperatura, nitrógeno, nitrito, amonio, sólidos disueltos, entre otros. Estas jaulas de cultivo presentan un volumen aproximado de 125 m<sup>3</sup>. Son engordados hasta su tamaño de venta que oscila entre los 31 a 41 centímetros o con un peso de 300 a 500 gramos en aproximadamente 7 a 9 meses, su alimentación se basa en el suministro de concentrado comercial con un porcentaje mayor al 40% de proteína (Tacon, 2003; AECID, 2015).

#### **4.9. Contaminación en los ecosistemas receptores de procesos acuícolas.**

Actualmente las actividades de cría de peces bajo condiciones controladas representan un lugar de importancia en la obtención de alimento. No obstante, el construir diferentes instalaciones piscícolas como jaulas o estanques producen un impacto negativo en los ecosistemas acuáticos, debido a la demanda de volúmenes extensos de agua. Esto no solo afecta la parte física sino la biológica puesto que altera la diversidad de especies existentes debido al suplemento de alimento balanceado, al igual que sustancias para el control de hongos, bacterias y demás patologías que se puedan presentar. Esto causa acumulación de grandes cantidades de materia orgánica aportando excesos de compuestos fosfatados, y nitrogenados, causando diferentes problemas a la columna del agua y los espacios circundantes (Figura 11). (FUNIBER, 2010; Ovando, 2014).

Los sistemas como ríos y lagunas presentan una mayor variedad de especies vivientes en comparación a los ecosistemas terrestres. La contaminación e impactos ambientales modifican la composición en las estructuras de las poblaciones, reflejándose en las funciones biológicas de los ecosistemas lacustres y a los organismos que ahí habitan alterando su periodo vital (crecimiento y reproducción) (Bartram, and Balance, 1996; Patiño, 2015).

**Figura 11.** Contaminación en los ecosistemas receptores de procesos acuícolas



Fuente: Acuicultura: la otra cría intensiva. Disponible en <https://sermoneo.blogspot.com/2013/06/acuicultura-la-otra-cria-intensiva.html>

La acuicultura que se realiza en sistemas de jaulas flotantes, afecta de forma directa la diversidad biológica, reflejándose cambios drásticos en los componentes físicos, químicos y biológicos del agua y el sedimento, lo que causa cierto grado de incertidumbre a nivel internacional en cómo afecta realmente los ecosistemas, puesto que entre mayor sean las producciones, mayor será el grado de contaminación aportado (Pérez, 1996). De esta



forma se pretende encontrar la manera de como mitigar estos impactos mediante la expedición y aplicación de la normatividad ambiental que controle las producciones incentivando a los acuicultores a realizar sus actividades de forma sostenible aplicando la gestión ambiental, las buenas prácticas y el cuidado y preservación del ambiente (Velazco et al., 2012).

Los efectos de la acuicultura con respecto a la alteración de parámetros fisicoquímicos en los lagos de alta montaña se ven reflejados en el aumento o disminución de sus valores de estabilidad. Por ejemplo, la disponibilidad de oxígeno para la trucha arcoíris debe oscilar entre 10 y 12 mg/l a una altura de 2800 msnm como es el caso del Lago Guamuez (FAO, 2014 d). En estudios anteriores se reportan niveles de oxígeno entre 5 y 7 mg/l en la columna de agua influenciada por jaulas flotantes (CORPONARIÑO, 2014; López, 2016; González, 2018).

Valores de Demanda Biológica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) también son de importancia en estos agrosistemas, donde valores permitidos de  $DBO_5$  para el cultivo de trucha pueden alcanzar los 6 mg/l y hasta 24 mg/L para la DQO. Valores entre 15 y 100 mg/l son consideradas por el índice ICA como aguas polisapróbicas (Toro et al., 2012; CORPONARIÑO 2014).

Con respecto a parámetros del agua como la conductividad eléctrica donde compuestos sólidos se encuentran disueltos de forma natural, al igual que las sales se disuelven en el agua y se transforman en iones positivos y negativos, también son variables características para analizar. Este parámetro se analiza identificando la capacidad de una cantidad de agua para conducir una carga eléctrica utilizando la carga iónica disuelta siendo fundamental en los estudios de contaminación por actividades agropecuarias (Sepúlveda, 2012). Según González et al., 2017 el su estudio de impacto ambiental en el agua y sedimentos del Lago Guamuez se demostró los valores de conductividad los cuales son mayores en las zonas de cultivo con promedios de  $126,03 \pm 0,002 \mu\text{S/cm}$  en las jaulas de levante y engorde a comparación de la zona muestreada sin intervención acuícola cuyos valores son de  $68,27 \pm 0,042 \mu\text{S/cm}$  para la superficie.

López y Salas (2013), obtuvieron valores máximos de pH de 7,34 y mínimos de 5,96 en diferentes zonas muestreadas a lo largo del lago. De la misma forma diferentes estudios de

calidad de agua realizados en este sistema lacustre demuestran registros de pH entre 6,3 y 7,7. Por lo general este parámetro es relativamente estable en el Lago Guamuez, pero no se debe restar importancia en sus fluctuaciones y relación con los demás parámetros fisicoquímicos.

Junto con el pH, los parámetros de dureza y alcalinidad son de suma importancia en los análisis de calidad de agua, impactos ambientales y estudios agroecológicos principalmente en cuerpos de agua receptores de procesos resultantes de actividades antrópicas, cuando las aguas son muy alcalinas presentan alta capacidad de tamponamiento amortiguando de manera más eficaz los posibles impactos producidos por agentes contaminantes (APHA, 2012; Castañeda, 2014). Para el lago Guamuez al igual que lagunas de similar condición como la Laguna de la Tota en Colombia y las lagunas de Junín en Perú son consideradas por tener aguas blandas menores a 75 mg/l, encontrando valores estimados de 25 mg/l para la dureza y 15 mg/l para alcalinidad, que si bien es cierto no son valores de riesgo contaminante, son superiores a los reportados en zonas sin cultivos de trucha (Muñoz, 2017).

Uno de los parámetros que mayor efecto reflejan por la contaminación acuícola son los sólidos suspendidos y los sólidos disueltos, debido a residuos generados como consecuencia de los procesos que se llevan dentro de un cultivo piscícola. Las aguas oligotróficas pueden contener concentraciones de sólidos totales mayores a 10 ppm; mientras que, en lagos neotropicales, estas concentraciones se presentan en un rango entre 10 y 200 ppm. Los sólidos totales pueden ser determinados a través de la conductividad eléctrica. Las soluciones con mayor concentración iónica presentan mayor conductividad y menor resistencia; para el caso de las aguas oligotróficas, estas condiciones serán inversas (Catalán y Rondón, 2016).

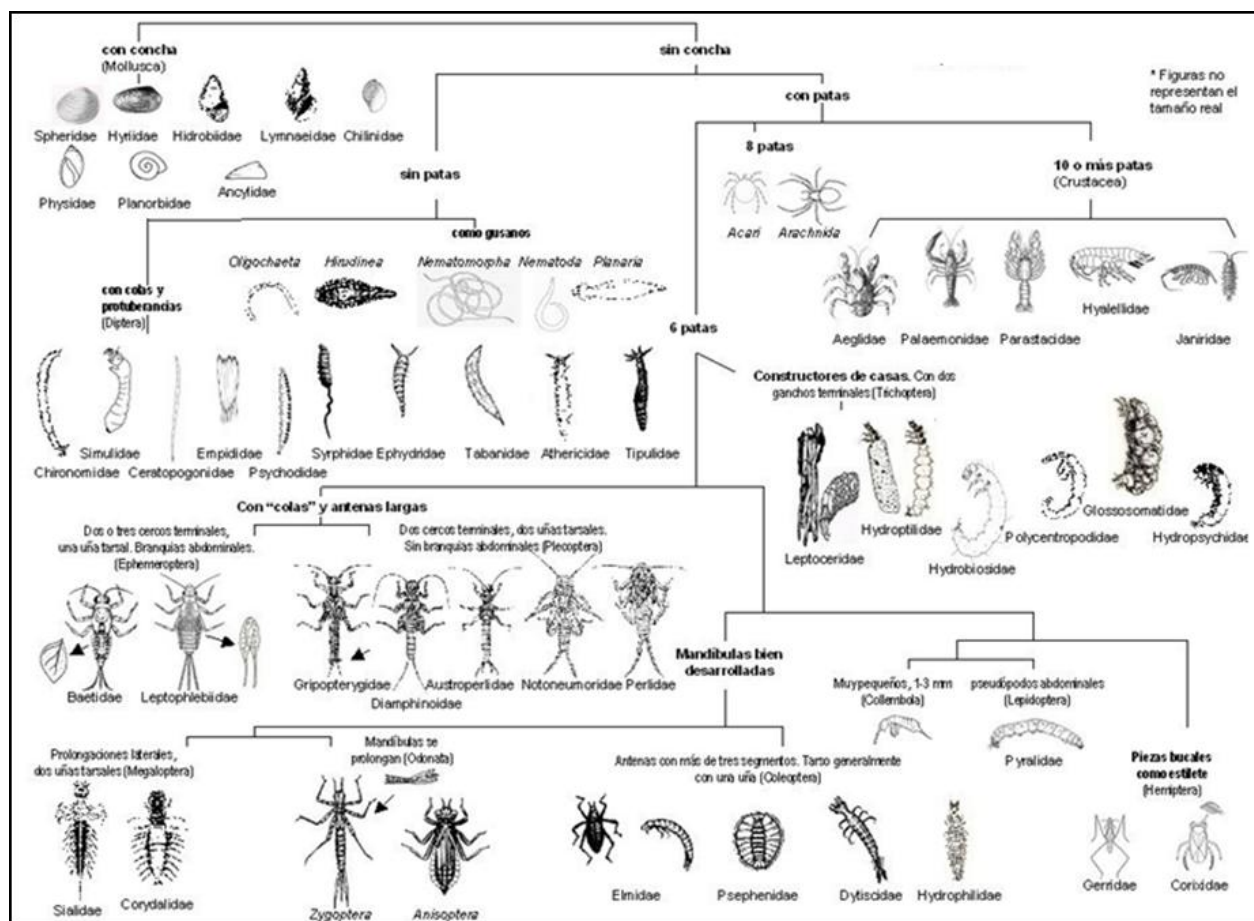
Las partículas que tengan un tamaño entre 0,01 y 200 micras permanecen en suspensión, por lo que se les conoce como sólidos suspendidos; entre tanto que aquellas menores de 0,001 micras se consideran como partículas disueltas. En aguas de corrientes altas, es posible encontrar partículas mayores a 200 micras (Castillo & Martínez, 1996; Pérez, 2013) Los cuerpos de agua como los lagos retienen las partículas provocando la deposición en el fondo de las mayores y las más pequeñas permanecen en suspensión aumentando la turbiedad. Se ha considerado que el límite máximo aceptado para sólidos totales en un cuerpo de agua natural es de 500 mg/L (Pérez, 2013).

Los compuestos nitrogenados y fosfatados son relevantes para esta clase de estudios, siendo este último el limitante para la productividad primaria. Para cultivos de trucha arcoíris 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 (Velazco et al., 2012; Corpoboyacá, 2016).

#### **4.10. Macroinvertebrados acuáticos y su uso como bioindicadores**

Estos organismos que por lo general viven en el agua, carecen de columna vertebral y se pueden observar sin la ayuda de un microscopio, son ricos en proteínas contribuyendo a una alimentación energética de otros animales de mayor tamaño (Roldan, 1992) (figura 12). Los macroinvertebrados pueden vivir en la superficie, en el fondo o nadar libremente; de ahí que reciban diferentes nombres de acuerdo con el tipo de adaptación (Roldan, 2003; Ramírez y Gutiérrez, 2014).

**Figura 12.** Clave dicotómica para la identificación de macroinvertebrados por grupo de taxones mediante análisis morfológico



Fuente: Tópicos de limnoecología, Aguas continentales, Alejandro Palma. 2013

El término de indicador biológico utilizado para evaluar algunas propiedades del agua, se define como organismo o conjunto de organismos que tienen cualidades similares relacionadas a uno o varios factores fisicoquímicos, donde las alteraciones en presencias o ausencia, cantidad, forma o comportamiento de esos organismos particulares demuestran que los factores físicos y químicos establecidos, se encuentren cercanos de sus rangos de tolerancia (Rosenberg and Resh, 1993; Portilla, 2015).

La utilización de indicadores biológicos como técnica para determinar la calidad del agua reduce en mayor escala las acciones en terreno y en laboratorio, su uso se limita a identificar y cuantificar las especies con base en índices de diversidad presentados en

rangos de calificación de los atributos de calidad del agua (Vázquez et al., 2006; Rivera et al., 2013).

Los bioindicadores son aquellos que, por su adaptabilidad evolutiva, ambiental y nivel de tolerancia a ciertas condiciones presentan un grado de sensibilidad o no a la contaminación; por ejemplo, familias no tolerantes como Plecóptera, Trichoptera y Ephemeroptera, que su desarrollo larval se presenta en aguas con buenas condiciones de calidad. Por el contrario, especies como Oligoquetos y *Chironomidae* que son más tolerantes a la contaminación y soportan cambios y variabilidad en la calidad del agua (Roldan, 1996; Astudillo et al., 2014). Cuando los cambios son drásticos las especies con mayor sensibilidad mueren y son reemplazados por las especies con mayor grado de tolerancia (Alba-tercedor, 1996, Yépez et al., 2017). De esta forma se puede analizar el grado de contaminación de un sistema lacustre, mediante el comportamiento en la estructura y abundancia de estos organismos (Giacometti y Berbosa, 2006; Damanik, 2016).

Estos individuos presentan un alto nivel de sensibilidad y tolerancia a diferentes entornos físicos y químicos, cambiando su abundancia y diversidad a medida que haya cambios en su hábitat acuático. De esta forma índices como el de la riqueza de especies se puede utilizar para determinar el estado ambiental o grado de contaminación de un río, lago o laguna (Álvarez y Pérez, 2007; Forero et al., 2014). Los bioindicadores pueden establecer el nivel de impacto en una fuente hídrica en un mayor intervalo de tiempo y a menores costos que los análisis físicos y químicos, aunque su análisis no supe la información obtenida de estos últimos (Chapman, 1996; Morelli, 2014).

En estudios anteriores en el Lago Guamuez se han encontrado especies bentónicas indicadoras de mala calidad de agua o aguas medianamente contaminadas en las instalaciones de jaulas flotantes tales como familias *Chironomidae* con un 40% del total de especies encontradas y una abundancia de 0,3947, *Thiaridae* con 24% y abundancia de 0,2425 y *Ampullariidae* 9% y abundancia de 0,1109, *Planaride* con 8% y abundancia de 0,088 y 5% para *Tubificidae* con 0,054 de abundancia (CORPONARIÑO, 2015; González et al., 2017).

De igual forma González et al (2017), reporta especies de macroinvertebrados bentónicos indicadoras de buena calidad de agua en zonas que no presentan cultivos de trucha arcoíris, especies como *Hydrachnidae*, con 5% del total de especies y una abundancia de 0,0752 y *hydrobiosidae* con 3% y una abundancia de 0,0338. Estos datos demuestran que existe variación ecológica en lugares con jaulas de cultivo y algunas de las zonas que no presentan intervención por cultivos piscícolas.

#### **4.10.1. Beneficios y dificultades del trabajo con macroinvertebrados acuáticos.**

Existen ciertos criterios que se presentan a continuación y catalogan a estos organismos como indicadores de la calidad del agua por excelencia (Roldan, 2003):

- a. Gran abundancia, distribución cosmopolita y no presentan mayores dificultades en su recolección.
- b. Gran parte de estos organismos son sedentarios lo que indica los entornos locales
- c. De fácil identificación, en comparación con virus, bacterias y otras especies
- d. Muestran los cambios del ambiente de corto tiempo
- e. Proveen resultados que integran variables acumulativas
- f. Se caracterizan por tener extensos ciclos de vida
- g. Se pueden observar sin utilizar microscopios o lupas
- h. Es factible su cultivo en recintos controlados
- i. Dan una respuesta rápida a las presiones del ambiente
- j. Poca variación genética

Igualmente, Prat (1999), compara los factores positivos y negativos que se derivan de los métodos químicos y los biológicos. Dentro de los aspectos positivos de los procesos químicos se encuentran la variación temporal detallada, la identificación exacta de la contaminación y su facilidad para estandarizar. Dentro de los aspectos menos favorables se tiene en cuenta que las muestras pueden contaminarse, no se integran temporalmente y los análisis son de mayor costo (Prat, 1999; Zamora, (2015). Entre las ventajas de los métodos biológicos, se tiene que es factible integrar aspectos de espacialidad y temporalidad; realizar investigaciones de bioacumulación, obtener respuesta a factores de contaminación crónica siendo más específica, y se evalúa la degradación del entorno a estudiar. Con relación a las desventajas se encuentran la reducida sensibilidad temporal,

dificultad para cuantificar y estandarizar, al igual que el análisis con aguas subterráneas (Roldán, 2016).

**4.10.2. Macroinvertebrados bentónicos y su importancia ecológica.** Estos organismos se consideran un eslabón de suma importancia en la trama trófica, en especial para la alimentación de especies acuáticas y peces. La alimentación de muchos invertebrados se basa en microalgas y bacterias, que se posicionan en la parte inferior de la trama alimentaria (Rozo, y Salinas, 2016). Diferentes macroinvertebrados desmenuzan hojas para alimentarse y otros grupos se alimentan de materia orgánica del agua contribuyendo a su disminución y transformación, presentando un papel importante en el intercambio de energía y nutrientes. Los nutrientes que dejan estos organismos cuando mueren se aprovechan para las plantas acuáticas y demás especies que pertenecen a esta fase de la trama alimentaria (Roldan, 1988; Mosquera y Mosquera, 2017).

La relevancia de ciertas taxas como Trichoptera, Ephemeroptera y Diptera en la dieta de gran variedad de peces, es notoria; de igual forma y gracias al largo ciclo de vida de los macroinvertebrados en el entorno acuático y la rápida respuesta de las comunidades faunísticas a las intervenciones ambientales de carácter natural como humedad, temperatura, entre otros o por factores externos como efluentes contaminados, estos son utilizados comúnmente como bioindicadores de las condiciones ecológicas de los ecosistemas acuáticos (González y Cobo, 2006; Sánchez, 2011; Rozo y Salinas, 2016).

El comportamiento estable en la ecología de un lago se relaciona en forma de una directriz enfocada a minimizar las variaciones de flujo de energía, lo que se ve reflejado al variar la estructura ecológica de las poblaciones al mismo tiempo que varía el entorno ambiental estacional; de esta forma se refleja la importancia de la variabilidad espacial y temporal en la conformación de organismos y la abundancia de las especies para que el sistema completo permanezca estable (Villamarín, 2013; Walteros, 2016).

Las poblaciones pueden caracterizarse por un comportamiento secuencial temporal con otras especies que las reemplazan manteniendo así la dinámica general del ecosistema, los macroinvertebrados bénticos demuestran el nivel de comportamiento ecológico del medio de forma momentánea y estacional al responder de manera rápida a la variabilidad del ambiente (Hurtado et al., 2003; Zúñiga, 2013).

# 5. Materiales y métodos

## 5.1. ÁREA DE ESTUDIO

El Lago Guamués o Laguna de La Cocha es un gran embalse natural de origen glacial, segundo en Colombia después del lago de Tota (Figura 13). Se encuentra situado en el corregimiento El Encano, del municipio de Pasto, Departamento de Nariño, al sur occidente de Colombia (Figura 14). Este lago es de gran importancia a nivel nacional y regional, puesto que el país lo inscribió como humedal de importancia internacional, dentro del convenio RAMSAR, en el año 2000, mediante el Decreto 698 del 18 de abril siendo el primero con esta calificación en la zona andina (Vive Nariño un paraíso lleno de sorpresas, 2014). El Humedal RAMSAR Laguna de La Cocha hace parte del Corredor Andino Amazónico Norte, Ecorregión Bordoncillo Patascoy – La Cocha, localizado a los 0°53'28.55" y 1°20'36.40" de latitud Norte y 76°50'50.41" y 77°14'17.37" de longitud Oeste, en el sur oriente colombiano, en límites de la Reserva Forestal Central entre los departamentos de Nariño y Putumayo. Es un humedal estratégico rico en riqueza ecosistémica, diversidad de especies, variedad genética y riqueza hídrica (Corponariño, 2002).

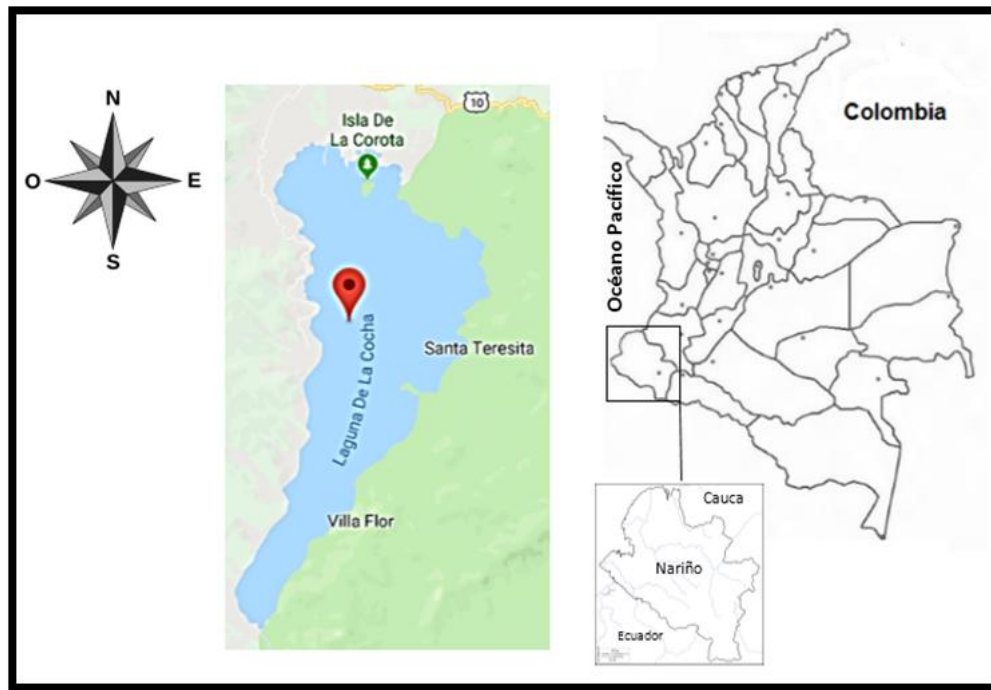
**Figura 13.** Lago Guamuez, Corregimiento del Encano, Municipio de Pasto, Departamento de Nariño.



Fuente: Lago Guamuez o Laguna de La Cocha. Disponible en internet:  
<https://www.google.com.co/search?q=laguna+de+cuicocha&espv=2&biw=1366&bih=613&source=Inms&t>



**Figura 14.** Ubicación geográfica Lago Guamuez o Laguna de La Cocha en el departamento de Nariño, Colombia



Fuente: Fondo Mundial para la Conservación de la Naturaleza, 2004.

El estudio de investigación se llevó a cabo en tres empresas piscícolas de mayor producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en sistemas de jaulas flotantes establecidas en la parte alta, media y baja del Lago Guamuez (Figura 15), comparando con un punto control sin intervención acuícola por cada empresa, las cuales están ubicadas en las veredas “El Motilón, Santa Teresita y El Naranjal respectivamente.

**Figura 15.** Empresas de Producción Intensiva de Trucha Arcoíris. a) Empresa ubicada en la vereda El Motilón, b) Empresa vereda Santa Teresita, c) Empresa vereda El Naranjal.



Fuente: Propia

La empresa ubicada en la vereda El Motilón (cuenca alta) fue conformada en el año 2004 con una producción actual de 336 toneladas anuales de trucha aproximadamente, cuenta con un total de 40 jaulas flotantes cada una con una capacidad de 120 m<sup>3</sup>, de las cuales 20 están destinadas al mantenimiento de animales de 5 gr de peso hasta alcanzar un promedio de 150 gr y 20 Jaulas destinadas a la fase de levante y engorde con las mismas dimensiones que las anteriores, con animales de 150 gr hasta su peso de cosecha entre los 300 y 600 gr por unidad según el gusto o necesidad del comprador; el punto control de comparación que se muestreará para esta empresa se encuentra ubicado a 2 kilómetros de distancia.

Esta empresa, cuenta con una planta de 5 trabajadores directos contratados de manera formal con sus respectivas prestaciones de ley (Gerente, jefe de producción, jefe de planta, supervisor de empackado, agente comercial). Cuenta con 6 trabajadores mediante la modalidad de prestación de servicios quienes se encargan de los procesos de cultivo y quincenalmente se contrata a 20 jornales en su mayoría mujeres quienes se encargan de realizar los procesos de traslado de los animales a las granjas, lavado, eviscerado, deshuesado (dependiendo de la presentación) y finalmente el empackado del producto final. Los trabajadores en su mayoría son personas de bajos recursos moradores de esta vereda y lugares cercanos del sector (Entrevista personal, 5 de mayo de 2018).

La empresa ubicada en la vereda Santa Teresita (cuenca media) fundada en el 2004, produce aproximadamente 348 toneladas anuales de trucha, y cuenta con 42 jaulas flotantes, de las cuales 20 se utilizan para la fase de alevinaje y 22 jaulas para la fase de levante y engorde manejando tamaños de animales similares a la anterior; su punto control se ubicará a 3 kilómetros de distancia donde no hay intervenciones acuícolas o asentamientos humanos.

Esta empresa, cuenta con una planta de 4 trabajadores directos contratados de manera formal con sus respectivas prestaciones de ley (Gerente, director de producción, director de procesos, asesor comercial). Cuenta con 5 trabajadores mediante la modalidad de prestación de servicios quienes se encargan de los procesos de cultivo y semanal o quincenalmente dependiendo de la producción se contratan entre 15 y 20 jornales, entre mujeres madres cabeza de familia y jóvenes estudiantes de bachillerato, quienes se encargan de realizar los procesos desde la cosecha del cultivo hasta el empackado y embarcado en los vehículos transportadores; de igual forma se encargan de la limpieza y

mantenimiento de las instalaciones. Los trabajadores en su mayoría son personas de bajos recursos moradores de esta vereda y lugares cercanos del sector (Entrevista personal, 5 de mayo de 2018).

Finalmente, la empresa ubicada en la vereda el Naranjal creada en el año 2005 (cuenca baja) produce alrededor de 360 toneladas/año cuenta con 40 jaulas de las cuales 20 se utilizan para la fase de alevinaje y 20 para los procesos de levante y engorde. El punto control se ubicará aproximadamente a 2,8 kilómetros de la estación de cultivo.

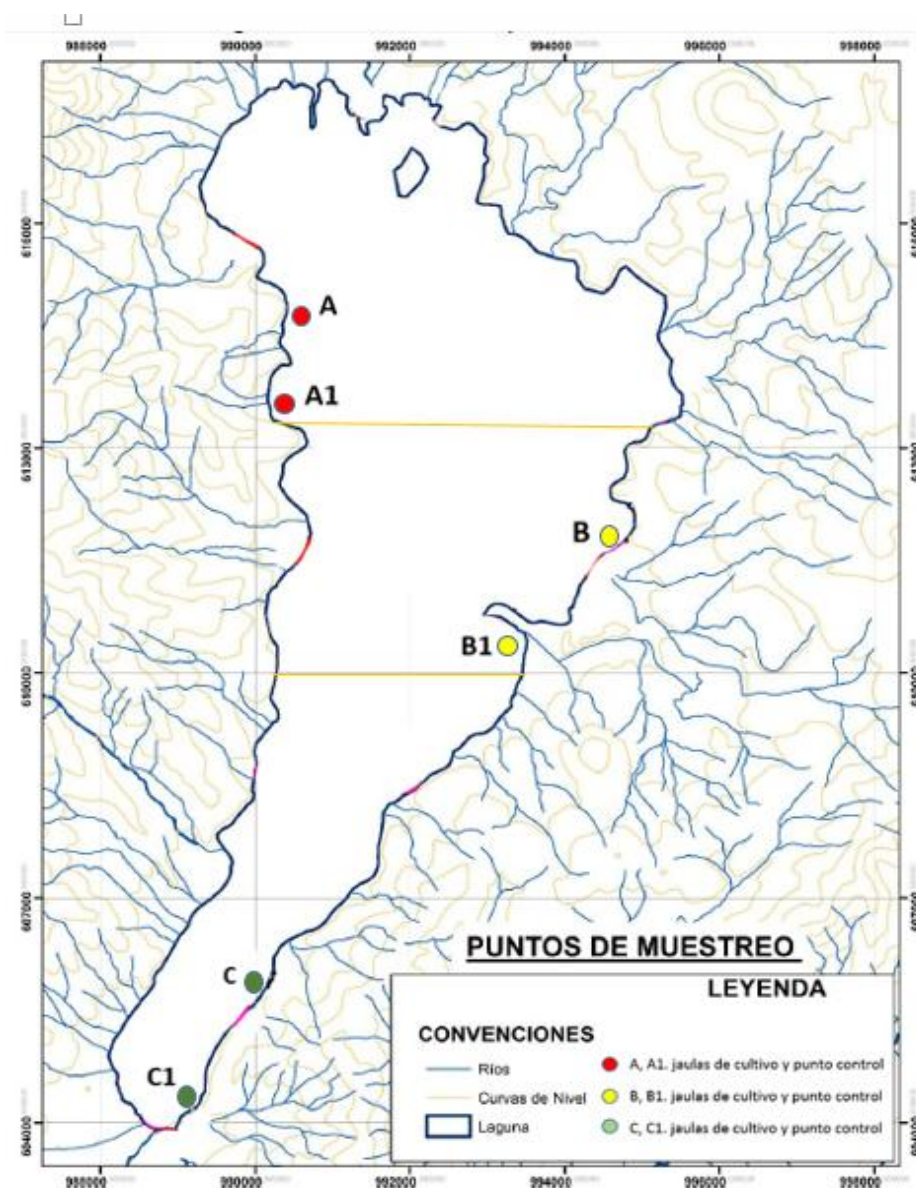
La empresa cuenta con 4 personas laborando mediante contrato laboral formal, quienes desempeñan el papel de gerente, jefe planta de procesos, jefe de cultivo y comercializador. De igual forma cuenta con 5 personas contratadas mediante prestación de servicios quienes apoyan a los profesionales y técnicos en las labores de producción. Dependiendo de la cantidad de producción, se contratan jornales de manera quincenal o mensual para que brinden su apoyo en el procesamiento. Las personas que trabajan en esta empresa en su mayoría son familia y viven en la vereda Naranjal al igual que pertenecen al cabildo indígena Refugio del Sol del Pueblo de los Quillasingas.

**5.1.1. Zonas y estaciones de Muestreo:** La investigación fue desarrollada en seis zonas del lago Guamuez, (tres empresas de cultivo y tres puntos control) en la cuenca alta, media y baja del lago (Figura 16) entre junio de 2018 a septiembre de 2019, realizando un primer muestreo en las seis zonas en los meses de julio a noviembre de 2018 que se contempla la temporada de lluvias altas y el segundo muestreo fue realizado entre febrero a junio de 2019 (temporada de lluvias bajas). Estas zonas se seleccionaron según la ubicación de las instalaciones acuícolas como se refleja en la tabla 3. En cada zona se monitorio tres estaciones de muestreo (las dos esquinas y el centro de la batería de jaulas de cada empresa) y tres estaciones al azar en cada punto control que fueron determinadas mediante coordenadas geográficas utilizando un GPS GARMIN, con el fin de obtener una totalidad de dieciocho (18) estaciones de monitoreo y recolección de muestras.

**Tabla 3.** Zonas de estudio en el Lago Guamuez

Zonas	Descripción	Ubicación
A	Instalaciones acuícolas	Empresa Vereda El Motilón
A1	Punto control	
B	Instalaciones acuícolas	Empresa Vereda Santa Teresita
B1	Punto control	
C	Instalaciones acuícolas	Empresa Vereda El Naranjal
C1	Punto control	

**Figura 16.** Ubicación de las zonas de muestreo.



Fuente: Corponariño 2014., modificado para este estudio

### **5.1.2. INVESTIGACIÓN ACCIÓN PARTICIPATIVA PARA INDAGAR SOBRE MEMORIA BIOCULTURAL**

Teniendo en cuenta la etnografía del territorio se realizó un análisis descriptivo participativo, mediante conversaciones y charlas dirigidas con los diferentes grupos poblacionales asentados en el Lago Guamuez, entre los que se encuentran comunidades indígenas pertenecientes al Resguardo Indígena Quillasinga Refugio del Sol, comunidades campesinas representadas por la Asociación para el Desarrollo Campesino (ADC) y personas o productores foráneos.

Los acercamientos se realizaron mediante un análisis descriptivo cualitativo mixto donde se fusionan los conocimientos sociales, ancestrales y biológicos, proponiendo un recuento histórico y productivo relatado por los pobladores que se enfoca en la relación hombre-agua y los procesos productivos asociados al cultivo de trucha arcoíris y la resiliencia comunitaria de las comunidades en cuanto a las prácticas acuícolas.

En este sentido, la identificación de variables (encuestas y charlas dirigidas con mayores y autoridades comunitarias), permitió analizar la relación de las personas y productores con la agroecología y la conservación o no de la memoria biocultural del agua y ecosistema del Lago Guamuez.

Esta investigación tiene un carácter transdisciplinario y con enfoque mixto lo que permite establecer conexiones que acercan una visión de conjunto para la comprensión de los sistemas culturales y ambientales, ya que incluye diferentes áreas del conocimiento como las ciencias ambientales, ecológicas y sociales lo que permitió describir las prácticas y procesos acuícolas teniendo como punto de referencia al ser humano como factor principal del proceso y su visión holística del territorio.

Los alcances metodológicos se determinaron a partir del enfoque cualitativo, para identificar y comprender los aspectos de los conocimientos ancestrales del Lago Guamuez que conforman la memoria biocultural, con el fin de entender como a partir de la pérdida de la memoria biocultural referente a la espiritualidad, los territorios sagrados y a los ciclos productivos del cultivo de trucha arcoíris se aumenta la vulnerabilidad social y ecosistémica.

Finalmente, esta investigación transdisciplinaria atribuye varias características como la de flexibilidad y complementariedad con los análisis de variables ambientales, ecológicas y sociales, las cuales permiten, por un lado, reconocer las complejidades de lo social en relación a las producciones acuícolas y los modos de interpretar lo social en el dato inicialmente realizando las acercaciones con las comunidades basados en la metodología de Checkland para sistemas cerrados y posteriormente mediciones numéricas con la encuesta y técnicas asociadas al campo simbólico- narrativo como las entrevistas y charlas dirigidas.

**5.1.3 Investigación acción participativa para el componente social.** La agroecología se basa en las Metodologías Participativas de Investigación-Acción como herramienta central de trabajo (Guzmán Casado et al. 2000). Las metodologías participativas han desarrollado propuestas que tratan de incorporar la complejidad de las relaciones sociales con las productivas, económicas y ambientales, con el fin de generar soluciones colectivas a los problemas cotidianos en el medio rural. Para el desarrollo metodológico de este componente se aplicó la metodología de Diagnóstico Rural Participativo, esto con la ayuda de la encuesta propuesta en la metodología de Checkland con el fin de interactuar de forma personal e investigativa con la población involucrada, teniendo como prioridad la participación de la comunidad en una jornada previa de integración comunitaria. Para esta actividad se contó con el apoyo del Instituto Colombiano Agropecuario ICA, con quienes se articuló con el fin de explicar a los productores y sus familias el objetivo de este estudio y la realización de la encuesta (Figuras 17 y 18).

**Figura 17.** Reunión de articulación con el ICA y productores de trucha arcoíris del Lago Guamez.

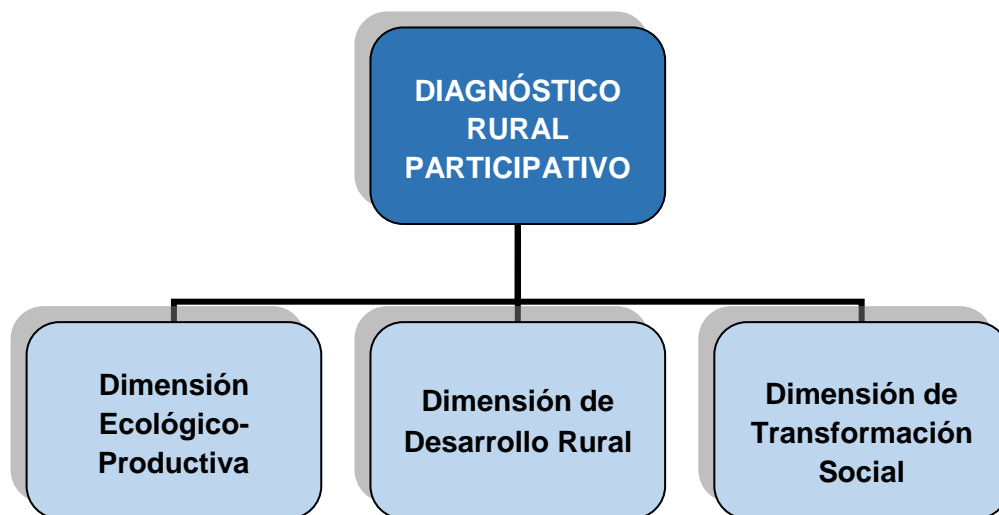


**Figura 18.** Jornada de integración comunitaria



**5.1.3.1 Diagnóstico Rural participativo.** Con el propósito de aportar al sector acuícola de la región hacia un enfoque de extensión rural agroecológica, se realizó un Diagnóstico Rural Participativo (DRP), donde se involucró algunas de las principales dimensiones que maneja la agroecología como se describe en la figura 19.

**Figura 19.** Dimensiones de la agroecología involucradas en un Diagnóstico Rural Participativo.



Fuente: García, D. (2014). Metodologías Participativas, Agroecología y Sostenibilidad Rural.

El DRP utiliza la alternativa de “investigación de cuestionario” y supone un conjunto de técnicas rápidas, con un enfoque participativo, para extraer información significativa de cara a la mejora del manejo del sector investigado, de igual forma propone optimizar los recursos de investigación en base al equilibrio entre los datos reales recolectados en la encuesta, la cantidad y calidad de los mismos, su relevancia y exactitud y la temporalización de los procesos.

A partir de estas fuentes de información de los pobladores se realizó un análisis sobre el manejo de los recursos naturales, el conocimiento de las buenas prácticas de producción, la generación de ingresos y la incidencia en el ecosistema y entorno social. La metodología propuesta se construyó con base a los recursos propios y la práctica experiencial que brinde la población objetivo. En este proceso se cambió de rol, al pasar de ser un investigador poseedor del conocimiento, a un dinamizador de la construcción y el intercambio de conocimientos y datos locales (Figura 20).

**Figura 20.** Recolección de información secundaria con productores de trucha del Lago Guamuez.



Teniendo en cuenta el bajo grado de escolaridad de esta población se aplicó el DRP mediante la metodología de Checkland (sistemas suaves), con el fin de relacionar el componente técnico con las variables sociales (Figura 21), con el que se categoriza una serie de variables sociales cualitativas que definen un problema o una situación de interacción social. Una vez se identificó la población de estudio, se procedió a realizar



una serie de preguntas (cuestionario), donde cada pregunta debe se transformó a un sistema cerrado, con unas respuestas definidas, esto con el fin de cuantificar dicha información (Figura 22). Una vez obtenido el cuestionario, dichos resultados fueron ponderados para su análisis.

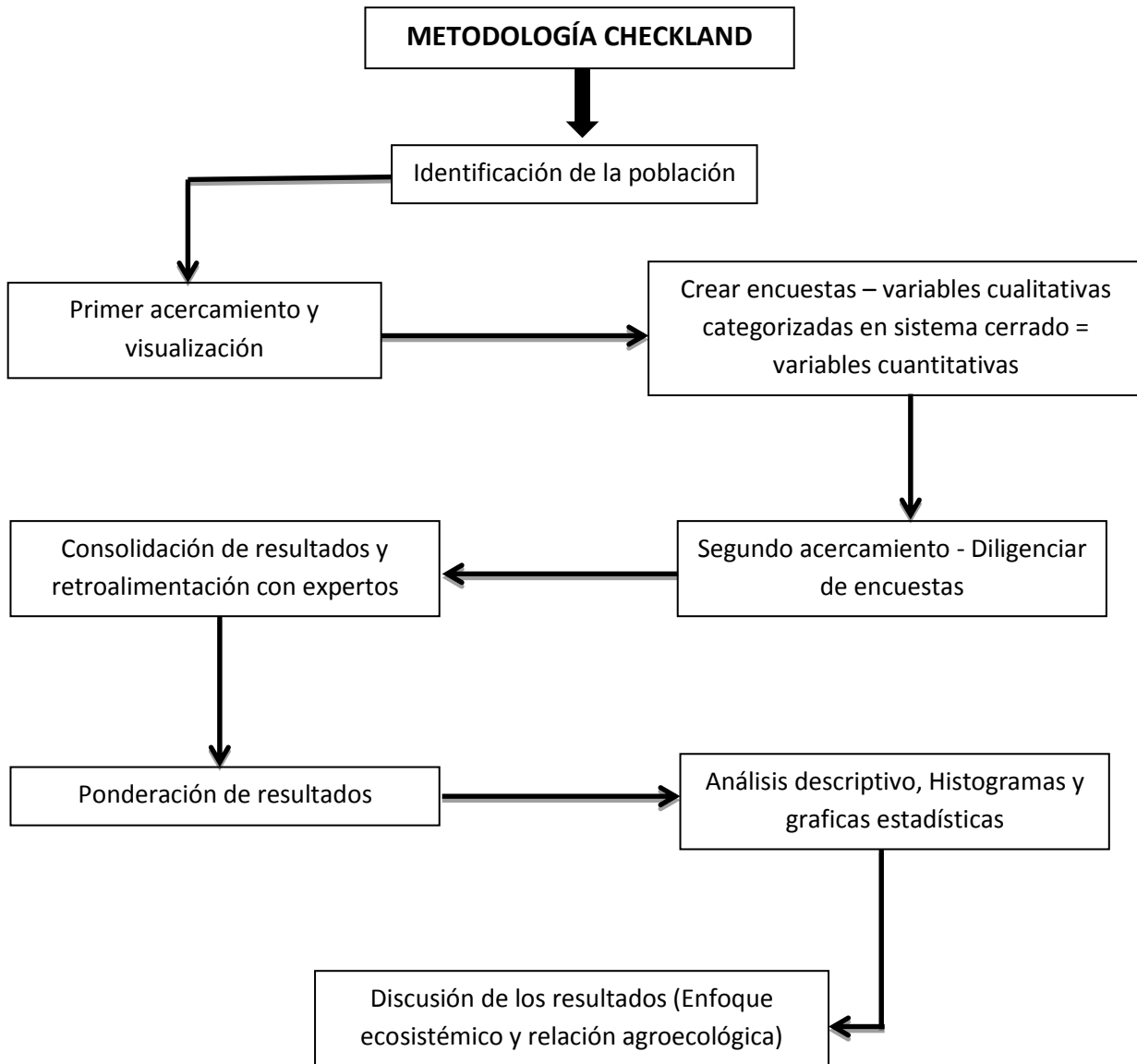
Para este estudio, el cuestionario o encuesta se conformó de 22 preguntas correspondientes a 5 aspectos relevantes en los procesos acuícolas que son:

- **Aspectos legales de la actividad**
  - ¿Posee concesión de aguas y de vertimientos de efluentes?
  - ¿Posee el permiso de cultivo?
  - Describe su experiencia en piscicultura en años
  - Conoce y/o aplica los manuales de buenas prácticas de producción acuícola
  
- **Aspectos técnicos relacionados a las unidades de cultivo**
  - Número de estanques y/o jaulas que posee la estación
  - ¿Utiliza tablas de alimentación?
  - ¿Utiliza fármacos o medicamentos para los animales del cultivo?
  - ¿Qué sistema de cultivo presenta?
  - ¿Maneja densidad de siembra?
  
- **Aspectos relacionados a la calidad del agua**
  - ¿Realiza algún tratamiento al agua?
  - ¿Realiza control de parámetros de calidad de agua en el cultivo?
  
- **Aspectos socioeconómicos**
  - ¿Dónde comercializa los productos?
  - ¿Sus ingresos mensuales son mayores o menores antes de dedicarse a la actividad?
  - ¿Cuántas personas de núcleo familiar se benefician de los cultivos?
  - ¿Qué actividad desarrollaba antes de dedicarse a la producción de trucha arcoíris?
  
- **Planes de expansión y desarrollo**
  - ¿Tiene previsto incrementar sus cultivos?
  - ¿Qué factores cree que es el más limitante?

Una vez se ponderaron dichos resultados se realizó histogramas, graficas estadísticas y un análisis descriptivo que permitió visualizar y discutir el contexto de los resultados y

relacionarlos con un enfoque ecosistémico para determinar cómo esta actividad pecuaria ha contribuido al entorno social en el sector, estableciendo la relación de la comunidad del corregimiento del Encano con la producción acuícola, los beneficios y perjuicios al ambiente y la visión agroecológica de la comunidad sobre el desarrollo de esta actividad.

**Figura 21.** Metodología de Checkland, sistemas blandos o suaves



**Figura 22.** Aplicación de encuesta a productores de trucha arcoíris del Lago Guamuez



#### **5.1.4. Monitoreo de parámetros fisicoquímicos:**

Mediante una sonda multiparamétrica YSI modelo 85, se midió la temperatura y el oxígeno disuelto; con la ayuda de un medidor de pH ALTRONIX TPA-V se midieron el pH y la conductividad eléctrica. La turbidez fue medida mediante una botella Van Dorn extrayendo la muestra de agua, que posteriormente fue medida con un turbidímetro marca Hach. La alcalinidad y dureza se analizaron por medio volumétrico, mientras que la transparencia se midió con un disco Secchi. Estos muestreos y análisis se realizaron con tres réplicas a 0, 10 y 20 metros en las dieciocho estaciones de monitoreo (Figura 23).

**Figura 23.** Monitoreo de parámetros fisicoquímicos en las zonas de muestreo



#### **5.1.5. Análisis de nutrientes, DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos suspendidos y sólidos disueltos.**

En las dieciocho estaciones de monitoreo, se recolectaron muestras de agua en los 0,

10 y 20 metros de profundidad, siendo depositadas en frascos plásticos con capacidad de dos litros donde se midió fósforo total, nitrógeno total, sólidos disueltos y sólidos suspendidos. Los análisis de DBO5 y DQO, se realizaron mediante el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (Figura 24). Las muestras recolectadas se preservaron y transportaron a los laboratorios bajo los protocolos de los standard methods APHA, WEF & AWWA, 2012, realizando su análisis en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño, laboratorio de aguas de las Universidad Mariana y en la corporación autónoma ambiental del Departamento (CORPONARIÑO) (Figura 25).

**Figura 24.** Recolección muestras de agua para análisis de nutrientes en las zonas de muestreo.



**Figura 25.** Análisis de muestras de nutrientes en laboratorio



### 5.1.6. Determinación de sedimentos:

Mediante técnicas de buceo profesional, con el acompañamiento de un instructor y todos los equipos requeridos, se realizó inmersión hasta los 20 m de profundidad aproximadamente donde se encuentra el fondo debajo de las jaulas en cada una de las seis zonas, (jaulas flotantes veredas El Motilón, Santa Teresita y El Naranjal y sus puntos control). (Figura 26).

**Figura 26.** Recolección de muestras de sedimentos en las zonas de muestreo



La toma de muestras de sedimento para el análisis de los macroinvertebrados, materia orgánica total, fósforo total, nitrógeno total y pH fue realizada directamente en las inmersiones de buceo en las tres estaciones de cada una de las seis zonas. Se utilizó un CORE de uso manual con abertura circular cuyas dimensiones fueron de 10 por 35 metros. En cualquier tipo de sedimento, este dispositivo penetra hasta los 10 centímetros (Estacio, 1996), profundidad donde se ubica la mayor cantidad de macroinvertebrados bentónicos. (Curras 1990). Del sedimento recolectado y llevado a la superficie se depositó un promedio de 500 gr por estación en bolsas plásticas tipo Ziploc para ser analizado en los laboratorios mediante la norma NTC-ISO/IEC 17025 del 2005 (Figura 27).

**Figura 27.** Muestras de sedimentos para su análisis en laboratorio



Para el análisis de macroinvertebrados bentónicos, 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 bajo el estereoscopio de marca LBM LUXEO 4Z y microscopio marca PCE - MM200 y con el apoyo de un biólogo especialista en este tipo de identificaciones (Figura 28).

**Figura 28.** Identificación taxonómica de macroinvertebrados bentónicos.



Solo una de las réplicas de sedimento fue utilizada para determinar, la materia orgánica, que se obtuvo mediante ignición y calcinación por medio del método de Dean (1974). Estos análisis se efectuaron por triplicado para cada una de las dieciocho estaciones de muestreo (Figura 29).

**Figura 29.** Determinación de materia orgánica de los sedimentos recolectados en las zonas de muestreo



## 5.2. PARÁMETROS COMUNITARIOS PARA EL ANÁLISIS DE DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con la identificación y cuantificación de los macroinvertebrados bentónicos, se realizó el cálculo del índice de diversidad de Shannon ( $H'$ ), índice de equidad de Pielou ( $J'$ ) y los índices de riqueza de Margalef y dominancia de Berger-Parker.

**5.2.1 Parámetros comunitarios de diversidad biológica.** Con los resultados de abundancia que se obtuvieron para cada familia, en cada una de las estaciones de muestreo, se construyó una matriz de datos que permitió analizar los parámetros comunitarios o índices de diversidad.

**5.2.1.1 Índice de Shannon-Weaver ( $H'$ ).** Su Desarrollo y utilización se basa en tratar de medir una cierta cantidad de información de especies, la cual puede ser transmitida en un tipo de código (Greig 1983). Sus valores se encuentran entre un rango de 0 a 5 y la forma de calcularlo es con la siguiente fórmula.

$$H' = - \sum_{i=1}^s \left( \frac{n_i}{N} \right) \ln \left( \frac{n_i}{N} \right)$$
$$P_i = \frac{n_i}{N}$$

Dónde:

S: número de categorías

Pi: proporción de observaciones en cada categoría

ni: número de individuos por especie

N: número total de individuos en una comunidad

ln: logaritmo natural

**5.2.1.2 Índice de Uniformidad o equitatividad de Pielou. (Pielou, E. C. 1975).** Pielou consiste en medir la uniformidad en un ecosistema, su fórmula expresa la diversidad que se observa en relación a la que se podría obtener en una comunidad con igual cantidad de especies, teniendo en cuenta la máxima uniformidad (Ferríol y Merle, 2012). Su rango esta entre cero y uno y su fórmula es la siguiente.

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

Donde:

H´= Valores de diversidad que se obtuvieron

S= Número de especies que fueron recolectadas.

**5.2.1.3 Índice de riqueza de Margalef.** Este índice estima que tan diversas son las unidades muestreadas, basándose en cómo se distribuyen numéricamente los individuos de cada especie en relación al número de individuos que se encuentran de la muestra que se está analizando. Su resultado se basa en el número de especies que se observan y no en su importancia. Valores mayores a 5 indican altas biodiversidades, mientras que inferiores a 2 representan biodiversidades bajas (Paredes, et al., 2011). Se calcula mediante la siguiente formula:

$$D_{MG} = \frac{(S - 1)}{\ln N}$$

Dónde:

S= número de especies.

N= número total de individuos.

**5.2.1.4 Índice de dominancia de Berger–Parker.** Mide la dominancia de la especie o taxón más abundante, siendo su expresión matemática la siguiente:

En donde:

$$B = \frac{N_{m\acute{a}x}}{N}$$

- $N_{m\acute{a}x}$ : número de individuos del taxón más abundante.
- N: número total de individuos de la muestra.

Este índice adquiere valores comprendidos entre 0 y 1 (0 % y 100 %). Es indicador de los mismos impactos que el índice de Simpson-Gini: polución orgánica, degradación en la morfología del río o lago y degradación general (Hernández, et al., 2008).

**5.2.2. Análisis Estadístico:** El análisis de agrupamiento se realizó mediante análisis multivariados aplicando pruebas de análisis discriminante; esto con el fin de describir si existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre las variables de cada una de las seis áreas



a evaluar (tres empresas y tres puntos control). En caso de existir diferencias, este análisis explica en qué sentido se dan para analizar su relación.

Para las variables se aplicó un análisis de varianza mediante modelos lineales generalizados, estableciendo las épocas (seca y lluviosa) como dos bloques y la comparación entre zonas de estudio como tratamientos para determinar si existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre ellas, previo la verificación de supuestos estadísticos como la prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk, chi-Cuadrado, y Z para Sesgo), la prueba de Homogeneidad de varianzas (Bartlett) que se utiliza para probar si  $k$  muestras provienen de poblaciones con la misma varianza, y la prueba de Independencia de Durbin-Watson que permite observar la presencia de autocorrelación entre los errores (Nirmalraj and Malliga, 2003; Correa et al., 2006; Arriaza, 2006).

Una vez realizada las pruebas y verificando que se cumplen los supuestos estadísticos, se procedió a realizar el análisis de varianza que permitió determinar si hay diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en las zonas de estudio, donde se empleó una prueba de Tukey para comparar las medias de las muestras.

De igual forma, se realizó una prueba de correlación múltiple entre todas las variables involucradas para definir la relación de asociación entre ellas, a partir de lo cual fue posible establecer las relaciones de dependencia entre grupos de variables mediante modelos de regresión lineal múltiple o multivariada.

También se utilizó pruebas multivariadas descriptivas como el análisis de componentes principales (PCA) para determinar la forma de agrupación o comportamiento de los datos en forma conjunta, con un mínimo de variabilidad para dos o tres componentes (variables ficticias), y cuantitativas como el análisis multidimensional con el fin de determinar las diferencias multivariadas entre las zonas de estudio y entre las épocas seca y lluviosa.

## 6. Resultados y Discusión

El Lago Guamuez o también denominado “Laguna de la Cocha”, puede ser descrita como la representación de la biodiversidad con la que cuenta el departamento de Nariño, siendo catalogado como Humedal RAMSAR por su importancia ecológica y ambiental no solo en el Departamento, sino, a nivel nacional e internacional. Hasta el momento se han realizado diferentes estudios hidrológicos, batimétricos ecológicos y ambientales, los cuales si bien es cierto no son muchos, han aportado al conocimiento de este importante humedal. Con los resultados de este estudio, se pretende realizar un aporte significativo sobre el comportamiento de la acuicultura en la zona, no solo en el componente ecológico y ambiental, sino su relación con el entorno social con una visión holística cuyas implicaciones agroecológicas se analicen y discutan a profundidad. La presentación de los resultados se realiza en función de los objetivos propuestos para determinar las implicaciones ambientales, ecológicas y sociales del cultivo de trucha arcoíris en jaulas flotantes realizada en el Lago Guamuez.

**6.1. OBJETIVO ESPECÍFICO 1.** Importancia y relevancia social, económica y ambiental a través de la memoria biocultural de las comunidades aledañas al lago Guamuez.

### 6.1.1. MEMORIA BIOCULTURAL DEL LAGO GUAMUEZ

En Colombia se viene visualizando diferentes problemáticas circundantes a los humedales y su importancia ecosistémica y ambiental, sin embargo, la toma de decisiones la realizan las entidades gubernamentales y políticas internacionales sin tener como principal actor a las comunidades que los habitan. Esto demuestra el déficit hacia el reconocimiento ancestral, espiritual y empírico que pueden aportar las comunidades a la reconstrucción del tejido social y rescate de la biocultura.

Por otro lado, según las entrevistas y encuestas realizadas se encontró la dificultad de analizar las situaciones sociales, políticas, económicas y de necesidades básicas insatisfechas que resultan de los conflictos territoriales en relación a la producción intensiva de trucha arcoíris y que pueden ser resueltas desde un escenario local, con perspectiva de ciencia participativa. Una ciencia inclusiva, en donde el etnoconocimiento y el conocimiento

empírico juegue un papel importante y objetivo en la elaboración de políticas públicas encaminadas a garantizar territorios con soberanía del Agua.

De acuerdo con los resultados obtenidos según las variables ambientales, ecológicas y sociales, se considera de vital importancia la recuperación de la relación emocional con el ecosistema explotado por las producciones acuícolas, rescatando los valores de belleza, disfrute, y respeto por el universo espiritual y de identidad territorial y colectiva del Humedal, puesto que constituyen la base sistémica para aumentar la resiliencia comunitaria en las poblaciones asentadas en el lago Guamuez.

Si bien es cierto, gracias a la llegada de la acuicultura a este humedal se han obtenido beneficios económicos y disminución de presiones ambientales en el páramo y bosque protector, las entrevistas con mayores permitieron evidenciar la pérdida de biocultura en las nuevas generaciones quienes dejan a un lado el interés por aprender y conservar las tradiciones de su pueblo y se enfocan en otro tipo de actividades que conllevan a prácticas salidas de contexto de la cultura del territorio.

Para entender la complejidad de la interconexión hombre-naturaleza, emerge el concepto desde la Antropología Ambiental de Sistemas Naturculturales que explican la existencia de un factor dinámico constante al análisis de la vulnerabilidad y la interrelación con el contexto. En ese sentido se evidenció que la agricultura familiar se ha convertido en un dolor de cabeza por la falta de apoyo dentro del grupo familiar, dejando la responsabilidad a los ancianos y mujeres del hogar. Estas dificultades expresadas por los habitantes y comunidades étnicas ponen en evidencia la pérdida de la biocultura y la exposición a la vulnerabilidad etnográfica en la zona.

Según los encuentros con diferentes entidades de carácter gubernamental, la institucionalidad no cuenta con registros bioculturales ni datos históricos precisos de las comunidades establecidas en el Lago Guamuez y su relación con la acuicultura y demás actividades agropecuarias realizadas en el sector, demostrando la falta de inclusión de las comunidades en la toma de decisiones y diseño de políticas públicas que se adapten realmente a las necesidades del territorio con una visión etnográfica resiliente.

El Diagnostico Rural Participativo y el acercamiento con las comunidades y productores permitió establecer un censo entre los 90 productores encuestados sobre sus relaciones ancestrales y espirituales obteniendo los siguientes resultados (Tabla 4):

**Tabla 4.** Algunos factores de Memoria Biocultural del lago Guamuez.

<b>Algunos Factores de Memoria Biocultural</b>				
<b>Numeor de encuestados</b>	<b>90</b>	<b>%SI</b>	<b>%NO</b>	<b>Cual?</b>
<b>Habla la lengua nativa Quillasinga o de otra étnia</b>	100%	2%	99%	
<b>Conoce o practica métodos de medicina ancestral tradicional</b>	100%	15%	85%	Aguas de remedio con plantas, pomadas, infusiones
<b>Asiste a prácticas o rituales espirituales propios de la cultura de la zona</b>	100%	52%	48%	Toma de Yagé, reuniones de sanación en Malocas
<b>Practica algún instrumento musical artesanal y/o propio de la cultura de la zona</b>	100%	20%	80%	Flauta, Quena, tambor, guitarra, charango
<b>Conoce o practica juegos tradicionales multiculturales</b>	100%	15%	85%	Trompo, coca, pirinola, sapo, chaza, canicas
<b>Realiza la caza de especies de fauna silvestre</b>	100%	28%	72%	Conejo, culebra, aves, patos, raposas, etc
<b>A parte de su producción acuícola tiene otro tipo de producción agropecuaria</b>	100%	60%	40%	Papa, Cebolla, Sp menores, Huertas caseras
<b>Conoce métodos de producción acuícola ecológica</b>	100%	1%	99%	BPPA, elaboración de alimentos y fertilizantes orgánicos

Estos resultados obtenidos, nos permiten evidenciar la vulnerabilidad de algunos factores y practicas y la perdida de memoria cultural, usos y costrumbres de los mismos. Por lo cual es de fundamental importancia involucrar los términos y prácticas agroecológicas que permitan no solo realizar una acuicultura ecológica, sino que se realice como una actividad integral fusionada con practicas de agricultura familiar en sana convivencia con el ecosistema y la naturaleza que brinda no solo los servicios ecosistémicos para las comunidades sino también relaciones ancestrales y espirituales etnológicas que permitan el desarrollo sustentable y sostenible de esta ecoregión y sus habitantes.

#### **6.1.1.1. Importancia del productor como ser y eje principal del agroecosistema acuícola.**

Durante la realización del diagnóstico territorial participativo se realizaron una serie de entrevistas tipo conversación (Anexo AB) personal donde se resalta la importancia del campesino y pequeño productor y su pensamiento sobre desarrollo de la acuicultura en la zona, los conceptos y prácticas agroecológicas, el cuidado y preservación del ambiente y los recursos naturales, cambio climático y agricultura familiar como medio de subsistencia (López, 2014). A continuación, se plasman tres de las entrevistas realizadas.

Cabe resaltar que esta investigación es pionera en el departamento de Nariño y en el Lago Guamuez, cuyo fin principal es realizar un aporte agroecológico al desarrollo de la acuicultura, tomando como base principal al productor y su relación con el agroecosistema. Los diferentes objetivos desarrollados realizan una fusión holística e interdisciplinar, basada en el contexto del territorio, su biocultura, su ancestralidad, usos y costumbres, además que se trata de indagar sobre las condiciones socioeconómicas de vida de los pobladores y productores y como eso influye en el manejo agroambiental de los cultivos piscícolas.

El acercamiento no solo con las comunidades sino con la dinámica de las empresas productoras de trucha que fueron evaluadas permite dar inicio a una serie de factores de inclusión a la acuicultura ecológica, donde se visibiliza las afectaciones ambientales que se causan al Lago al no llevar unas buenas prácticas de producción acuícola, los desplazamientos de especies bioindicadoras del estado ecológico y de calidad del agua, la sensibilización para evitar la pérdida de la biocultura y el acercamiento de las comunidades con el ecosistema, con la espiritualidad y ancestralidad con la “Pacha Cocha” como llaman coloquialmente los moradores del Lago Guamuez.

#### **Entrevista No. 1.**

**Se identifica como:** Pequeño acuicultor perteneciente a la ADC

**Pregunta 1: ¿Usted ha escuchado sobre agroecología?**

**Respuesta/** “Si señor acá se está utilizando harto esa palabra para mejorar los cultivos y que no utilicemos químicos para las plantas porque eso es malo para la tierra, acá han venido varias personas de universidades y otras entidades a darnos charlas y a enseñarnos a cultivar con abonos orgánicos, hacer composteras y cómo hacer huertas caseras”.

**Pregunta 2: ¿Usted sabe cómo aplicar la agroecología a los cultivos de trucha?**

**Respuesta/** “No ingeniero ahí si me la dejo difícil, es que en la agricultura es más fácil hacer la agroecología, como la trucha come es concentrado del que uno compra en pasto a esa no se le puede dar otra cosa sino no crece y según nos dijeron de Corponariño el concentrado es el que contamina el agua y como cae al fondo también se hacen montañas de barro, concentrado y lo que orinan las truchas. Yo pues para no contaminar tanto ni gastar tanto en alimento porque eso es lo que más se gasta para cultivar la trucha solo les doy dos veces al día y cuando limpio las mallas y las jaulas las saco a la orilla y las lavo, como yo tengo poquitas hago eso”.

**Pregunta 3: Para usted el realizar acuicultura es bueno o malo para el ambiente y la naturaleza?**

**Respuesta/** “si señor es muy bueno porque antes hace unos 15 años casi todos los de aquí nos dedicábamos a sacar carbón y nos tocaba ir a cortar el monte para luego quemar los palos y ya se sacaba el carbón, sino como eso no es legal era difícil porque la policía a veces nos quitaba las cargas y perdíamos todo el trabajito, entonces cuando salieron unos programas de peces que creo eran del Incoder y nos dieron semilla, un concentrado y capacitación y nosotros creábamos la jaula y así empezamos, desde eso pues yo y muchos vecinos no fuimos más a dañar el monte allá arriba en los páramos, por eso cuidamos más la naturaleza”

**Pregunta 4: ¿Usted que entiende por progreso y desarrollo según la actividad acuícola?**

**Respuesta/** “pues doctor yo tengo un cultivo pequeño que medio da para comer en la casa y vender alquilo a doña Rosalba la de los restaurantes, pero si por mi fuera quisiera criar

más trucha, así como las empresas grandes que hay acá porque ellos si ganan harta plata en cambio nosotros los pequeños productores sale no más como para sobrevivir. Entonces yo sí creo que progresar es agrandar la empresa y vender harta trucha para tener más plata, lo malo que acá a uno si lo molestan y no lo dejan trabajar, pero a las grandes empresas esos como son amigos de los del gobierno todos les permiten por eso se han desarrollado tanto”.

## **Entrevista No. 2.**

**Se identifica como:** Acuicultora perteneciente a la junta del Cabildo indígena Refugio del Sol.

### **Pregunta 1: ¿Usted ha escuchado sobre agroecología?**

**Respuesta/** “sí señor, nosotros como cabildo indígena somos los que estamos promoviendo la agroecología acá en el territorio para cuidar la Pachamama. Hemos trabajado con la Universidad de Nariño, estuvieron unos tesisistas de la Universidad Nacional de Bogotá y con otros proyectos con las naciones unidas para cultivos sostenibles. También desde el cabildo de vez en cuando nos reunimos con la comunidad y hacemos mingas para enseñar a que cultiven sin químicos hacemos limpieza de malezas y como en el cabildo hay personas que son profesionales, hay agrónomos y técnicos del SENA entonces se capacita a la gente en la producción limpia. Eso también lo hacíamos con el ingeniero Oswaldo Criollo de CORPONARIÑO, pero como el ya no trabaja más allá no volvieron a venir”.

### **Pregunta 2: ¿Usted sabe cómo aplicar la agroecología a los cultivos de trucha?**

**Respuesta/** “La verdad no ingeniero, pues nosotros les recomendamos que traten de hacer bien los procesos y no contaminen tanto el lago pero la gente no hace caso y menos los que producen harto, ellos desde que hagan plata allá verán, por eso se han tenido varios problemas con ellos porque quien hacer lo que les da la gana acá viendo que ellos no son del territorio, unos son de Bogotá, otros de Cali, Pasto y otros lados; a ellos deberían capacitarlos en lo que usted dice de la acuicultura agroecológica que son los que más contaminan. Pues los que producen poquito pues no es que contaminen tanto, además la mayoría si son de acá de la tierrita.”

**Pregunta 3: Para usted el realizar acuicultura es bueno o malo para el ambiente y la naturaleza?**

**Respuesta/** “si señor es buena porque si somos sinceros es mejor cultivar los peces que criar las vacas o los cerdos, eso sí contamina harto, entonces viéndolo desde ese punto es más buena que mala. Sino que, como todo ingeniero, las truchas también afectan el lago no ve que esas comen harto y eso la gente les hecha concentrado a lo loco para que les crezcan rápido y no contralan la comida por eso todo eso cae al agua y a veces cuando hace harto sol desde arriba de la montaña donde vivo yo en Santa Teresita se sabe ver como manchas cafés por las jaulas y eso es mugre y residuos de todo lo que les echan a las truchas. Por eso hace unos cinco o seis años con el Gobernador y la junta del Cabildo fuimos a CORPONARIÑO y hablamos con el ingeniero Fernando Burbano que era el subdirector ambiental y ellos hicieron un estudio del lago por eso ya no se aumentaron los cultivos de trucha sino esto estuviera lleno y quien sabe cómo estaría el lago”.

**Pregunta 4: ¿Usted que entiende por progreso y desarrollo según la actividad acuícola?**

**Respuesta/** “bueno eso si nosotros como cabildo si velamos más por la naturaleza, es que todo el mundo piensa que progresar es hacer plata viendo que lo único que están haciendo es acabando con la naturaleza y los recursos de la Pachamama. Acá viera ingeniero cuantos problemas que hemos tenido con la gente porque eso estaban tumbando el páramo para cultivar papa, cebolla y meter ganado sin importarles nada viendo que el páramo es lo que nos da el agüita y usted sabe que sin agua no se puede vivir, pero a veces a la gente no le importa eso, ellos con tal de que cultiven y vendan y tengan plata eso es el progreso y desarrollo para ellos, pero el día que no tengamos bosques ni agua van a caer en cuenta que la plata no sirve de nada. Por eso para mí el progresar es trabajar, pero sin hacerle daño al ambiente sino antes, al contrario, en echar para abajo como en las ciudades que son llenas de contaminación y enfermedades”.

**Entrevista No. 3.**

**Se identifica como:** Agricultor y acuicultor campesino



**Pregunta 1: ¿Usted ha escuchado sobre agroecología?**

**Respuesta/** “Pues más o menos, algo no más, el otro día estábamos hablando con el compadre Artemio y unos ingenieros que fueron a tomar agua panela al negocio de la mujer y hablaban de ecología y abonos orgánicos pero la verdad no sé muy bien de que se trata. Pues como le digo ingeniero hay sí más bien poco de esas cosas, pues nosotros en la casa y el terrenito tratamos de reciclar lo orgánico y lo otro separamos los vidrios y plásticos y los llevamos al pueblo y allá hay un señor que sabe comprar eso, del resto yo tengo una chagrita de papa con cebolla, pero a eso si le aplico triple 15 porque si no eso no crece bien y más lo que pierde uno y como eso y las truchitas es lo que nos da de comer”.

**Pregunta 2: ¿Usted sabe cómo aplicar la agroecología a los cultivos de trucha?**

**Respuesta/** “Ingeniero Andrés pues la verdad yo crío las truchas como lo hacen todos acá, les doy su concentrado y sus remedios cuando se enferman y les salen hongos en las aletas y en la parte de arriba del cuerpo, pero la verdad solo eso, ahí si le mentiría donde le diga de lo que me está preguntando. Eso cuando vienen del ICA o de la Alcaldía hacer controles eso nadie dice la verdad y a veces dicen que cosechan una tonelada de trucha al mes y mentiras eso sacan cinco y seis toneladas y como es difícil verificar, entonces yo le soy sincero y no sé cómo sería eso de la agroecología para las truchas”

**Pregunta 3: Para usted el realizar acuicultura es bueno o malo para el ambiente y la naturaleza?**

**Respuesta/** “Pues la verdad yo no creo que es malo no ve que uno utiliza varias cosas en las jaulas y eso de una u otra forma a de contaminar, pues la idea es que en el lago no se cultive nada y se deje así natural, ahí creo que no se afectara, no ve que antes habían hartos pescados diferentes, unos como bagres y otros que era como de colores y hace unos años ya casi no se ven y eso es porque cuando el agua de la Cocha sube mucho o cuando se rompen las mallas de las jaulas, las truchas se saben salir de las jaulas y se van al lago y esas se han comido a los pescaditos que si eran de acá, por eso no creo que sea buena con la naturaleza, pero si no se hace eso de que come uno”.

**Pregunta 4: ¿Usted que entiende por progreso y desarrollo según la actividad acuícola?**

**Respuesta/** “Pues doctor uno entre más trucha cultive más plata recibe uno, es como todo si usted vende papa, entre más papa venda más plata uno va a recibir y así uno progresa. Yo soy consciente de que entre más se cultive más se contamina, pero si le soy sincero la única forma de progresar y tener plata acá en campo es cultivando harto y como uno tiene que enviar a los hijos al colegio y luego a la universidad para que estudien toca tratar de sacar lo más que se pueda. Sino que acá la realizada es otra, la mayoría tenemos poquita tierra o algún pedacito a la orilla de la laguna para las truchas entonces es difícil decir que uno pueda cultivar harto y progresar y desarrollarse entonces nos toca vivir de lo poco que salga y hacer alcanzar para todo”.

Como podemos analizar en algunas de las entrevistas conversacionales realizadas, la comunidad expresa sus conocimientos sobre agroecología dependiendo de su posición social y productiva, como se pudo observar, el concepto de agroecología inmerso en la acuicultura aún no es muy conocido ni aplicado, sin embargo las personas son conscientes de que se debe procurar producir de tal forma que cuidemos la naturaleza, donde el ser humano sea el principal eje de funcionamiento del agroecosistema, donde el concepto de desarrollo occidental capitalista no sea la base de las producciones y donde se tomen determinaciones que pretendan por la generación y desarrollo de competencias, habilidades, capacidades y destrezas que a través de la planificación del territorio permitan implementar un modelo de producción acuícola ambientalmente sostenible, económicamente viable y socialmente incluyente.

Como hemos visto en apartes anteriores de este estudio, se trata de incursionar los conceptos agroecológicos en el ámbito de la acuicultura, mediante el análisis de variables ambientales, ecológicas y socio-económicas, donde no solo se pretende identificar los impactos ambientales y cambios en el ecosistema a causa del efecto de los procesos acuícolas en el agrosistema (González, 2017), sino, tener como factor propio de derecho al productor como ser humano influyente y principal en el desarrollo de la actividad cuyo fin además de preservar la naturaleza, debe explorarla y explotarla de forma sustentable para generar ingresos y obtener alimento. (Barroso y Manzanares, 2012).

## **6.2. OBJETIVO ESPECÍFICO 2. Componente socio-ambiental en torno a la acuicultura desarrollada en el agroecosistema y las relaciones eco-sociales con los productores de la zona.**

A continuación, se presentan las preguntas de la encuesta desarrollada en el diagnóstico rural participativo, donde se despliegan una serie de aspectos relacionados a la legalidad de las piscifactorías, aspectos técnicos propios de los procesos acuícolas, medidas y controles de calidad de agua y aspectos relacionados con la situación socioeconómica del productor y las expectativas de expansión y desarrollo (Anexo AA).

### **6.2.1. Aspectos legales de la actividad piscícola**

Pese a los avances del encadenamiento productivo, los aspectos legales de la producción piscícola deben abordarse de manera más contundente por los organismos llamados a apoyar el desarrollo del sector, pues ello puede generar mayores facilidades de asociación y capacidad de gestión ante entes gubernamentales (Merino, 2018). A continuación, se presenta la encuesta realizada con respecto a los aspectos legales de la actividad piscícola en el Lago Guamuez.

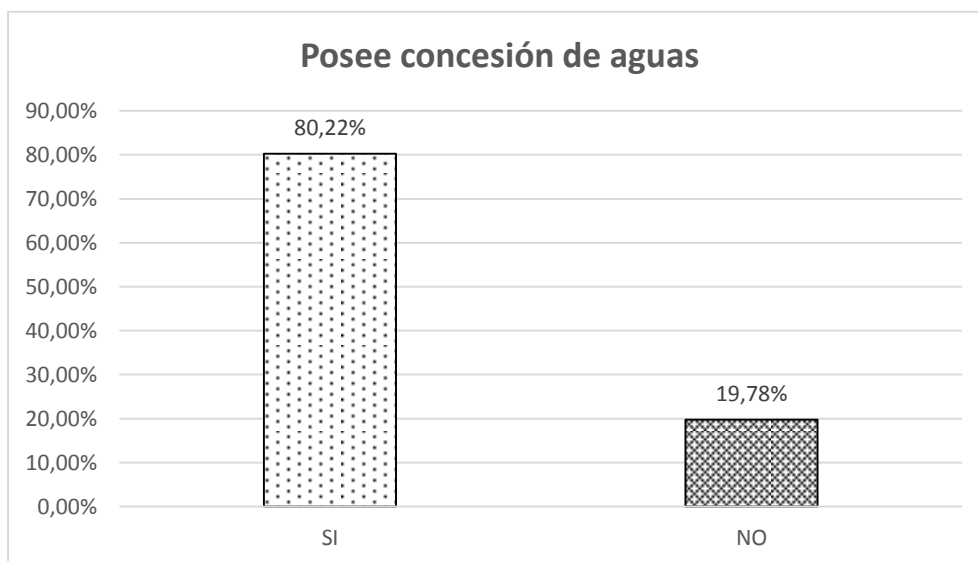
#### **6.2.1.1. Concesión de aguas.**

Es el permiso que otorga la Autoridad Ambiental para obtener el derecho al aprovechamiento de las aguas superficiales (ANLA, 2019). Como puede observarse en la figura 30, el 80,22% posee una concesión de aguas otorgada por la autoridad ambiental competente, lo que es un punto favorable tanto para la producción como para el ambiente, sin embargo, se debe prestar interés al 19,78% del resto de los productores los cuales no cuentan con dicho permiso, puesto que lo ideal es que cada productor utilice las fuentes de agua de forma legal.

Si bien es cierto el contar con una concesión no garantiza el buen uso del recurso, por lo menos sirve como apalancamiento y control sobre los cauces de agua que son utilizados como fuente de producción y abastecimiento en el sector agropecuario. Se deben realizar campañas de seguimiento y legalización de los productores acuícolas ejecutando políticas, planes, programas y proyectos ambientales, a través de la construcción de tejido social, para contribuir al desarrollo sostenible y armónico de la región, con el fin de que puedan

legalizar sus producciones con base a las variables técnicas, económicas y ambientales propias del territorio (CAR, 2019).

**Figura 30.** Concesiones de agua otorgadas para acuicultura en el lago Guamuez



#### **6.2.1.2. Aplicación Manuales de buenas prácticas de producción acuícola.**

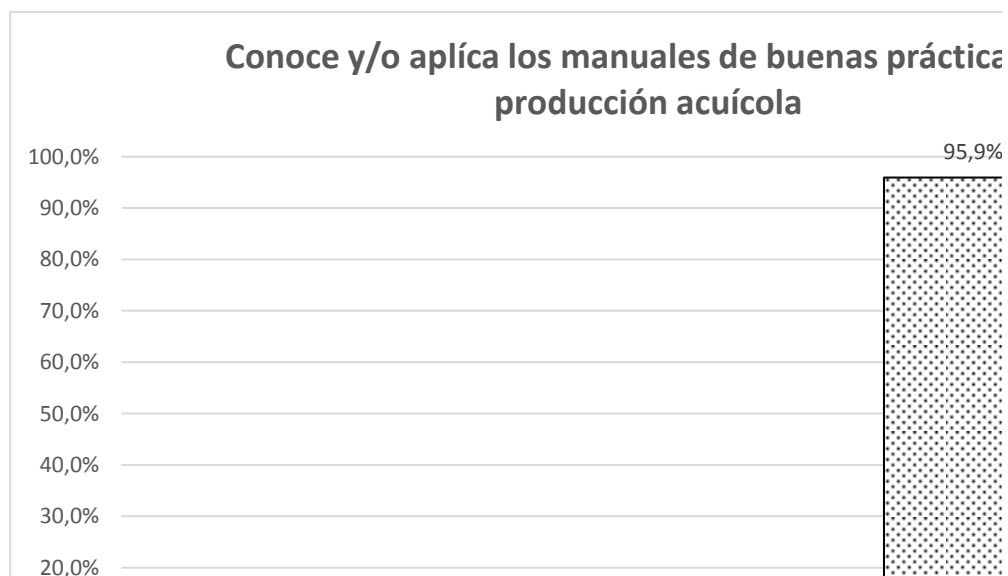
El 95,9% de los productores no aplican manuales referentes a las Buenas prácticas de producción acuícola (BPPA) y solo el 4,1 % aplican esta clase de guías y normas en sus empresas (Figura 31).

Actualmente, la demanda de alimentos exige productos sanos y de calidad que consideren el cuidado del ambiente y los ecosistemas, al igual que el bienestar de los trabajadores. La implementación de Buenas Prácticas de Producción, asegura el cumplimiento de las normas sanitarias y de calidad de mercados que cada día son más exigentes y a la vez aportan al cuidado y sostenibilidad del ambiente donde se realizan actividades productivas (Ministerio de la producción; Sierra Exportadora y AECID, 2011).

La agroecología en la acuicultura no es un término muy conocido en el sector, sin embargo, podemos enfocar las producciones sostenibles agroecológicas como mínimo mediante la utilización de BPPA, ya que garantiza no solo la seguridad de los trabajadores y el medio

ambiente, sino que también permite la competitividad y sostenibilidad de los pequeños productores asentados en el Lago Guamuez (IPAC, 2018).

**Figura 31.** Aplicaciones de manuales de buenas prácticas en producción acuícola



### 6.2.2. Aspectos técnicos relacionados a las unidades de cultivo

El manejo técnico en la producción acuícola es fundamental para la sostenibilidad de las empresas, puesto que permite llevar un control y manejo de las diferentes variables productivas, lo que permite realizar producciones rentables y eficientes en cuestión ambiental. Como en toda producción de carácter agrícola o pecuario, el manejo de registros productivos y una eficaz implementación técnica garantiza que las producciones sean económicamente viables, ambientalmente sostenibles y socialmente influyentes en la zona donde se ubican (Hernández y Aquino 2008). A continuación, se presentan algunos aspectos relacionados al manejo técnico de las producciones por parte de los productores encuestados.

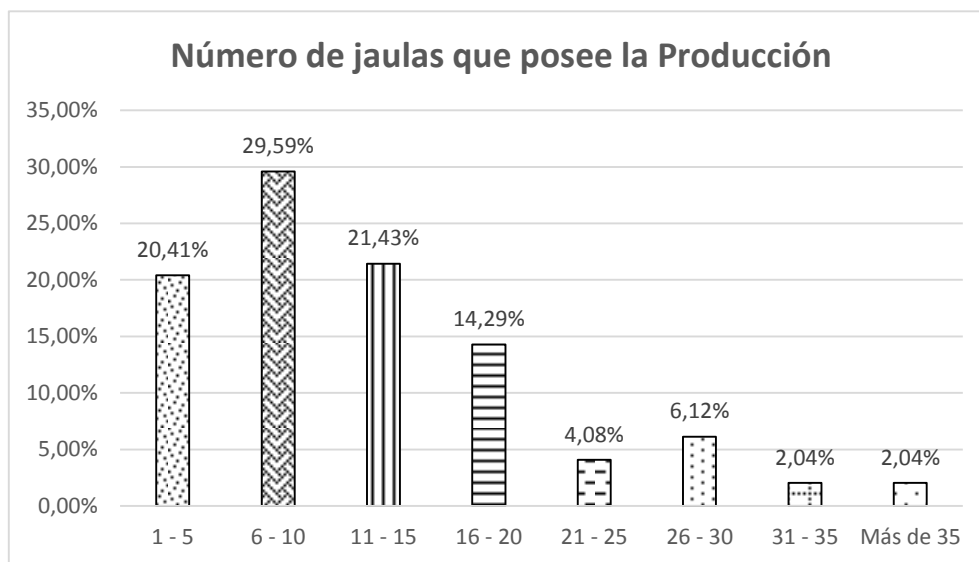
### **6.2.2.1. Número de Jaulas que posee la producción**

De los 98 productores encuestados, el 29,59% cuenta entre 6 y 10 jaulas flotantes para la producción de trucha arcoíris, lo que se puede denominar como una estación piscícola pequeña puesto que las producciones no sobrepasan las 8 toneladas mensuales, seguido de un 21,43%, 20,41% y 14,29% con un número de jaulas existentes entre 11-15, 1-5 y 16-20 respectivamente, lo que significa que la mayoría de encuestados son pequeños productores. Solo se tiene que el 12,24% poseen un número de jaulas entre 21 y 35 donde las producciones pueden alcanzar las 30 toneladas mensuales y finalmente solo el 2,04% cuenta con estaciones piscícolas con más de 35 unidades de cultivo, lo que representa a las dos empresas más grandes establecidas en el Lago (Figura 32).

La cantidad de unidades de cultivo es directamente proporcional a la cantidad de pescado que se produce en la empresa, entre mayor número de jaulas mayor es la cantidad de trucha producida, sin embargo, también es proporcional al grado de contaminación que se genera en el ecosistema receptor de los procesos acuícolas, puesto que producciones mayores a 10 toneladas mensuales generan impactos ambientales considerables a la ecología de los ecosistemas acuáticos. Un manejo apropiado requerirá del productor potencial la comprensión y el control de los riesgos asociados a su producción, involucrando en ello la flexibilidad en el uso de los recursos y la identificación de toda su infraestructura requerida para que la empresa funcione de manera correcta (Grant, 2001).

Mediante una visión capitalista, entre mayor número de unidades productivas tenga una empresa, mayor es la rentabilidad y las ganancias obtenidas por la misma, al igual que aumenta la generación de empleo, no obstante el productor no presta interés en cómo se produce y como mitigar los riesgos de contaminación, puesto que por lo general, las empresas tienden a crecer pero no se cambian los protocolos de producción y bioseguridad de la misma, ya que a medida de que una producción crece, lo ideal es que también deben mejorar factores de infraestructura y manejo de residuos sólidos y líquidos, situación que no es muy favorable en las producciones de la región (Sánchez y Salazar, 2007).

**Figura 32.** Número de jaulas flotantes que posee la producción



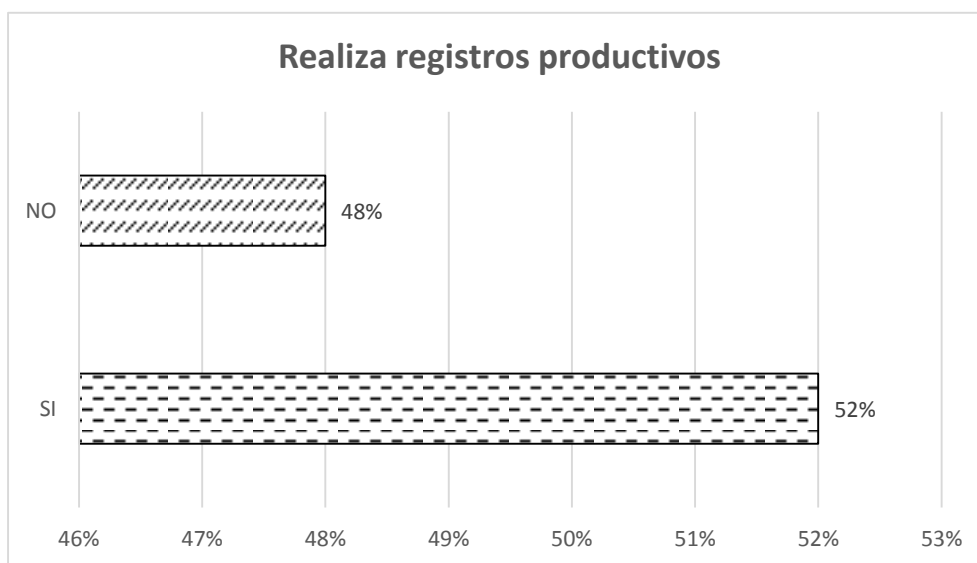
#### **6.2.2.2. Manejo y registros productivos**

Del total de encuestados el 52% manifestó llevar algún tipo de registro productivo, sin embargo la cifra es preocupante ya que casi la mitad de productores (42%), manifiesta no llevar ningún control de las variables productivas de sus estaciones piscícolas (Figura 33). La mayoría de personas expresaron que dichos registros son llevados de forma empírica como nota de cuaderno sin manejo técnico ni respaldo digital.

El manejo de registros productivos es fundamental para la sostenibilidad de una empresa acuícola, sin importar el tamaño de la producción; ya que esto permite llevar un control de diferentes variables de producción, como el seguimiento de la mortalidad, sobrevivencia, tablas de alimentación, talla, peso, biomasa, entre otras que son indispensables para el adecuado funcionamiento de la empresa acuícola (García et al., 2008).

Según Wagner (2009) y Lazard et al (2010), el mayor aporte a la acuicultura mundial lo realizan pequeñas y medianas empresas, como las analizadas en este estudio, por lo cual es de vital importancia tanto para el alcance económico como para el desarrollo sostenible de la actividad llevar registros productivos que permitan controlar las variables básicas de una producción, diversificando el agrosistema acuícola en tres factores fundamentales que son el económico, técnico y ambiental.

**Figura 33.** Manejo de registro productivos



### **6.2.2.3. Uso de medicamentos o sustancias químicas para los procesos de cultivo.**

El 94,9% de los encuestados expresó utilizar frecuentemente medicamentos y/o sustancias químicas para el tratamiento de enfermedades de los peces y procesos de desinfección de las instalaciones (Figura 34). Algunos de los insumos utilizados en los cultivos acuícolas son la sal marina, ajo, nuflor, azul de metileno, permanganato de potasio, oxitetraciclina, formol, ciflox, cloramina, florfenicol, verde de malaquita, yodo y sal yodada.

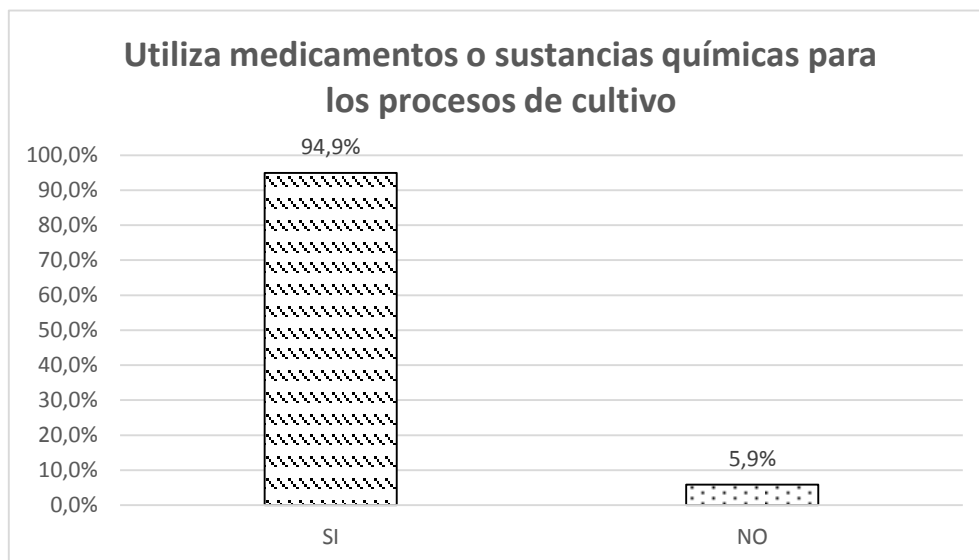
Si bien es cierto este tipo de sustancias y antibióticos aportan al manejo y control de ciertas enfermedades en los peces como hongos y bacterias que son frecuentes en las escamas, aletas y agallas, sus efectos al ambiente son totalmente negativos, puesto que alteran los parámetros fisicoquímicos ideales tanto para los peces como para la estabilidad ambiental del cuerpo de agua receptor; por lo cual según el manual de buenas prácticas acuícolas del Instituto Colombiano Agropecuario, se recomienda utilizar solo sal marina para el tratamiento y prevención de enfermedades en los cultivos acuícolas (Resolución ICA No. 020186 de 2016).

Sin embargo, según las normas internacionales la segunda especie a la que se destinan más medicamentos es a la trucha arcoíris, casi con un 20%. La Unión Europea tiene autorizados un total de 304 medicamentos veterinarios para peces, donde más de la mitad corresponden a vacunas (51%). En este sentido, los antibióticos ocupan el segundo



puesto, representando el 29% de los medicamentos veterinarios totales autorizados para la acuicultura. Por su parte, el 20% restante de los medicamentos veterinarios se dividen en hormonas (2%), antimicrobianos (3%), antiparasitarios (2%), sedantes y anestésicos (5%) y un 8% restante en el que se engloban antisépticos, insecticidas y productos homeopáticos (Jiménez, 2019: AQUA, 2019).

**Figura 34.** Uso de medicamentos o sustancias químicas para los procesos de cultivo.



#### 6.2.2.4. Sistema de cultivo utilizado

Según la encuesta realizada en el DTP, el 60,31% de los encuestados presenta cultivos semiintensivos, seguido de un 29,49% con cultivos extensivos y finalmente un 10,20% con cultivos intensivos o de mayor tamaño, los cuales son representados por las cuatro empresas mas grandes asentadas en el lago (Figura 35).

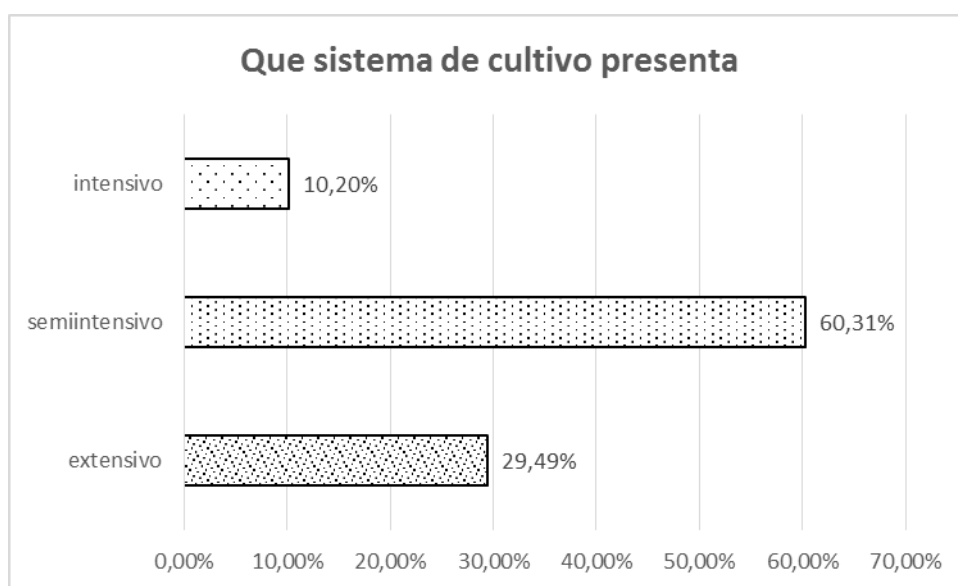
Dentro de un agrosistema acuícola existen tres sistemas de cultivo según su intensidad de producción y una clasificación ampliamente utilizada es la que toma en cuenta la cantidad de biomasa producida (cantidad de peces que es capaz de soportar el sistema). De esta forma, se pueden clasificar en: sistemas extensivos, semi-intensivos e intensivos (Martinez, 2018).

Desde el punto de vista socio-economico los cultivos intensivos generan mayores rentabilidades, puesto que el cultivo genera la mayor cantidad de peces por metro cúbico, al igual que utiliza mejores tecnologías para el adecuado funcionamiento de la granja

piscícola, lo que genera mayores oportunidades de empleo. Por el contrario, en términos ambientales, el panorama no es tan favorable, puesto que a mayor producción mayor es el nivel de impacto ambiental en el ecosistema (Solís, 2013; González, 2018).

La importancia de los cultivos acuícolas pequeños o de menor producción (extensivos), es fundamental en el desarrollo de la actividad, puesto que presentan una importante contribución no solo a una buena nutrición y seguridad alimentaria, sino, a la reducción de la pobreza extrema de los campesinos de los países emergentes. No obstante la falta de tecnologías, apoyo gubernamental y extensión agropecuaria en el sector, no permiten que estas pequeñas producciones sean sostenibles y lleven un control tecnológico que permita el apalancamiento y posicionamiento sostenible y sustentable de sus actividades de producción (Bené et al., 2016).

**Figura 35.** Sistema de cultivo utilizado (Intensivo, semi-intensivo, extensivo)



### 6.2.3. Aspectos relacionados a la calidad del agua

Como lo expone Castro et al (2018), el recurso principal para la práctica y desarrollo de la acuicultura es el agua, cuyas características físicas y químicas son esenciales para el cultivo de las especies. El uso del agua y su importancia en la producción de bienes y servicios ha llevado a una gran preocupación por el cuidado y mantenimiento tanto de la cantidad como de la calidad de este recurso (Liu y Yang, 2016). La trucha arcoíris es una especie dócil y manejable en cultivo, sin embargo, es una de las especies de salmónidos más exigentes en calidad de agua cuyas condiciones favorables de cultivo exigen aguas

limpias y bien oxigenadas (García et al., 2013). Como se pudo corroborar en los análisis ambientales de este estudio, existe un grado de contaminación a causa de las producciones lo que concuerda con los resultados presentados a continuación sobre el bajo control de parámetros fisicoquímicos del agua y los sedimentos que se encuentran bajo la influencia de los cultivos.

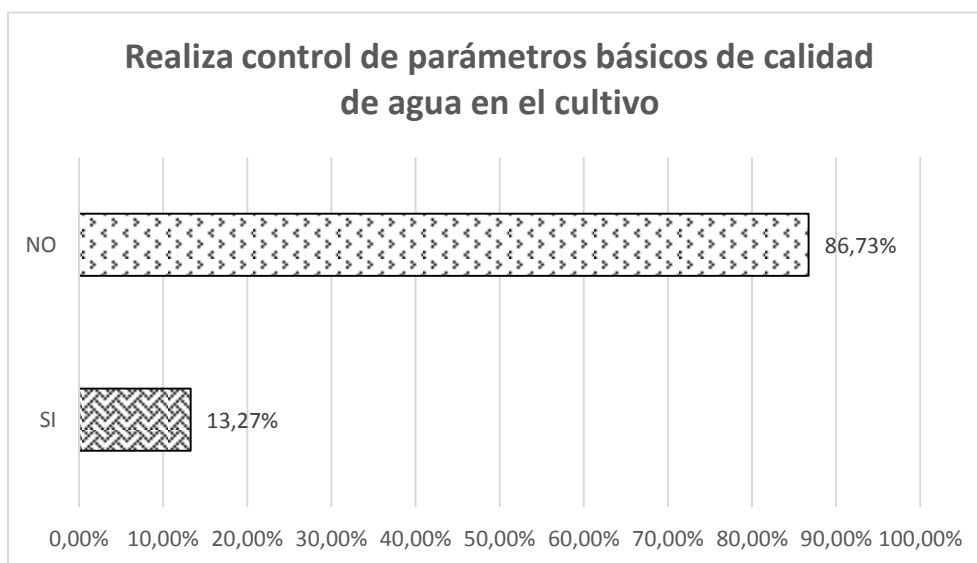
#### **6.2.3.1. Control de parámetros básicos de calidad de agua en el cultivo.**

Como puede observarse en la figura 36, el 86,73% de los encuestados no realiza ningún control o medición de parámetros fisicoquímicos de calidad de agua, mientras que solo el 13,27% realiza algún tipo de medición. Dentro de los parámetros básicos que se deben medir en un cultivo acuícola se encuentran el oxígeno, la temperatura y el pH, puesto que son las variables más sencillas de medir y cuyos datos demuestran las condiciones más favorables que debe tener un cuerpo de agua utilizado para producción acuícola.

La trucha arcoíris es una especie exigente en la calidad del agua por lo que es fundamental para la producción llevar registros diarios de la medición de parámetros fisicoquímicos; por lo menos los más básicos y sencillos de medir. Esto no solo garantiza la salud de los peces, sino del cuerpo de agua receptor de los procesos de cultivo (De Freitas, 2015).

Según Gutiérrez (2014), La calidad del agua en acuicultura es un punto crítico en el proceso de producción y debe ser controlada en los parámetros físicos, químicos y biológicos. Estos deben ser mantenidos dentro de los rangos aceptables para el buen desarrollo de los organismos; de igual forma Burbano (2018) sostiene que la población en cultivo podría tener bajo crecimiento, proliferación de patógenos con brotes de enfermedad, eventuales mortalidades y baja calidad del producto final y sumado a eso el debilitamiento del ecosistema, por lo que se debe prestar mayor importancia en el control y medición de parámetros de calidad de agua que las granjas piscícolas realizan en sus producciones puesto que al no hacerlo se pone en riesgo no solo la producción sino la estabilidad ecológica del Lago.

**Figura 36.** Control de parámetros básicos de calidad de agua en el cultivo



#### **6.2.3.2. Control de parámetros especializados o de sedimentos en el cultivo.**

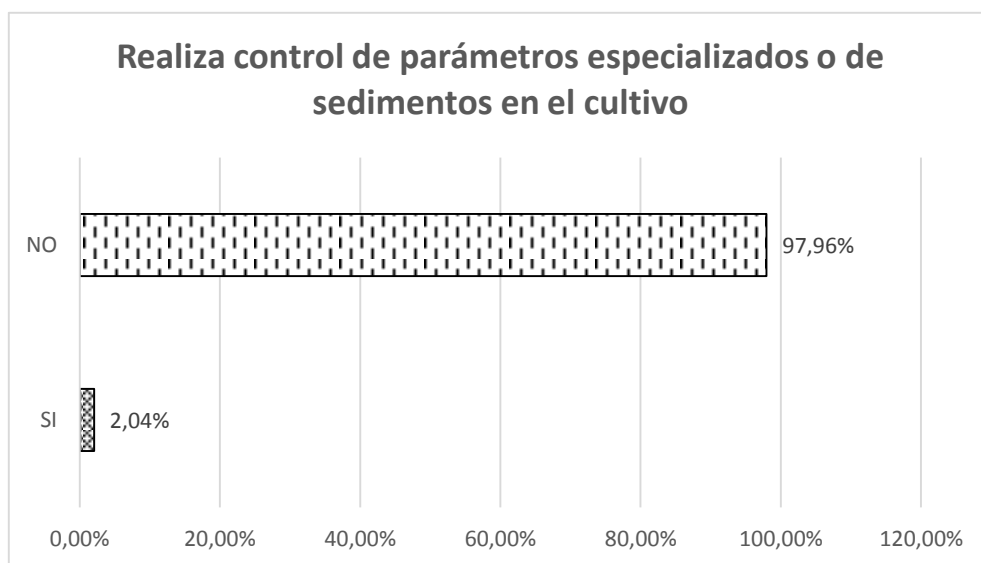
La situación con respecto al análisis de parámetros de calidad de los sedimentos se torna aún más preocupante, puesto que solo el 2,04% de los encuestados manifestó realizar análisis de la calidad de los sedimentos, datos que corresponden a las cuatro empresas mas grandes del sector; mientras que el 97,96% reportó no realizar ningun tipo de analisis de parametros fisicoquímicos y de calidad de los sedimentos asentados bajo las jaulas de cultivo (Figura 37).

Los sedimentos en la acuicultura realizada en jaulas flotantes juegan un papel importante en la recepción de los productos resultantes de los procesos acuícolas, tanto de residuos sólidos y líquidos provenientes del alimento comercial suministrado, el uso de insumos y medicamentos, como de las heces y excreciones de los mismos peces cultivados. En el sedimento orgánico se realizan intercambios de compuestos entre las fases agua-sedimento, sirviendo también como fuente de nutrientes para el fitoplancton y de varias sustancias potencialmente tóxicas para las especies cultivadas (Kumar et al., 2011).

Se debe tener en cuenta que el agrosistema actua como un solo cuerpo vital, donde en la interfase agua-sedimento ocurren difrentes procesos físicos, químicos y biológicos que resultan de los procesos naturales del cuerpo lacustre como de los procesos llevados a

cabo en las jaulas de cultivo y que facultan al ecosistema a presentar cierta resiliencia a los contaminantes, sin embargo al no llevar ningun tipo de control ni analisis de sedimentos se corre el riesgo de que el lago presente problemas de eutrofización y creación de zonas muertas para la acomulación de gases y nutrientes y descomposición de materia orgánica, lo que no resulta ser beneficiosos para el ecosistema acuático (Lefebvre, et al., 2001; Holmer et al., 2003; Bravo y Grant, 2018).

**Figura 37.** Control de parámetros especializados o de sedimentos en el cultivo



#### **6.2.4. Aspectos socioeconómicos**

Al querer analizar la situación de la acuicultura en el Lago Guamuez mediante un enfoque agroecológico, no se puede dejar atrás los aspectos demográficos de las población involucrada (campesinos e indigenas productores de trucha arcoiris) puesto que la agroecología es una disciplina que provee los principios ecológicos básicos para estudiar, diseñar y manejar agroecosistemas que sean productivos y conservadores del recurso natural, y que también sean culturalmente sensibles, socialmente justos y económicamente viables (Altieri, 1999), donde la escala de análisis trasciende a la unidad de producción o agroecosistema para incluir al conjunto del sistema alimentario (Francis et al., 2001). Por lo cual se hizo necesario indagar algunos de los aspectos sociales y económicos que permitan entender el contexto del territorio en cuestión de variables sociales.

**6.2.4.1. Grado de escolaridad de los productores.** Con respecto al grado de escolaridad o nivel de estudios, los productores encuestados reportaron que el 41,84% ha cursado hasta quinto grado de primaria, mientras que el 30,61% no cuenta con ningún grado de escolaridad. El 10,20% afirma haber realizado la secundaria o bahillerato y el 13,27% cuenta con una carrera universitaria; finalmente solo el 4,08% expresa haber realizado algún tipo de posgrado en las modalidades de especialización y maestría (Figura 38). Según datos del DANE (2005), la tasa de analfabetismo en la ciudad de Pasto es de 19,9%, frente a un 15,15% de nivel nacional. De las personas que son analfabetas, 49,6% son hombres y 50,4% son mujeres.

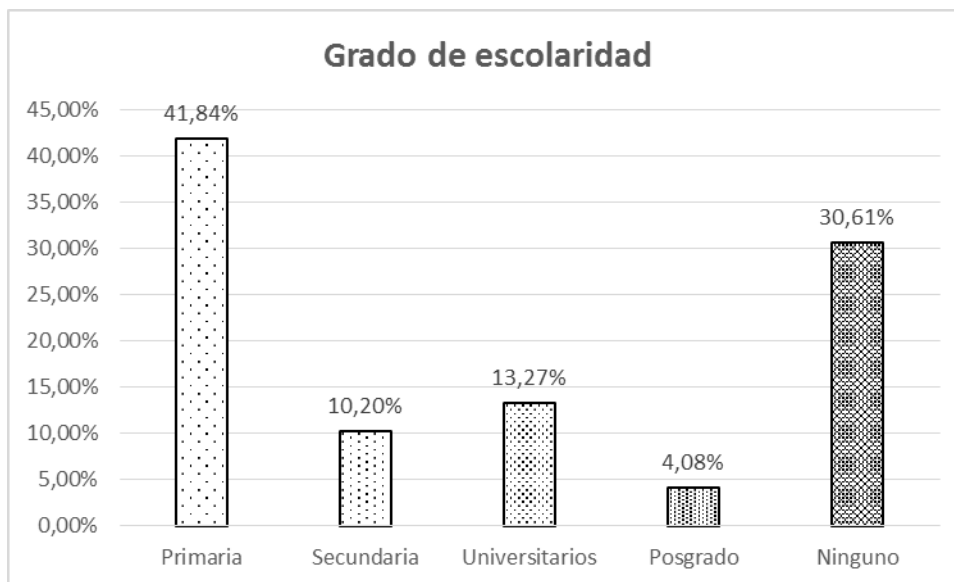
Como lo expresan los resultados, en el corregimiento del Encano existe un bajo nivel de escolaridad, factor que se ve reflejado en el deficiente manejo técnico y ambiental de las producciones. Como lo expresa Sotelo (2016), esta situación se refleja por la pobreza natural de la zona, puesto que el 90% del sector rural del corregimiento del Encano no alcanzan a satisfacer las necesidades básicas, situación que hace necesario que se reformule la visión hegemónica de la importancia de la educación como fin para solucionar los graves problemas de inequidad y desigualdad.

El 85% de la población rural del corregimiento del Encano pertenece a la comunidad indígena de los Quillacinga, Resguardo Refugio del sol, quienes hace años atrás no contaban con escuelas en el sector rural por lo que debían trasladarse hasta la cabecera del Corregimiento, lo que dificultaba el acceso a la educación (Luna y Madroñero, 2016). Actualmente, existen escuelas que prestan los servicios de básica primaria en las veredas Santa Lucía, Santa Isabel, Ramos, Naranjal, Santa Teresita, Santa Rosa, Santa Clara, El estero y Mojondinoy, lo que permite que los niños reciban sus primeros años de escolaridad para que después puedan ingresar al colegio sede El Encano, existente en la cabecera del corregimiento (Alcaldía de Pasto, 2020).

La educación es un derecho fundamental para todas las personas, en especial para estas comunidades vulnerables cuyas condiciones socioeconómicas no les permiten acceder a educación de calidad, por lo cual, la insostenibilidad de las empresas, la contaminación al ecosistema por causa del manejo inadecuado de las variables productivas y la disposición de residuos sólidos y líquidos y la visión progresista bajo un sistema capitalista errado para estas zonas geográficas radican en la falta de educación y oportunidades extensionistas

que permitan un verdadero manejo de la acuicultura y el progreso sostenible de la región (Pérez y Pérez, 2002; Pepinosa, 2012).

**Figura 38.** Grado de escolaridad de los productores



#### **6.2.4.2. Comercialización de los productos provenientes de la acuicultura**

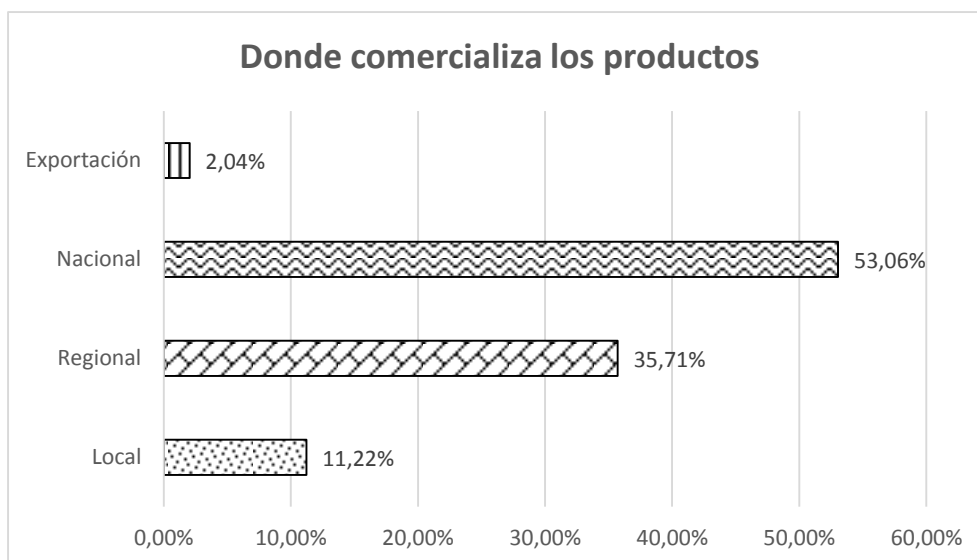
El 53,06% de los encuestados manifestó vender el producto a intermediarios para ser comercializado a nivel nacional donde empresas agroindustriales y plantas procesadoras manejan diferentes presentaciones como trucha empacada al vacío, trucha ahumada y en menor proporción trucha fresca eviscerada y deshuesada, mientras que el 35,71% expreso que la producción obtenida la comercializan en el departamento de Nariño donde su presentación principalmente se enfoca en trucha fresca eviscerada. El 11,22% de los productores vende el producto a nivel local, cuya distribución se realiza a restaurantes y tiendas de venta al por menor ubicadas en el puerto turístico de El Encano y finalmente solo el 2,04 % realiza producciones a nivel de exportación para lugares como Estados Unidos y Europa (Figura 39).

Andrade (2011) expone que uno de los mayores desafíos que enfrenta la acuicultura a nivel nacional y donde la zona de influencia de este estudio no es ajena, es la presencia de intermediarios quienes se encargan de comprar la trucha a los pequeños productores a bajos precios, quienes a su vez la comercializan a nivel regional y nacional añadiendo valor agregado lo que incrementa notablemente el valor del producto. Según Adema et al (2015),

este escenario es muy común en el sector acuícola, puesto que se carece de apoyo gubernamental, asociatividad e implementación de tecnologías que permitan a los productores crear gremios y empresas agroindustriales para transformación del producto y utilización de subproductos, ya que la contribución de la acuicultura a la subsistencia de las comunidades rurales pobres no cuenta con el suficiente apoyo gubernamental y se basa en recursos frágiles de producción.

El fin comercial de un productor agropecuario no solo conlleva la venta y comercialización del producto, sino debe adaptarse a los medios biológicos para la sostenibilidad de la producción, al igual que se debe incorporar los principios sociales y económicos en todo el diseño y proceso de producción agroecológica en forma integrada (OCDE, 2012). Al hablar de acuicultura agroecológica se debe abordar el ajuste de los procesos de cultivo, el empleo local donde se incluya los de los sectores de transformación y comercialización, los efectos regionales y la necesidad de oportunidades y alternativas de empleo y medios de vida, así como la seguridad alimentaria (OCDE, 2016).

**Figura 39.** Comercialización de los productos provenientes de la acuicultura



#### 6.2.4.3. Ingresos económicos de los productores dedicados a la acuicultura

Al no ser pertinente realizar una pregunta de cuanto percibe de ingresos un productor se optó por indagar si sus ingresos eran mayores o menores después de dedicarse a la producción de trucha arcoíris, donde el 95% de los encuestados manifestaron que sus



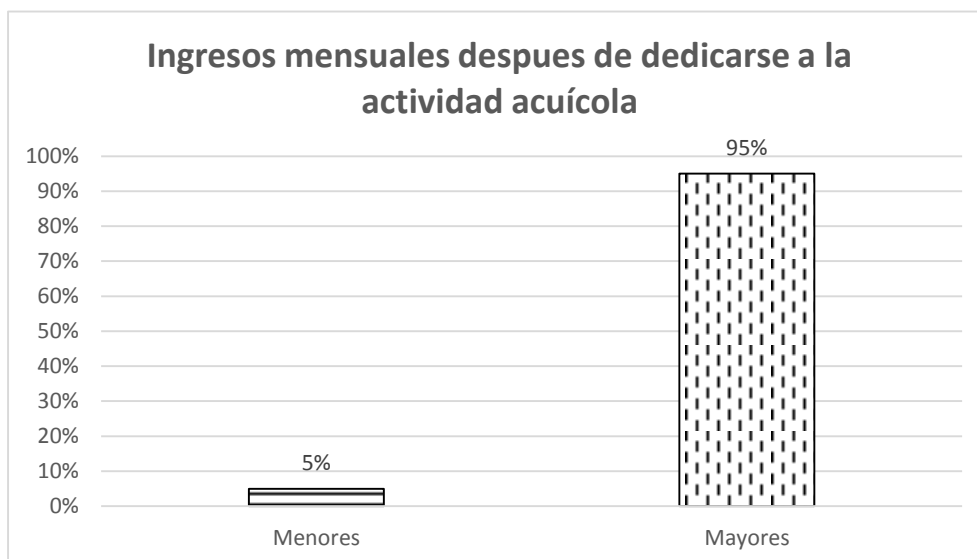
ingresos mejoraron a comparación de tiempos anteriores donde realizaban otro tipo de actividades; solo el 5% expreso que sus ingresos no mejoraron a pesar de dedicarse al cultivo de peces (Figura 40).

Según la Cámara de Comercio de Pasto (2019), la ciudad presentó una tasa de desempleo del 10% para el año 2018, siendo mayor a la reportada en nivel nacional con 9,3%, donde se encuentran aproximadamente 22 mil personas sin empleo, de los cuales el 45% se encuentran entre jóvenes de 18 a 28 años de los sectores rurales. De igual forma el DANE (2020), expone que la participación de empleo del sector rural agropecuario en la ciudad de Pasto para 2019 es solo del 1,5% donde el comercio, hoteles y restaurantes presentan las mejores estadísticas con un 30,8% del total de personas empleadas, lo que muestra una gran preocupación de empleabilidad formal en el campo.

El corregimiento del encano presenta diferentes problemáticas en temas laborales y de legalidad, puesto que actualmente los jóvenes no tienen garantías para trabajar en el campo en las diferentes actividades que se realizan en el sector (cultivos de papa, cebolla, mora, cultivo de trucha, entre otras), donde las alternativas de empleo se enfocan en actividades ilegales como la extracción de carbón, la caza de especies silvestres y el mototaxismo el cual se realiza en el corregimiento de El Encano y muchos migran hacia la ciudad de Pasto (Bastidas, 2010).

Las diversas políticas gubernamentales le han dado atención importante a la superación de la pobreza, tratando de impulsar la acuicultura y el turismo como fuentes formales de empleo, al igual que se han hecho esfuerzos en relación de las variables sociales y culturales, dentro de las dinámicas de gestión ambiental que en los últimos años han sido merecedoras de reconocimientos como el Premio Globo Azul que se otorgó en el año 2010. Sin embargo, los logros aún son insuficientes y las barreras a la inclusión se mantienen, en particular las relacionadas con la vinculación al mercado laboral de los sectores más pobres y vulnerables (Guzmán, 2014).

**Figura 40.** Ingresos económicos de los productores dedicados a la acuicultura



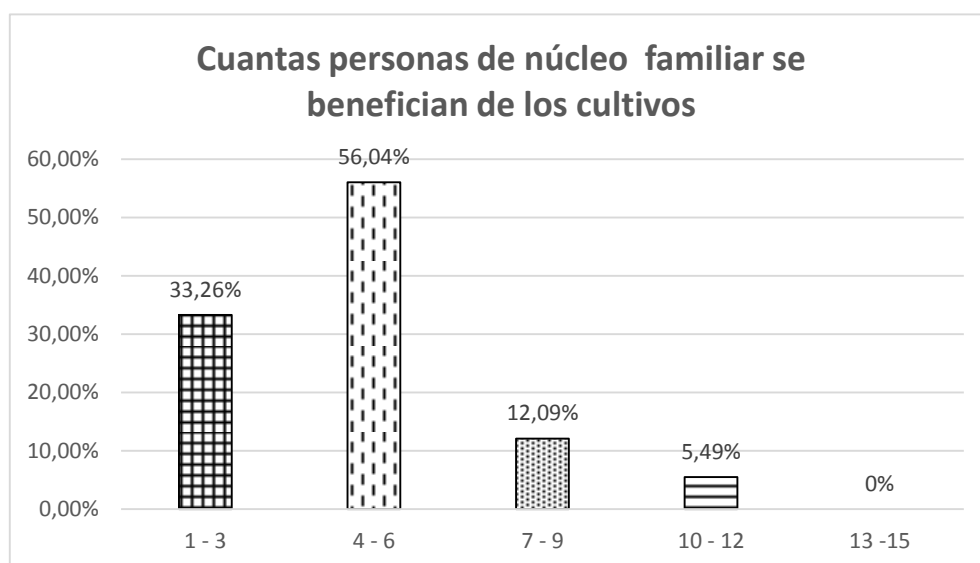
#### **6.2.4.4. Personas del núcleo familiar que se benefician de la producción acuícola**

Del total de productores encuestados, el 56,04% manifiesta que su núcleo familiar está conformado entre 4 y 6 personas, los cuales se benefician directa e indirectamente de la generación de ingresos por la producción de trucha. El 33,26% expresa que las personas de su hogar beneficiadas oscilan entre 1 y 3 personas, mientras que el 12,09% y el 5,49% respondieron que gracias a las ganancias obtenidas por la venta de trucha arcoíris las personas de su hogar beneficiadas se encuentran entre 7 a 9 personas y entre 10 y 12 personas respectivamente (Figura 41).

La acuicultura es una de las actividades agropecuarias que más rentabilidad genera en comparación a otro tipo de actividades como la ganadería y la avicultura (Gobierno de Colombia, 1990), sin embargo, para que la producción y la rentabilidad sean estables se requiere de llevar los procesos productivos de una manera ordenada, bajo los lineamientos de las buenas prácticas de producción acuícola, lo que garantiza la generación de empleo en el sector rural; suministro de un alimento rico en proteínas relativamente barato; mejora de las condiciones de vida; mejor distribución de los ingresos; diversificación de la producción agraria y frenos a la emigración del campo a las ciudades (FAO, 2020).

En ese sentido la actividad de por si es beneficiosa en términos sociales y económicos, puesto que es una fuente de ingresos familiares estables y legales que garantiza si no en su totalidad una buena calidad de vida, por lo menos contribuye a cubrir algunas de las necesidades básicas insatisfechas con las que carecen día a día los campesinos y productores de la región (Bastidas, 2010). El espacio de las comunidades se presenta con frecuencia buenas condiciones para llevar a cabo la acuicultura, actividad que constituye una alternativa para disminuir la presión sobre los recursos acuáticos naturales, con mínimo impacto sobre el ambiente y que permite disponer de pescado para mejorar la alimentación y la economía de la población local (Luna, 2005).

**Figura 41.** Personas del núcleo familiar beneficiadas directa e indirectamente por los cultivos acuícolas.



#### 6.2.4.5. Actividades desarrolladas antes dedicarse a la acuicultura

El 39,25% de los encuestados manifestó que antes de dedicarse a la producción de trucha arcoíris realizaba extracción de carbón de forma ilegal, mientras que el 30,46% se dedicaban a actividades agrícolas propias de la región; sin embargo, muchos de los productores aun alternan otras actividades agrícolas como el cultivo de papa y cebolla junto con la acuicultura. El 8,83% realizaban cultivo de especies menores como cuyes y gallinas y el 8,34% realizaban actividades de turismo, actividad que también es alternada junto con la piscicultura. Finalmente, el 7,81% expreso haberse dedicado al transporte mediante la conducción de carros interveredales e intermunicipales al igual que el mototaxismo y el

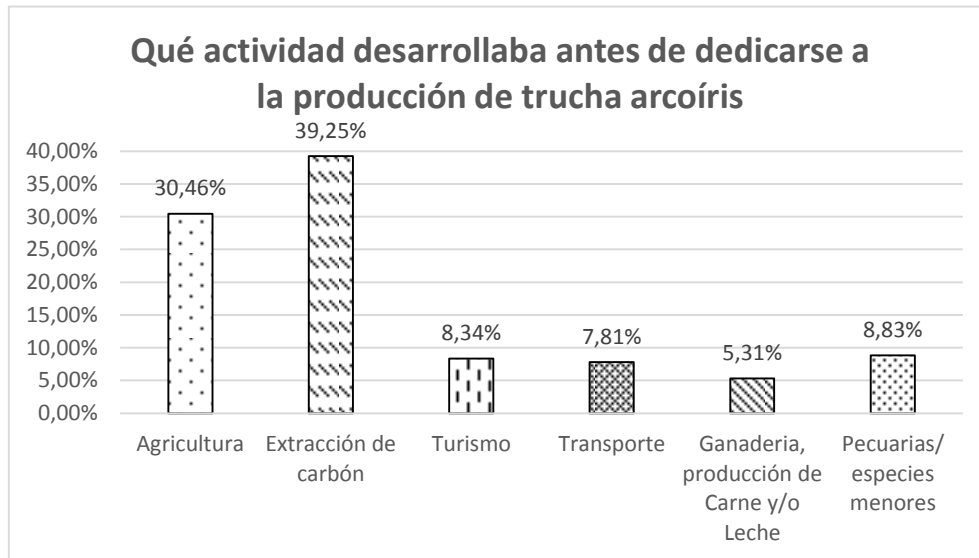
5,31% restante cumplían labores de ganadería para la producción principalmente de leche (Figura 42).

Una de las problemáticas ambientales que más efecto ha ocasionado en el corregimiento del Encano, es la tala de árboles para producción de carbón. Esta actividad ilegal ha generado una presión sobre el bosque nativo protector y sobre los páramos que rodean la laguna y sus diferentes veredas; por lo cual la producción acuícola juega un papel fundamental en la mitigación de esta práctica que deteriora no solo el ecosistema y la biodiversidad dispuesta en la fauna y flora presente en este importante cuerpo lacustre, sino, también causa efectos negativos en las personas que la realizan (Defensoría del Pueblo de Colombia, 2015; Acosta, 2016).

Los productores manifestaron que a pesar de dedicar mayor tiempo a la acuicultura no dejan atrás otras actividades como el cultivo de papa y cebolla ya que esto contribuye a la generación de ingresos familiares. Sin embargo, para el desarrollo de dichas actividades son utilizados diferentes agroquímicos, fertilizantes y pesticidas, los cuales por medio de la infiltración y el escurrimiento se depositan en el lecho del lago alterando la calidad fisicoquímica del mismo (CORPONARIÑO, 2014).

Actividades como la ganadería y el transporte también son comunes en la zona, sin embargo, son actividades de poca frecuencia que generan cierta inestabilidad económica, sin dejar a un lado los efectos ambientales que genera la ganadería. Es fundamental hacer hincapié en el fomento del turismo ecológico, donde la piscicultura puede apalancar la actividad mediante la pesca deportiva y otras actividades, lo que permitiría reforzar las iniciativas de turismo acuícola, con vistas a la consolidación y creación de nuevos empleos verdes y la generación de nuevas vías de ingresos vinculadas a la acuicultura (IPAC-Acuicultura, 2017).

**Figura 42.** Actividades desarrolladas antes dedicarse a la acuicultura



### 6.2.5. Planes de expansión y desarrollo

Una de los principales interrogantes en las variables sociales y productivas es la intención de los productores por expandir sus cultivos y crear unidades de producción con modelos de empresa rural agropecuaria. Sin embargo, para que una empresa acuícola crezca de manera exponencial donde se generen rentabilidades y empleos directos e indirectos se deben contemplar diferentes factores ambientales, técnicos, legales y económicos (Minagricultura, 2019). Las políticas, planes, programas y proyectos de desarrollo rural integral y sus componentes de ordenamiento productivo y de ordenamiento social de la propiedad rural son fundamentales para el fortalecimiento del sector acuícola y el crecimiento de los pequeños productores (UPRA, 2015).

A continuación, se presentan las preguntas realizadas a los productores correspondientes al interés de expandir sus unidades productivas dedicadas al cultivo de trucha arcoíris en el Lago Guamuez.

#### 6.2.5.1. ¿El productor tiene previsto incrementar sus cultivos acuícolas?

Del total de encuestados, el 93% desearía incrementar sus producciones mediante la instalación de un número mayor de jaulas de cultivo y con instalaciones adecuadas tanto

para la producción como plantas de proceso tecnificadas para la transformación y adición de valor agregado al producto; por el contrario, solo el 7% expresó no tener la intención de implementar más jaulas flotantes ni infraestructura para sus producciones (Figura 43).

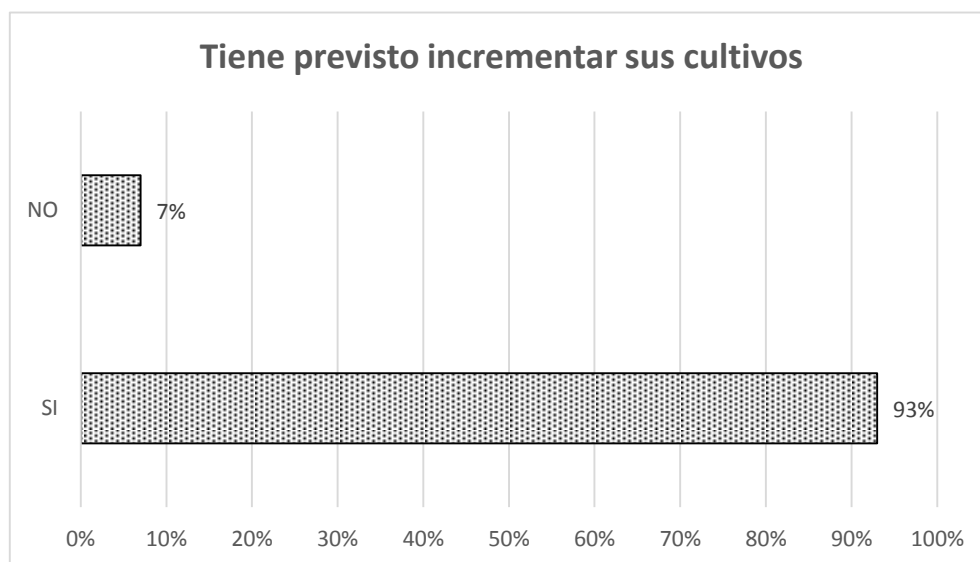
El pescado de acuicultura convierte en masa corporal una parte mayor de su alimentación que los animales terrestres, con conversiones alimenticias de 1,5 y 2 kilogramos por kilogramo de peso, mientras que la producción de 1 kg de proteína de bovino requiere 61 kg de cereal, frente al porcino y el pescado que requieren 38 kg y 13 kg de cereal, respectivamente. Además, los sistemas de producción de animales acuáticos también dejan una menor huella de carbono por kilogramo de producto en comparación con otros sistemas de producción de animales terrestres, situación que hace ambiciosa la posibilidad de agrandar los cultivos (HLPE, 2014).

Como lo expresa Sotelo (2010) las comunidades rurales establecidas en la Laguna de La Cocha contemplan una visión de progreso estrechamente vinculada con la producción de riqueza a través de la explotación de la tierra y de los recursos naturales, sin embargo, se acogen al precepto de que los seres humanos pueden explotar los recursos naturales siempre y cuando se cuiden y se preserven, con el fin de evitar su destrucción. Lastimosamente el modelo capitalista occidental se radica con fuerza en los productores de la zona, puesto que la visión se basa en cuanto producir para obtener mayores ganancias, pero no en como producir de una forma sustentable, sostenible y amigable con el medio ambiente (Sabogal, 2015).

La discusión se centra en que la mayoría de productores (93%) establecidos en la laguna de la cocha aspiran a mejorar sus producciones y a que sus empresas crezcan sin importar el tamaño actual (pequeño, mediano o grande productor), sin embargo, existen una serie de restricciones ambientales y económicas que no permiten la expansión de sus producciones. Si bien es cierto la acuicultura genera excelentes rentabilidades establecidas en ciertos casos hasta en un 50%, la inversión para la producción y creación de empresa en el sector acarrea grandes costos, por lo cual los productores no cuentan con los recursos necesarios para realizar este tipo de inversiones. Por otro lado, y en términos ambientales, debido a la contaminación y a los resultados del estudio de capacidad de carga del Lago Guamuez (CORPONARIÑO, 2014), se encuentran restringidas todas las concesiones y permisos de ocupación de causas y captación de aguas superficiales para la

producción acuícola, factor que es determinante para la expansión de la actividad (Resolución CORPONARIÑO 1006 de 2015).

**Figura 43.** Incremento de las unidades de cultivo



#### **6.2.5.2. Factores limitantes para la expansión de las producciones acuícolas**

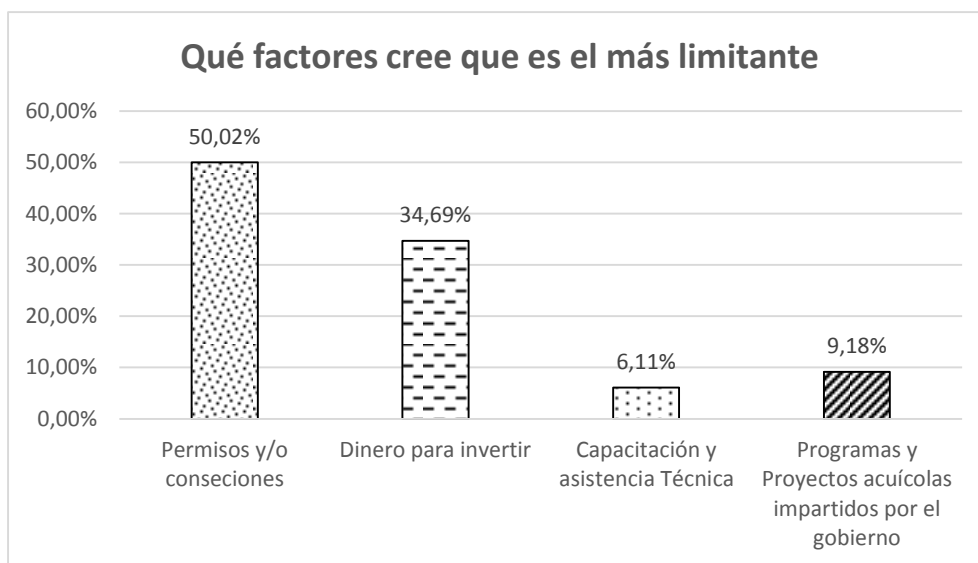
Del total de encuestados, el 50,02% manifestó que los permisos y/o concesiones otorgadas por entidades como la Corporación Autónoma Regional de Nariño quien es la encargada de otorgar las concesiones de agua y permisos de vertimientos, el Instituto Colombiano Agropecuario quien es el encargado de expedir los registros sanitarios y la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca quienes otorgan los permisos de cultivo son la principal limitante para la expansión y legalización de sus producciones. El 34,69% expresó que la mayor limitante para el crecimiento de sus cultivos es la falta de recursos económicos para invertir; el 6,11% tiene a la falta de capacitación, acompañamiento y asistencia técnica como su principal limitante, mientras que el 9,18% expresó que no han podido aumentar sus producciones y/o tecnificarlas por falta de programas y proyectos impartidos por el Gobierno Nacional que impulsen el crecimiento del sector acuícola (Figura 44).

Como se expresó en la pregunta anterior, La autoridad ambiental del departamento de Nariño (CORPONARIÑO), tiene restringidos los permisos y concesiones para la extensión

de los cultivos acuícolas (Resolución CORPONARIÑO 1006 de 2015). Esto se debe al grado de contaminación y capacidad de carga del lago, ya que este cuerpo de agua es el receptor no solo de los procesos acuícolas, sino también de la agricultura, aguas residuales domésticas, ganadería, problemáticas ambientales como la deforestación y la producción de carbón ilegal, a lo que se suma el turismo y el uso de embarcaciones cuyos residuos de aceite y gasolina tienen contacto directo con el agua y los pastizales rivereños a la laguna (CORPONARIÑO, 2014).

Otro de los puntos de importancia a discutir es el bienestar económico y social de los productores de la zona, puesto que la mayoría son pequeños y medianos productores con cultivos extensivos y semiintensivos que por lo general parte de la producción es para el autoconsumo y venta local (PNUD, 2010). De igual forma la falta de acompañamiento por parte del estado mediante programas y proyectos que apalanquen la actividad agropecuaria dificulta el desarrollo del sector, sin dejar a un lado la deficiente extensión rural que se brinda a los productores, en especial del sector acuícola cuyo sistema de producción aún no está muy bien posicionado en comparación a otras cadenas productivas agrícolas y pecuarias.

**Figura 44.** Factores limitantes para la expansión de las producciones acuícolas





### **6.3.1 Acuicultura en el contexto agroecológico. Análisis del Lago Guamuez.**

En el Lago Guamuez o Laguna de Cocha de origen glaciar tectónico se asientan poblaciones de pescadores y agricultores, descendientes de antiguas culturas indígenas como los Quillacingas, y es un lugar de referencia para otras etnias de la zona como los kamsá, los kofán y los Inga que la consideran aun un lugar sagrado. Una de las principales actividades económicas y de subsistencia de la zona es el cultivo de trucha arcoíris que fue introducida a mediados del siglo XX por biólogos estadounidenses con fines de establecer cultivos familiares para el autoconsumo (Sotelo, 2016). Sin embargo al ver la buena adaptación que esta especie tuvo en el ambiente el incremento de cultivos conllevó a la creación de diferentes producciones con fines comerciales, situación que si bien es cierto es favorable en términos de empleabilidad y generación de recursos, la actividad ha generado cambios en la dinámica del lago y en el pensar progresista de los campesinos, donde la mayoría son empleados de las grandes empresas productoras cuyos dueños son provenientes de otras zonas del departamento de Nariño y otras regiones de Colombia (Cabrera, 1970, Jojoa, 2020).

La agroecología no es un término muy utilizado en el sector de la acuicultura, según la FAO (2011, 2014, 2018) se han venido utilizando terminologías y conceptos como acuicultura ecológica y acuicultura orgánica familiar donde se enmarca el desarrollo de la actividad de una forma sustentable, sostenible, amigable con el ambiente y socialmente incluyente. De esta forma con la realización de este estudio y con base en estudios realizados por Nicholls y Altieri (2018), se abarcan diferentes temas ambientales, ecológicos, económicos y sociales donde se pretende reflejar la acuicultura como un modelo integrado agroecológico, donde la producción y obtención de ganancias económicas no sean el principal eje de importancia, sino, la inclusión del productor como ser principal en el desarrollo de la actividad, al igual que el cuidado y preservación de los recursos naturales presentes en este gran cuerpo de agua cuyo aporte ambiental es fundamental para la preservación no solo de especies de flora y fauna, sino de la cultura de las comunidades indígenas y campesinas cuyo enfoque territorial se basa en modelos agroalimentarios según los usos y costumbres propios de la región.

En la acuicultura es importante saber cómo los productores interpretan el arte del cultivo de peces antes de intentar la introducción de nuevos conceptos agroecológicos. Se debe

descubrir si un sistema agroalimentario acuícola puede adaptarse a los intereses, creencias y valores del acuicultor, o no, puesto que el mejoramiento y desarrollo de la acuicultura se centra en la intensificación solo realizando pequeños ajustes en la llamada acuicultura ecológica o ecologización, solución que no es totalmente eficiente en términos de sostenibilidad (Altieri et al., 2017).

Recordar que los agricultores y acuicultores son también una clase de científicos empíricos, puesto que han estado desarrollando, experimentando y adoptando sus propias tecnologías durante siglos según sus tradiciones. Si antes se intenta aprender de ellos como relacionar la actitud cultural con la tecnología, después se tendrá una mejor idea sobre cómo lograr generar agroecosistemas que brinden no solo seguridad alimentaria, sino también un modelo económico establecido sin entrar en la industrialización de la actividad, donde la agroecología adoptada a la acuicultura no sea una simple base en la caja de herramientas de la acuicultura tradicional (Giraldo, 2017).

### **6.3.2 La acuicultura vista como un agrosistema eficiente para la seguridad alimentaria**

La producción de pescado obtenido mediante las prácticas acuícolas de aguas marinas o dulces como las analizadas en este estudio en el Lago Guamuez, constituye una fuente primordial de proteínas y nutrientes esenciales, y existe cada vez más conciencia de sus cualidades nutricionales y sus beneficios para la salud. El pescado es uno de los agentes más eficientes de conversión de los piensos en alimento de buena calidad, al igual que proporciona ingresos y medios de subsistencia a numerosas comunidades en todo el mundo (HLPE, 2014).

En este sentido radica la importancia de analizar el contexto acuícola que se desarrolla en este importante cuerpo lacustre, donde los resultados ambientales y ecológicos aquí obtenidos no son del todo favorables, sin embargo el Diagnóstico Rural Participativo nos permitió observar la importancia social y económica que implica la práctica de esta actividad en el territorio; si bien es cierto a pesar de que los pobladores conocen la importancia de la conservación de los recursos naturales, su visión capitalista de desarrollo y progreso (Bastidas, 2016), conllevan a producir para buscar el sustento sin llevar a cabo las buenas prácticas y normas que se establecen para la sostenibilidad de los cultivos y el

cuerpo de agua, sin embargo se pudo determinar que la falta de extensión rural, el acompañamiento gubernamental y escasas bases de emprendimiento son la causa de dichas problemáticas (Saldaña, 2013).

La contribución actual y futura de la acuicultura a la seguridad alimentaria y la nutrición depende de numerosas interacciones agroecológicas, relativas a la conservación y protección del ambiente, el desarrollo social y económico, las políticas públicas propias de la actividad y la gobernanza que favorezca al sector rural. La importancia de la actividad la expone Allison et al (2013) quien estima que de la pesca y la acuicultura dependen entre 600 y 820 millones de personas a nivel mundial, cifras que son empáticas con la situación del Lago Guamuez, donde más del 60% de la población rural se dedican a esta actividad donde las producciones se destinan no solo a la comercialización sino, al autoconsumo del productor y su familia.

Si queremos pretender que la acuicultura en la región ingrese en la lista de actividades rurales agroecológicas y se preste mayor importancia a la seguridad alimentaria y la nutrición, hay que destacar tres aspectos fundamentales, como lo es el contenido de proteínas y nutrientes del pescado como alimento, el papel de las actividades acuícolas desarrolladas en el Lago Guamuez como fuente de ingresos y medios de vida de los pobladores y la eficiencia relativa del pescado para producir o transformar proteínas; de igual forma según la información recolectada con los productores se puede llegar a la discusión que son fundamentales tener en cuenta la disponibilidad de alimentos, en términos de producción y uso del pescado como aporte a su soberanía alimentaria familiar, el acceso a los alimentos, debido al hecho de que el pescado y todas las actividades económicas conexas que se llevan a cabo en la cadena acuícola constituyen un importante mecanismo de generación de puestos de trabajo, y generación de ingresos con efectos positivos que van de los hogares a escalas económicas más amplias, lo que genera discusión entre la intensificación de las producciones a escala industrial y la aplicación de prácticas agroecológicas (Bené et al., 2016; Mier et al., 2018; Mockshell y Villarino, 2019).

### **6.3.3 Acuicultura agroecológica como resiliencia al cambio climático**

La acuicultura es una de las actividades agropecuarias más amigables con el ambiente, sin embargo, como toda actividad generadora de productos, causa implicaciones ambientales

e impactos negativos a los recursos naturales. El cambio climático es una realidad de la cual no está exento ningún espacio geográfico del planeta, por lo cual en este aparte se pretende analizar y discutir la importancia de la adaptación y mitigación al cambio climático dentro del sector acuícola que se realiza en el Lago Guamuez.

Una de las opciones y quizás la única que permita mitigar los efectos del clima y el ambiente es el desarrollo de las actividades agropecuarias integrando modelos agroecológicos que permitan reducir los efectos contaminantes y sensibilizar al productor sobre el fenómeno climático del cual no somos ajenos, incluso del cual somos partícipes sino se toma conciencia que se debe producir de tal forma que no agotemos los recursos. Según Cochrane et al (2009) se estima que las aguas serán más cálidas, la temporada de crecimiento se prolongará y la abundancia de algas y la productividad en los mares y lagos serán mayores, donde la intensificación de los ciclos hidrológicos influya mucho en los procesos limnológicos acentuando la escorrentía y tasas de descarga, produciendo serios problemas de eutrofización donde los aportes de nutrientes como nitrógeno y fósforo proveniente del alimento comercial suministrado, las heces de los peces y demás productos químicos y farmacéuticos serán el detonante para la contaminación de los cuerpos de agua, entre los cuales el Lago Guamuez no será la excepción (FOESA, 2013).

Según la entrevista personal realizada a Martha Coral (2020), las comunidades asentadas en el Lago Guamuez son conscientes de la situación actual que se vive con el cambio climático y quienes afirman que esto se ha visto reflejado en las variaciones drásticas de temperatura que ha mostrado el Lago durante los últimos cinco años, donde se han presentado grandes mortalidades de peces, en especial en los alevinos de trucha; sin embargo el concepto de desarrollo y la necesidad de sobrevivir conlleva a los indígenas y campesinos de la zona a producir a como dé lugar sin tener en cuenta la normativa ambiental ni la aplicación de las buenas prácticas acuícolas (BPA). De esta forma Altieri y Nicholls (2018), exponen que parte del problema es que se requiere un cambio revolucionario que va en contra del crecimiento económico y de la hegemonía política-económica que mantiene a todo costo el sistema capitalista, donde la acuicultura también se basa en intensificar los cultivos, situación que se ve reflejada en las empresas más grandes acentuadas en el Lago Guamuez.

Finalmente es importante resaltar que la agroecología tiene un claro potencial tanto para mitigar el cambio climático como para mejorar la resiliencia del sector acuícola, sin embargo, se resalta la dificultad de incluir no solo la terminología y los conceptos agroecológicos en el sector acuícola, sino de llevar los modelos agroecológicos a la práctica. En otro tipo de actividades agropecuarias, la implementación de modelos integrados agroecológicos se torna más sencillo, puesto que el uso de fertilizantes y abonos orgánicos permiten la sostenibilidad del agrosistema (Ramos y Terry, 2014); en comparación a la acuicultura y sobre todo en el cultivo de trucha arcoíris cuya especie es carnívora y su alimentación de basa específicamente al concentrado comercial, se deben generar opciones de como producir de una manera económicamente viable y ambientalmente sostenible, donde la reducción de los efectos contaminantes contribuya no solo a la preservación del ambiente, sino mitigue los efectos del calentamiento global y más aún en cuerpos de agua tan importantes como lo es el Lago Guamuez, declarado en el año 2000 como Humedal RAMSAR por su aporte ambiental e importancia internacional.

### **6.3. OBJETIVO ESPECÍFICO 3. Cambios ambientales mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos en agua y sedimentos.**

A continuación, se presentan los resultados de los parámetros fisicoquímicos medidos en el agua y los sedimentos con el fin de observar los cambios ocasionados por la producción de trucha arcoíris en las zonas de muestreo y las implicaciones ambientales que se generan a partir de estas producciones.

#### **6.3.1. Parámetros fisicoquímicos del agua**

Los parámetros fisicoquímicos medidos en la columna del agua a profundidades de 0, 10 y 20 metros fueron el oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica, potencial de hidrógeno (pH), Dureza, alcalinidad y transparencia. Estos análisis permitirán realizar una discusión basada en los cambios representativos de cada parámetro en la calidad del agua y su incidencia en el equilibrio ambiental del Lago (Anexo A).

**6.3.1.1. Oxígeno disuelto (mg/).** En época de lluvias altas los valores se tornan mayores en comparación a los registrados en lluvias bajas, con registros máximos de  $9,01 \pm 0,07$  mg/L para la zona C1 correspondiente al punto control de la empresa de producción ubicada en la zona C y a una profundidad de cero metros y valores mínimos de  $5,68 \pm 0,37$

mg/L y  $5,75 \pm 0,18$  mg/L para las zonas B y A respectivamente correspondientes a los cultivos piscícolas cuya profundidad es de 20 metros. De igual forma para la época de lluvias bajas los mayores valores se registran a una profundidad de cero metros en las zonas C1 y A1 correspondientes a puntos control con  $8,28 \pm 0,03$  mg/L y  $7,54 \pm 0,06$  mg/L respectivamente; por el contrario, los menores valores se presentan a 20 m con registros de  $4,19 \pm 0,18$  mg/L y  $4,63 \pm 0,40$  mg/L correspondientes a las zonas de cultivo A y B (Figura 45). El total de valores obtenidos por profundidad y zona de muestreo se presentan en la tabla 5.

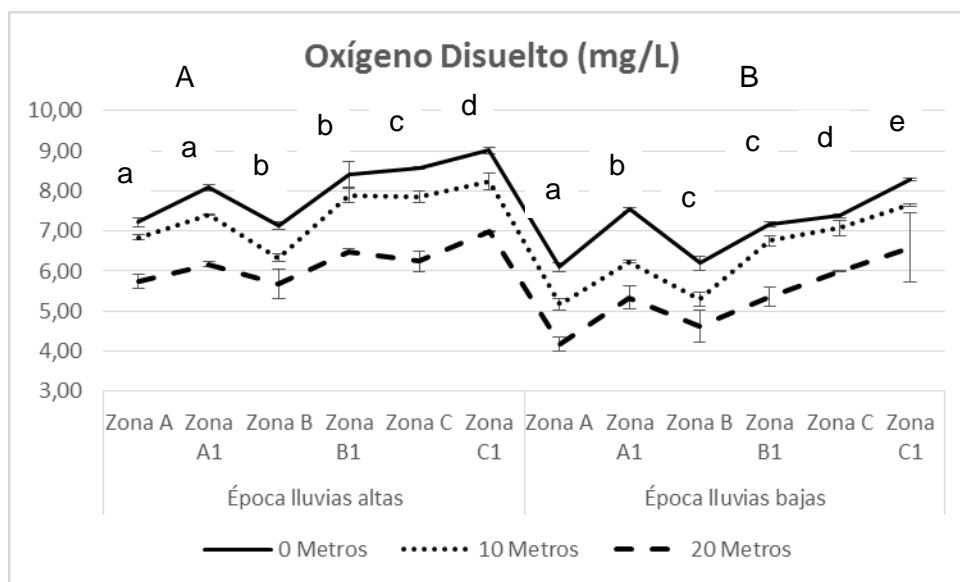
Según el Anova, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre épocas de lluvia y zonas muestreadas, como entre profundidades (Figura 45). La prueba comparativa múltiple de Tukey, estableció diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las dos épocas de lluvias, donde los mayores valores de oxígeno disuelto se presentan en la época de lluvias altas con una media de  $7,22 \pm 0,020$  mg/L, mientras que en época de lluvias bajas la media obtenida es de  $6,26 \pm 0,020$  mg/L. De igual forma se observan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre zonas de muestreo (cultivos y puntos control) en las dos épocas de estudio, donde los mayores valores de OD se presentan en la zona de cultivo C y su punto control C1 correspondientes a la zona baja de la laguna con medias de  $7,18 \pm 0,035$  mg/L y  $7,79 \pm 0,035$  mg/L respectivamente.

Las zonas de cultivo A y B con una media de  $5,87 \pm 0,035$  y correspondientes a la parte alta y media de la laguna no muestran diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre ellas, pero sí con sus puntos control ( $p < 0,05$ ) donde las medias estadísticas son de  $6,79 \pm 0,035$  mg/L para A1 y  $6,91 \pm 0,035$  mg/L para B1. Finalmente, las tres profundidades presentan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), donde los mayores valores se obtuvieron en la superficie, seguido de los 10 y 20 metros con medias estadísticas de  $7,59 \pm 0,025$  mg/L,  $6,84 \pm 0,025$  mg/L y  $5,78 \pm 0,02$  mg/L respectivamente; este comportamiento se presenta para las dos épocas de muestreo. Los supuestos y pruebas estadísticas se muestran en el Anexo B.

**Tabla 5.** Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de oxígeno disuelto (mg/L) de las zonas y profundidades de muestreo.

Oxígeno (mg/L)												
Época lluvias altas							Época lluvias bajas					
	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
0 Metros	7,22	8,09	7,14	8,41	8,57	9,01	6,10	7,54	6,19	7,16	7,38	8,28
10 Metros	6,84	7,41	6,33	7,89	7,84	8,23	5,16	6,24	5,29	6,75	7,08	7,65
20 Metros	5,75	6,16	5,68	6,49	6,25	7,00	4,19	5,33	4,63	5,37	5,99	6,58
	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.
0 Metros	0,11	0,08	0,09	0,31	0,03	0,07	0,11	0,06	0,17	0,05	0,05	0,03
10 Metros	0,07	0,01	0,09	0,19	0,14	0,20	0,15	0,04	0,17	0,12	0,19	0,03
20 Metros	0,18	0,06	0,37	0,06	0,26	0,02	0,18	0,29	0,40	0,24	0,01	0,87
	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err
0 Metros	0,035	0,027	0,031	0,103	0,009	0,023	0,036	0,019	0,058	0,018	0,017	0,009
10 Metros	0,023	0,004	0,030	0,062	0,048	0,065	0,051	0,013	0,057	0,042	0,064	0,009
20 Metros	0,059	0,021	0,124	0,020	0,086	0,005	0,059	0,097	0,133	0,079	0,004	0,289
	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat
0 Metros	1,46	1,02	1,31	3,69	0,32	0,78	1,79	0,76	2,81	0,75	0,68	0,33
10 Metros	0,99	0,16	1,44	2,35	1,82	2,38	2,98	0,61	3,24	1,85	2,69	0,37
20 Metros	3,09	1,02	6,55	0,94	4,11	0,23	4,21	5,48	8,66	4,42	0,20	13,16

**Figura 45.** Valores de oxígeno disuelto (mg/L) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo.



A y B, diferencias significativas entre épocas de lluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros de mayor importancia en los agroecosistemas lacustres principalmente para la degradación de materia orgánica, y en especial en la producción acuícola, sobre todo en una especie tan exigente como la trucha arcoíris, puesto que permite mitigar enfermedades, aparición de parásitos, evitar muertes tempranas y mejora el consumo de los alimentos (Torres et al., 2016). Como lo demuestran los resultados, la mayor disponibilidad de oxígeno se presenta en lluvias altas, sin embargo, en las dos épocas de estudio los valores más altos se observan en los puntos control y a profundidades de cero metros (superficie). Según Benjumea y Álvarez (2017) el oxígeno disuelto en el agua es mayor en la superficie debido al contacto con la atmósfera, por lo cual su disponibilidad en la columna del agua es mayor, de lo contrario a mayores profundidades la disponibilidad de este parámetro va disminuyendo considerablemente.

Los niveles de oxígeno disuelto obtenidos en este estudio son característicos de lagos oligotróficos de alta montaña (entre 7 y 9 mg/L) y se mantienen en los rangos aceptables tanto para la ecología del lago como para la especie en cultivo (López et al., 2017), sin embargo, se observa que en las zonas de jaulas flotantes existe un deterioro del parámetro ocasionando disminución en su disponibilidad a causa de factores como la respiración de los peces, sus procesos metabólicos y mayor degradación de materia orgánica, por lo que se puede afirmar que hay un impacto negativo en la calidad del agua a causa de las producciones acuícolas (González et al., 2018).

De igual forma se puede observar que tanto para la época de lluvias altas como la de lluvias bajas y en comparación entre zonas, la mayor disponibilidad de oxígeno se presenta en la zona de cultivo C y en su punto control C1 correspondientes a la parte baja de la laguna (vereda El Naranjal), situación que puede presentarse debido a que en esta zona existen mayores zonas de reserva y por ende menor intervención humana a diferencia de la parte alta del lago (Vereda El Motilón) donde hay un mayor número de cultivos acuícolas, mayor presencia de asentamientos humanos e influencia de aguas provenientes del puerto turístico con mayor carga orgánica y presencia de residuos de combustible, afirmación que estaría sujeta a estudios que abarquen otro tipo de producciones y actividades antrópicas (Corponariño, 2014).



**6.3.1.2. Temperatura (°C).** La temperatura refleja sus mayores valores en época de lluvias bajas, cuyos toques máximos se presentan en los cero metros en las zonas B, C y A correspondientes a las zonas de cultivo con valores de  $16,99\pm 0,04$ ;  $16,87\pm 0,01$ °C y  $16,81\pm 0,01$ °C respectivamente. Por el contrario, los toques mínimos se registraron a una profundidad de 20 metros en las zonas correspondientes a los puntos control con valores de  $14,86\pm 0,05$ °C;  $14,95\pm 0,01$ °C y  $15,00\pm 0,09$ °C para C1, A1 y B1 respectivamente. De igual forma para la época de lluvias altas los valores máximos se registran en la superficie en las zonas de cultivo, la zona B con  $14,62\pm 0,14$ °C, zona C con  $14,56\pm 0,02$ °C y zona A con  $14,52\pm 0,01$ °C, mientras tanto los menores valores se presentan a una profundidad de 20 metros en las zonas de puntos control con  $13,03\pm 0,04$ °C para C1 y  $13,56\pm 0,09$ °C para A1 (Figura 46). Los valores de temperatura registrados para las zonas de estudio se muestran en la tabla 6.

Según el Anova, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre épocas de lluvia y zonas muestreadas, como entre profundidades (Figura 46). La prueba comparativa múltiple de Tukey, estableció diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las dos épocas de lluvias, donde los mayores valores de temperatura se presentan en la época de lluvias bajas con una media de  $15,9277\pm 0,020$  °C, mientras que en época de lluvias altas la media obtenida es de  $14,0207\pm 0,020$  °C. De igual forma se observan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre zonas de muestreo (cultivos y puntos control), donde los mayores valores de T° se presentan en la zona de cultivo B y su punto control B1 correspondientes a la parte media de la laguna (vereda Santa Teresita), con medias estadísticas de  $15,22\pm 0,035$  °C para la zona B y  $15,04\pm 0,035$  °C para B1. Los menores valores de temperatura fueron obtenidos en la parte baja de la laguna (Vereda Naranjal), en la zona de cultivo C y su punto control C1 con medias de  $14,53\pm 0,035$  °C y  $14,68\pm 0,035$  °C respectivamente.

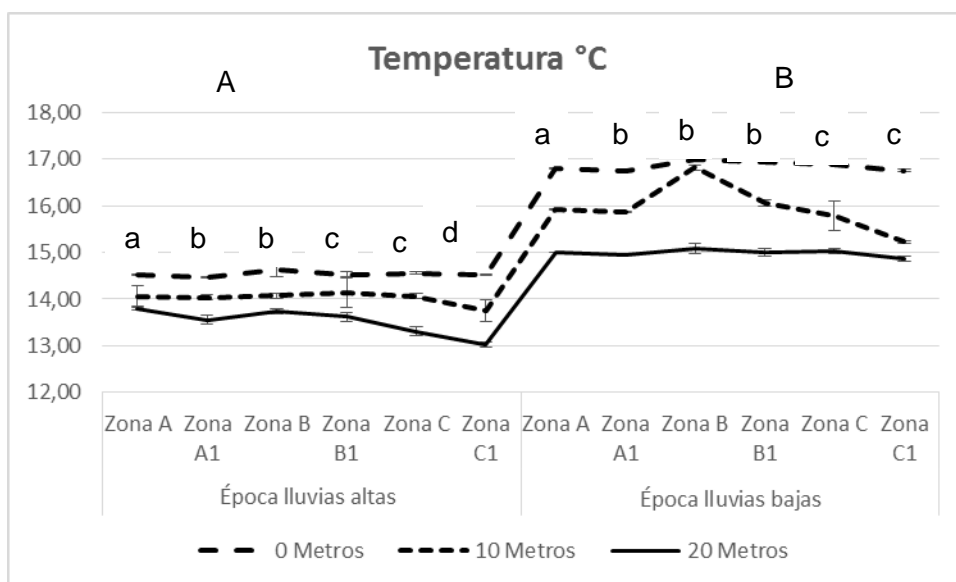
En la parte alta de la laguna (vereda El Motilón) donde se ubican las zonas A y A1, no mostraron diferencias significativas entre sí ( $P > 0,05$ ) con una media de  $14,93\pm 0,035$  °C para las dos. De igual forma entre zonas A, A1 y C, como entre la A y B1 no se registran diferencias significativas entre sí ( $P > 0,05$ ) para las dos épocas de lluvias. Con respecto a las profundidades, se demuestra diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los 0, 10 y 20 metros para las dos épocas de lluvias tanto para las zonas de cultivo como para los puntos control, donde las mayores temperaturas se presentan a cero metros con media estadística de  $15,69\pm 0,025$  °C, seguido de los 10 metros con  $14,98\pm 0,025$  °C y finalmente a 20 metros

con una media estadística de  $14,24 \pm 0,025$  °C. Los supuestos y pruebas estadísticas se muestran en el Anexo C.

**Tabla 6.** Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de temperatura (°C) de las zonas y profundidades de muestreo.

Temperatura (°C)												
Época lluvias altas						Época lluvias bajas						
	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
0 Metros	14,52	14,46	14,62	14,53	14,56	14,52	16,81	16,75	16,99	16,94	16,87	16,75
10 Metros	14,06	14,04	14,07	14,14	14,07	13,74	15,92	15,87	16,82	16,07	15,78	15,23
20 Metros	13,80	13,56	13,74	13,62	13,31	13,03	15,00	14,95	15,08	15,00	15,02	14,86
	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.
0 Metros	0,01	0,02	0,14	0,06	0,02	0,01	0,01	0,01	0,04	0,02	0,01	0,03
10 Metros	0,22	0,05	0,06	0,31	0,06	0,23	0,02	0,02	0,05	0,07	0,32	0,03
20 Metros	0,04	0,09	0,04	0,09	0,09	0,04	0,01	0,01	0,10	0,09	0,05	0,05
	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err
0 Metros	0,005	0,005	0,048	0,018	0,007	0,005	0,003	0,003	0,012	0,007	0,005	0,010
10 Metros	0,074	0,015	0,018	0,104	0,018	0,078	0,008	0,007	0,015	0,023	0,106	0,011
20 Metros	0,013	0,030	0,014	0,031	0,031	0,014	0,004	0,004	0,034	0,031	0,016	0,018
	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat
0 Metros	0,10	0,11	0,98	0,38	0,15	0,10	0,05	0,06	0,22	0,13	0,08	0,17
10 Metros	1,57	0,33	0,39	2,21	0,39	1,70	0,16	0,13	0,28	0,43	2,01	0,21
20 Metros	0,27	0,67	0,31	0,69	0,70	0,33	0,08	0,08	0,67	0,62	0,31	0,36

**Figura 46.** Valores de temperatura (mg/L) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo



A y B, diferencias significativas entre épocas de lluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas

Tanto en el hábitat natural como en el cultivo de especies hidrobiológicas, la temperatura al igual que el oxígeno es uno de los parámetros de mayor control y seguimiento, puesto que los procesos metabólicos, alimenticios y reproductivos de peces y demás animales acuáticos se basan en los rangos y variaciones de la temperatura del agua (Vásquez et al., 2014).

Como se observa en los resultados la superficie (0 metros) presenta los mayores valores de temperatura en las dos épocas de estudio y estos disminuyen a medida de que aumenta la profundidad, comportamiento que es descrito por Beltrán et al (2012) quien afirma que la temperatura es mayor en la capa superficial del agua debido a la interacción agua-atmosfera y que a medida que aumenta la profundidad la temperatura disminuye creando la estratificación térmica, condición normal y favorable en sistemas acuáticos lenticos. Cabe resaltar que los valores máximos de temperatura se presentan en lluvias bajas, lo que demuestra que al llover menos hay menor contacto entre el cuerpo de agua y el agua lluvia, por lo que disminuye la turbulencia al igual que disminuye el caudal aportado por los ríos y quebradas que funcionan como afluentes, por lo que la dinámica del lago se torna más estable manteniendo una mayor temperatura en la masa de agua (Gerard et al., 2018).

Según González et al (2018) y Burbano et al (2019), las zonas de cultivo de trucha arcoíris analizadas en el lago Guamuez presentan mayores rangos de temperatura que la zona de punto control oscilando entre  $17,28 \pm 0,10$  °C y  $16,10 \pm 0,10$  °C respectivamente en la parte superficial, datos que se asemejan a los obtenidos en este estudio donde la mayoría de zonas de cultivo presenta mayores temperaturas en relación a sus puntos control a excepción de la zona de cultivo C perteneciente a la parte baja del lago (vereda El Naranjal), cuya temperatura es menor en las dos épocas de lluvia ( $14,9357 \pm 0,035$  °C lluvias bajas y  $13,9681 \pm 0,035$  °C para lluvias altas), situación que puede ser probable debido a la ubicación de las jaulas y condiciones ambientales más favorables en esta parte de la vereda.

Los valores de temperatura obtenidos en este estudio se encuentran dentro de los rangos aceptados para este tipo de lagos, al igual que son ideales para la especie cultivada y sus rangos óptimos de tolerancia térmica; sin embargo, se observan variaciones entre los cultivos y puntos control, lo que conlleva a prestar importancia en los efectos negativos que

puedan presentar las producciones acuícolas en la estratificación térmica del lago y la estabilidad ecológica del mismo.

**6.3.1.3. Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).** Este parámetro presenta una tendencia a aumentar en época de lluvias bajas. Los valores superiores presentados para esta época se registran a la profundidad de 20 metros en las zonas A y B correspondientes a las jaulas de cultivo con valores de  $125,81 \pm 1,112 \mu\text{S}/\text{cm}$  y  $105,27 \pm 1,13 \mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente y en la zona A1 que representa el punto control de esta empresa con un valor de  $120,38 \pm 0,45 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Los registros más bajos se presentan en la superficie en las zonas B1 y C1 que representan los puntos control con valores de  $77,19 \pm 0,10 \mu\text{S}/\text{cm}$  y  $76,29 \pm 0,14 \mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente. Para la época de lluvias altas los máximos valores se presentan en la zona de cultivo A y en el punto control A1 con valores de  $121,15 \pm 0,73 \mu\text{S}/\text{cm}$  y  $102,19 \pm 1,13 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Por el contrario los registros mínimos se reportan a cero metros en las zonas C1 y B1 correspondientes a puntos control, con valores de  $65,18 \pm 0,18 \mu\text{S}/\text{cm}$  y  $68,21 \pm 0,41 \mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente (Figura 47). En la tabla 7 se presenta el total de valores registrados para las épocas de lluvia, las zonas y profundidades de monitoreo.

Según el Anova, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre épocas de lluvia y zonas muestreadas, como entre profundidades (Figura 47). La prueba comparativa múltiple de Tukey, estableció diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las dos épocas de lluvias, donde los mayores valores de Conductividad eléctrica (CE), se presentan en la época de lluvias bajas con una media de  $97,69 \pm 0,202 \mu\text{S}/\text{cm}$ , mientras que en época de lluvias altas la media obtenida es de  $86,43 \pm 0,202 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

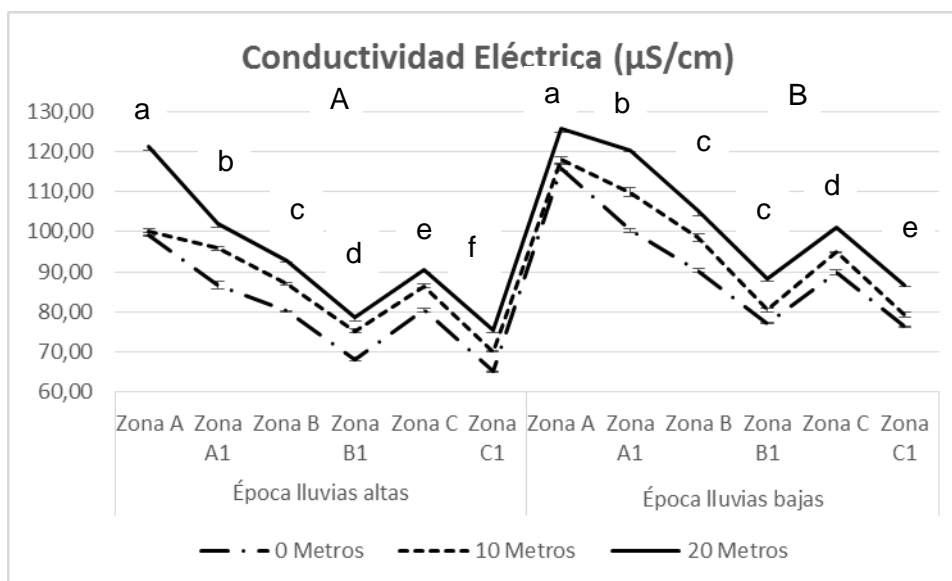
De igual forma se observan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las seis zonas de muestreo (cultivos y puntos control), donde los mayores valores de CE se presentan en la zona de cultivo A y su punto control A1 correspondientes a la parte alta de la laguna (vereda Santa Teresita), con medias estadísticas de  $113,37 \pm 0,350 \mu\text{S}/\text{cm}$  para la zona A y  $102,54 \pm 0,350 \mu\text{S}/\text{cm}$  para su punto control A1. Los menores valores de CE fueron obtenidos en las zonas B1 y C1 correspondientes a los puntos control de las partes media y baja de la laguna (Veredas Naranjal y El Motilón), con medias estadísticas de  $78,00 \pm 0,350 \mu\text{S}/\text{cm}$  y  $75,51 \pm 0,350 \mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente. Finalmente, al igual que la interacción entre épocas y zonas de muestreo, las profundidades también presentan diferencias significativas entre sí ( $p < 0,05$ ); donde los mayores valores de conductividad eléctrica se presentaron a los 20 metros, seguido de los 10 y 0 metros de profundidad, con

medias estadísticas de  $99,02 \pm 0,247 \mu\text{S/cm}$ ,  $91,33 \pm 0,247 \mu\text{S/cm}$  y  $85,82 \pm 0,247 \mu\text{S/cm}$  respectivamente. Los supuestos estadísticos y análisis de varianzas se muestran en el anexo D.

**Tabla 7.** Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de conductividad eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ ) de las zonas y profundidades de muestreo.

Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ )												
Época llluvias altas							Época llluvias bajas					
	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
0 Metros	99,15	86,73	80,18	68,21	80,46	65,18	115,92	100,31	90,35	77,19	89,92	76,29
10 Metros	100,27	95,84	86,98	75,31	86,46	70,13	117,94	109,83	98,46	80,50	94,88	79,37
20 Metros	121,15	102,19	92,90	78,62	90,66	75,36	125,81	120,38	105,27	88,17	101,09	86,74
	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.
0 Metros	0,15	0,98	0,14	0,41	0,45	0,18	0,87	0,42	0,40	0,10	0,72	0,14
10 Metros	0,42	0,38	0,39	0,37	0,41	0,25	0,79	1,08	0,95	0,56	0,16	0,68
20 Metros	0,73	1,13	0,47	0,89	0,71	0,67	1,12	0,45	1,13	0,59	0,77	0,46
	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err
0 Metros	0,050	0,327	0,047	0,137	0,152	0,059	0,289	0,141	0,132	0,033	0,240	0,046
10 Metros	0,138	0,127	0,130	0,125	0,137	0,083	0,262	0,362	0,317	0,188	0,053	0,228
20 Metros	0,244	0,376	0,158	0,296	0,235	0,223	0,374	0,149	0,377	0,197	0,258	0,155
	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat
0 Metros	0,15	1,13	0,18	0,60	0,57	0,27	0,75	0,42	0,44	0,13	0,80	0,18
10 Metros	0,41	0,40	0,45	0,50	0,48	0,36	0,67	0,99	0,96	0,70	0,17	0,86
20 Metros	0,60	1,10	0,51	1,13	0,78	0,89	0,89	0,37	1,07	0,67	0,76	0,54

**Figura 47.** Valores de conductividad eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ ) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo



A y B, diferencias significativas entre épocas de lluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas

La conductividad eléctrica (CE) en la acuicultura es medida con el fin de tener un indicador del grado de mineralización del cuerpo de agua, donde se pretende identificar la concentración total de iones presentes tanto de forma natural en el sistema lacustre como los aportados por los procesos acuícolas. Según Collazos y Arias (2009), este parámetro es un factor fundamental en los procesos reproductivos de los peces puesto que su mejor desove esta entre los 80  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; además Rodríguez et al (2012) expone que la CE es un factor de importancia en la calidad de suelos agrícolas como los encontrados en las riveras de la laguna y cuya disposición de minerales mediante escurrimiento hacia la misma puede afectar notoriamente la calidad del agua.

La época de lluvias bajas presenta los mayores valores de conductividad eléctrica; sin embargo, para las dos épocas de lluvia los picos más altos se presentan en las zonas A y A1 parte alta de la laguna (vereda El Motilón), no obstante, los mayores valores en general son obtenidos en las zonas de cultivo. Con respecto a las profundidades la conductividad eléctrica aumenta a medida que la profundidad de la columna de agua también aumenta, presentándose los mayores valores en todas las zonas y para las dos épocas de lluvia a los 20 metros.

Según Meza y Sepúlveda (2012), la acuicultura es una actividad generadora de residuos orgánicos e inorgánicos por lo cual factores como la adición de concentrado, aplicación de sal marina y medicamentos para los animales, procesos metabólicos y fisiológicos de los mismos, influyen en el aumento de los minerales y sales presentes en el agua, razón por la cual las áreas influenciadas por los cultivos presentan una tendencia a aumentar los niveles de CE. De igual forma González et al (2018) reportan que la interface agua sedimento tiende a presentar los mayores valores de conductividad, puesto que la acumulación de materia orgánica y otra clase de elementos de carácter antrópico como natural se acumulan en el sedimento del fondo de los lagos provocando efectos ionizantes que se ven reflejados en las mediciones de CE.

Las zonas de estudio fueron tomadas según la morfología y posición geográfica de la laguna, donde la zona de cultivo A y su punto control A1 presentan mayores conductividades, lo que puede deberse a que la parte alta de la laguna se encuentra mayormente influenciada por el puerto turístico, cultivos agrícolas (papa y cebolla) y el casco urbano del corregimiento, lo que puede aportar notoriamente al incremento de la conductividad (Corponariño, 2014). Si bien es cierto se puede determinar que los niveles

de conductividad eléctrica son notoriamente afectados por los cultivos de trucha, estos se encuentran en valores aceptables para cuerpos de agua naturales (entre 50 y 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), como para el bienestar de los peces en cultivo (Vásquez et al., 2016).

**6.3.1.4. Potencial de hidrógeno (pH).** En época de lluvias bajas los valores se tornan mayores en comparación a los registrados en lluvias altas, con registros máximos de  $7,91\pm 0,01$  para la zona C1 y  $7,84\pm 0,01$  para la zona B1 correspondientes a puntos control de las empresas de producción ubicadas en las zonas C y B, a una profundidad de cero metros y valores mínimos de  $7,31\pm 0,03$  y  $7,40\pm 0,01$  para las zonas A y B respectivamente correspondientes a los cultivos piscícolas cuya profundidad es de 20 metros. De igual forma para la época de lluvias altas los mayores valores se registran a una profundidad de cero metros en las zonas C1 y B1 correspondientes a puntos control con  $7,01\pm 0,01$  y  $7,11\pm 0,05$  respectivamente; por el contrario, los menores valores se presentan a una profundidad de 20 metros con registros de  $6,12\pm 0,03$  y  $6,33\pm 0,03$  correspondientes a las zonas de cultivo A y su punto control A1 (Figura 48). El total de valores obtenidos por profundidad y zona de muestreo se presentan en la tabla 8.

Según el Anova, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre épocas de lluvia y zonas muestreadas, como entre profundidades (Figura 48). La prueba comparativa múltiple de Tukey, estableció diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las dos épocas de lluvias, donde la época de lluvias bajas presenta los mayores valores de pH con una media de  $7,58\pm 0,01$ , mientras que, para lluvias altas, la media presenta un valor de  $6,66\pm 0,01$ . Al igual que las épocas de lluvia, las zonas de muestreo también demuestran diferencias significativas entre sí ( $p < 0,05$ ), donde el pH más alcalino se presentan en los puntos control B1 y C1, con medias estadísticas de  $7,23\pm 0,01$  y  $7,33\pm 0,01$  respectivamente, zonas que pertenecen a la parte media y baja de la laguna; por el contrario, los pH más ácidos se presentan en las zonas de cultivo A y B en la parte alta y media de la laguna, con medias estadísticas de  $6,89\pm 0,01$  y  $6,97\pm 0,01$  respectivamente.

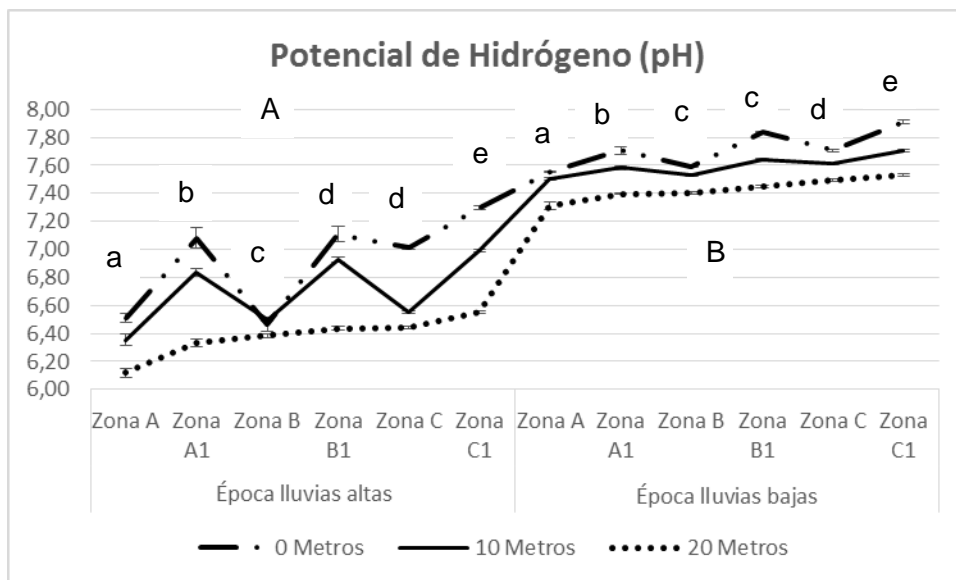
Entre el punto control A1 con una media de  $7,15\pm 0,01$  y la zona de cultivo C con  $7,13\pm 0,01$  no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ). Finalmente, en las dos épocas de estudio las tres profundidades presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), obteniendo los mayores valores de pH en la superficie con una media de  $7,31\pm 0,01$ , seguido de los 10 metros con  $7,145\pm 0,01$  y finalmente los valores de pH que más tienden a la acidez se

presentaron a los 20 metros de profundidad, con una media estadística de  $6,90 \pm 0,01$ . Los supuestos y pruebas estadísticas se muestran en el Anexo E.

**Tabla 8.** Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de potencial de hidrógeno (pH) de las zonas y profundidades de muestreo.

Potencial de Hidrógeno (pH)												
	Época lluvias altas						Época lluvias bajas					
	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
0 Metros	6,51	7,08	6,47	7,11	7,01	7,30	7,55	7,71	7,59	7,84	7,71	7,91
10 Metros	6,35	6,84	6,49	6,93	6,56	6,99	7,51	7,58	7,53	7,65	7,61	7,71
20 Metros	6,12	6,33	6,38	6,43	6,44	6,55	7,31	7,40	7,40	7,45	7,49	7,53
	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.
0 Metros	0,03	0,07	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
10 Metros	0,04	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
20 Metros	0,03	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err
0 Metros	0,011	0,024	0,017	0,018	0,004	0,004	0,002	0,008	0,002	0,002	0,002	0,005
10 Metros	0,014	0,009	0,002	0,006	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	0,002	0,002	0,003
20 Metros	0,011	0,009	0,004	0,005	0,004	0,002	0,009	0,002	0,003	0,003	0,002	0,004
	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat
0 Metros	0,50	1,00	0,77	0,74	0,18	0,17	0,09	0,32	0,08	0,08	0,09	0,18
10 Metros	0,65	0,41	0,11	0,27	0,13	0,13	0,12	0,18	0,12	0,07	0,09	0,13
20 Metros	0,54	0,45	0,18	0,23	0,16	0,11	0,36	0,07	0,12	0,10	0,09	0,16

**Figura 48.** Valores de potencial de hidrógeno (pH) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo



A y B, diferencias significativas entre épocas de lluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas



El potencial de hidrógeno pH es fundamental en los cultivos acuícolas puesto que define el nivel de acidez o basicidad del cuerpo de agua, principalmente para especies de salmónidos como la trucha, debido a que actúa como un regulador del metabolismo. Esta especie presenta sus condiciones ideales de cultivo en valores de pH entre 7 y 8, valores mayores a 9 e inferiores a 6 afectan el crecimiento de la trucha, incluso pH muy ácidos pueden generar hemorragias branquiales generando estrés y provocando altas mortalidades (FONDEPES, 2014).

Los pH más básicos se presentan en las zonas de puntos control (A1, B1 y C1), a diferencia de las zonas de cultivo (A, B y C) donde el pH se torna con mayor acidez, lo que demuestra que las producciones de trucha influyen en la variación de este parámetro siendo negativo tanto para los peces como para la ecología del lago, lo que concuerda con lo obtenido por Zhou and Boyd (2015) quienes exponen que el pH actúa como modulador del riesgo de toxicidad del amoníaco el cual es generado por los desechos metabólicos excretados por las branquias de los peces. De ahí surge la importancia de monitorear este parámetro principalmente en cultivos de trucha como los analizados en este estudio donde existe un alto confinamiento de peces por metro cúbico.

Sin embargo, los valores obtenidos en este estudio se encuentran dentro de los rangos aceptables para el cultivo de trucha (medias estadísticas entre  $6,3\pm 0,026$  y  $7,3\pm 0,017$ ), además de ser tolerables para este tipo de cuerpos de agua oligotróficos continentales cuyos rangos pueden oscilar entre 6,0 y 9,0 (Studer, 2007).

En general los de pH más bajos se presentan en todas las zonas en lluvias altas en comparación a los resultados obtenidos en lluvias bajas, esto se debe a que en la época donde llueve con mayor intensidad existe mayor escurrimiento por parte de los cultivos agrícolas y mayor aporte de los efluentes que acidifica el agua; por lo cual este comportamiento también se ve reflejado en las diferentes profundidades, donde los pH más ácidos se muestran a los 20 metros de profundidad. Burbano et al (2019), obtuvo resultados similares en su estudio sobre la influencia de los cultivos piscícolas en el Lago Guamuez, donde los pH más ácidos se presentaron en la zona de cultivo a una profundidad de 20 metros con un valor de  $7,27\pm 0,004$ .

**6.3.1.5. Dureza (mgcaCO<sub>3</sub>/L).** La dureza refleja sus mayores valores en época de lluvias bajas, cuyos topes máximos se presentan a una profundidad de 20 metros en las zonas de la empresa A, y su punto control A1 con valores de  $28,00\pm 0,00$  mgcaCO<sub>3</sub>/L y  $26,60\pm 0,00$

mgcaCO<sub>3</sub>/L respectivamente. Por el contrario, los toques mínimos se registraron a una profundidad de cero metros en las zonas correspondientes a los puntos control con valores de 23,96±0,04 mgcaCO<sub>3</sub>/L; 25,06±0,04 mgcaCO<sub>3</sub>/L y 25,82±0,02 mgcaCO<sub>3</sub>/L para C1, B1 y A1 respectivamente. De igual forma para la época de lluvias altas los valores máximos se registran a los 20 metros de profundidad en la zona de cultivo A con 26,01±0,01 mgcaCO<sub>3</sub>/L, y su punto control zona A1 con 25,05±0,02 mgcaCO<sub>3</sub>/L; mientras tanto los menores valores se presentan en la superficie en las zonas de puntos control con 24,02±0,02 mgcaCO<sub>3</sub>/L para A1; 23,71±0,01 mgcaCO<sub>3</sub>/L para B1 y 22,89±0,01 mgcaCO<sub>3</sub>/L para C1 (Figura 49). Los valores de dureza registrados para las zonas de estudio se muestran en la tabla 9.

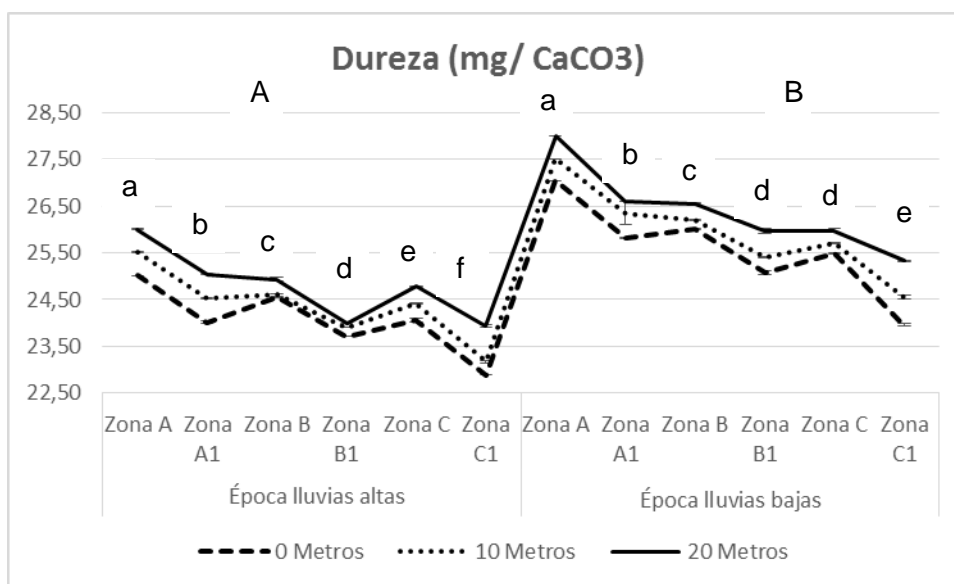
Según el Anova, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre épocas de lluvia y zonas muestreadas, como entre profundidades (Figura 49). La prueba comparativa múltiple de Tukey, estableció diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las dos épocas de lluvias, donde la época de lluvias bajas presenta los mayores valores de dureza con una media de 25,97±0,02 (mg/L), mientras que, para lluvias altas, la media presenta un valor de 24,40±0,02 (mg/L). Al igual que las épocas de lluvia, las zonas de muestreo (Cultivos y puntos control) también demuestran diferencias significativas entre sí ( $p < 0,05$ ), donde los mayores valores de dureza se presentan en las zonas de cultivo A y B, con medias estadísticas de 26,51±0,02 (mg/L) y 25,48±0,02 (mg/L) respectivamente, zonas que pertenecen a la parte alta y media de la laguna; por el contrario, los valores más bajos de dureza se presentan en las zonas B1 y C1 correspondientes a los puntos control de la parte media y alta de la laguna, con medias estadísticas de 24,67±0,02 (mg/L) y 23,99±0,02 (mg/L) respectivamente.

Entre la zona de cultivo B con una media de 25,48±0,02 (mg/L) y el punto control A1 con 25,39±0,02 (mg/L) no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ). Finalmente, en las dos épocas de estudio las tres profundidades presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), obteniendo los mayores valores de dureza a los 20 metros de profundidad con una media de 25,59±0,01 (mg/L), seguido de los 10 metros con 25,16±0,01 (mg/L) y finalmente menores valores de dureza se presentaron a los 0 metros de profundidad, con una media estadística de 24,80±0,01 (mg/L). Los supuestos y pruebas estadísticas se muestran en el Anexo F.

**Tabla 9.** Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de dureza (mg/caCO3) de las zonas y profundidades de muestreo.

Dureza (mg CaCO3/L)												
Época lluvias altas							Época lluvias bajas					
	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
0 Metros	25,01	24,02	24,56	23,71	24,06	22,89	27,04	25,82	26,02	25,06	25,50	23,96
10 Metros	25,51	24,53	24,62	23,91	24,42	23,17	27,51	26,34	26,21	25,41	25,71	24,55
20 Metros	26,01	25,05	24,94	24,00	24,78	23,95	28,00	26,60	26,55	25,96	25,98	25,32
	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.
0 Metros	0,01	0,02	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,02	0,01	0,04	0,01	0,04
10 Metros	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,25	0,01	0,01	0,01	0,03
20 Metros	0,01	0,02	0,04	0,01	0,02	0,03	0,00	0,00	0,02	0,06	0,03	0,02
	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err
0 Metros	0,003	0,006	0,003	0,003	0,014	0,004	0,004	0,006	0,004	0,014	0,005	0,013
10 Metros	0,004	0,006	0,003	0,003	0,004	0,007	0,003	0,082	0,004	0,002	0,003	0,011
20 Metros	0,004	0,006	0,015	0,002	0,006	0,009	0,000	0,002	0,005	0,020	0,011	0,007
	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat
0 Metros	0,04	0,07	0,04	0,04	0,17	0,05	0,04	0,07	0,05	0,16	0,06	0,16
10 Metros	0,05	0,08	0,03	0,03	0,05	0,09	0,03	0,93	0,04	0,03	0,04	0,14
20 Metros	0,04	0,07	0,17	0,03	0,07	0,11	0,00	0,02	0,06	0,23	0,13	0,09

**Figura 49.** Valores de dureza (mg/caCO3) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo



A y B, diferencias significativas entre épocas de lluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas

La importancia del análisis de dureza en los cuerpos de agua naturales radica en su influencia para la productividad de los ecosistemas, además que las concentraciones de compuestos minerales en especial calcio y magnesio son de fundamental importancia en las producciones acuícolas, puesto que su relación con el pH y el amoníaco debido a las

altas densidades de siembra y el alimento comercial suministrado pueden generar cambios importantes en el agua que pueden afectar el bienestar de los peces en cultivo (Wurts, 2002).

Los mayores valores de dureza se presentaron en época de lluvias bajas en las seis zonas de estudio en comparación a lluvias altas; sin embargo para las dos épocas de lluvias los valores máximos de este parámetro se obtuvieron en las zonas de cultivo A y B seguidos del punto control A1 y la zona de cultivo C, a diferencia de los puntos control cuyos valores son menores. Se debe tener en cuenta que el punto control A1 se encuentra en la parte alta de la laguna (El Motilón) y como se ha expresado anteriormente esta zona tiene mayor influencia de actividades humanas. Esto expresa que existe una afectación por parte de los cultivos de trucha a la calidad del agua. Según Boyd y colaboradores (2016) en su artículo Alcalinidad y dureza: conceptos críticos pero esquivos en acuicultura, expresan que la acuicultura genera compuestos que alteran la composición de iones metálicos bivalentes (carbonato de calcio), debido principalmente a la adición de concentrado cuyos compuestos tienen alta carga de nutrientes.

Si bien es cierto se demuestra un incremento de la dureza en los cultivos y los tope máximos obtenidos se encuentran en una media estadística para lluvias bajas de  $25,97 \pm 0,015$  mg/caCO<sub>3</sub> y de  $26,5 \pm 0,027$  mg/caCO<sub>3</sub> para la zona de cultivo A1, los valores aquí obtenidos se encuentran dentro de los aceptados para acuicultura los cuales oscilan entre 20 y 300 mg/caCO<sub>3</sub>, por lo que el Lago Guamuez se caracteriza por tener aguas blandas (Rojas, 1998). De igual forma los ecosistemas acuáticos de carácter subtropical mantienen su dureza en épocas de sequía, lo que permite fortalecer el exoesqueleto de las especies acuáticas, lo que explica los resultados obtenidos en este estudio entre las diferentes épocas (Boyd et al., 2016).

Finalmente los resultados demuestran mayores contenidos de dureza a 20 metros de profundidad en todas las zonas de estudio y en las dos épocas de lluvias, lo que permite deducir que las acumulaciones de materia orgánica en el fondo, el menor movimiento de la masa de agua y la presencia de rocas y sedimentos incrementan dichos valores (Laino et al., 2015).

**6.3.1.6. Alcalinidad (mgcaCO<sub>3</sub>/L).** Este parámetro presenta una tendencia a aumentar en época de lluvias bajas. Los valores superiores presentados para esta época se registran en la superficie en las zonas B1 y C1 correspondientes a puntos control con valores de

18,64±0,02 mgcaCO<sub>3</sub>/L y 18,81±0,00 mgcaCO<sub>3</sub>/L respectivamente. Los registros más bajos se presentan a una profundidad de 20 metros en la zona de cultivo A y su punto control A1 con valores de 17,31±0,01 mgcaCO<sub>3</sub>/L y 17,44±0,01 mgcaCO<sub>3</sub>/L respectivamente. Para la época de lluvias altas los máximos valores se presentan en la zona B1 y C1 correspondientes a puntos control con valores de 17,72±0,01 mgcaCO<sub>3</sub>/L y 17,98±0,02 mgcaCO<sub>3</sub>/L. Por el contrario los registros mínimos se reportan a una profundidad de 20 metros en las zonas A y B correspondientes a jaulas de producción, con valores de 15,96±0,03 mgcaCO<sub>3</sub>/L y 16,32±0,01 mgcaCO<sub>3</sub>/L respectivamente (Figura 50). En la tabla 10 se presenta el total de valores registrados para las épocas de lluvia, las zonas y profundidades de monitoreo.

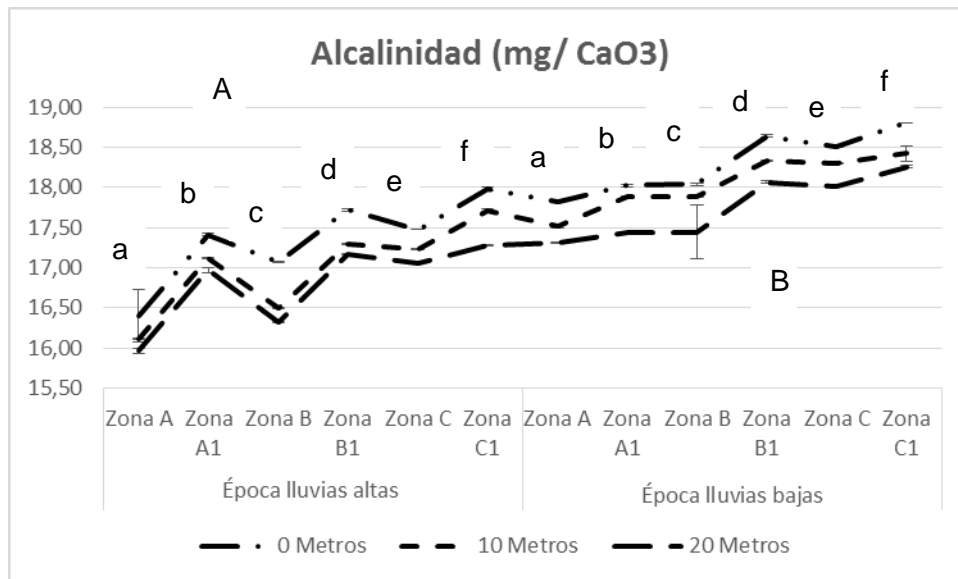
Según el Anova, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre épocas de lluvia y zonas muestreadas, como entre profundidades (Figura 50). La prueba comparativa múltiple de Tukey, estableció diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las dos épocas de lluvias, donde los mayores valores de alcalinidad se presentan en la época de lluvias bajas con una media de 18,04±0,012 mg/caCO<sub>3</sub>, mientras que en época de lluvias altas la media obtenida es de 17,04±0,012 mg/caCO<sub>3</sub>.

De igual forma se observan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre zonas de muestreo (cultivos y puntos control) en las dos épocas de estudio, donde los mayores valores de alcalinidad se presentan en los puntos control correspondientes a las zonas B1 y C1 que pertenecen a la zona media y baja de la laguna con medias estadísticas de 18,07±0,021 mg/L y 17,86±0,021 mg/caCO<sub>3</sub> respectivamente. Las zonas de cultivo A, B y C (parte alta, media y baja de la laguna) presentan los menores valores de alcalinidad en comparación a los puntos control, con medias estadísticas de 16,85±0,021 mg/caCO<sub>3</sub>; 17,20±0,021 mg/caCO<sub>3</sub> y 17,76 ±0,021 mg/caCO<sub>3</sub> respectivamente. De igual forma las tres profundidades presentan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), donde los mayores valores de alcalinidad se obtuvieron en la superficie, seguido de los 10 y 20 metros con medias estadísticas de 17,82±0,015 mg/caCO<sub>3</sub>, 17,52±0,015 mg/caCO<sub>3</sub> y 17,27±0,015 mg/caCO<sub>3</sub> respectivamente; este comportamiento se presenta tanto para lluvias altas como para la época de lluvias bajas. Los supuestos y pruebas estadísticas se muestran en el Anexo G.

**Tabla 10.** Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de alcalinidad (mg/caCO<sub>3</sub>) de las zonas y profundidades de muestreo.

Alcalinidad (mg/ CaO <sub>3</sub> )												
Época lluvias altas						Época lluvias bajas						
	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
0 Metros	16,40	17,41	17,07	17,72	17,48	17,98	17,83	18,02	18,04	18,64	18,50	18,81
10 Metros	16,11	17,12	16,50	17,29	17,23	17,71	17,52	17,88	17,89	18,33	18,30	18,43
20 Metros	15,96	16,97	16,32	17,16	17,05	17,28	17,31	17,44	17,45	18,07	18,02	18,26
	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.
0 Metros	0,33	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00
10 Metros	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10
20 Metros	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,34	0,01	0,01	0,01
	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err
0 Metros	0,110	0,003	0,004	0,005	0,002	0,007	0,004	0,003	0,005	0,006	0,003	0,002
10 Metros	0,004	0,004	0,003	0,004	0,004	0,004	0,006	0,003	0,004	0,003	0,005	0,032
20 Metros	0,011	0,010	0,004	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,112	0,005	0,004	0,003
	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat
0 Metros	2,01	0,05	0,07	0,08	0,04	0,12	0,07	0,05	0,09	0,10	0,05	0,03
10 Metros	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,10	0,05	0,07	0,05	0,08	0,52
20 Metros	0,20	0,17	0,07	0,05	0,04	0,06	0,05	0,06	1,93	0,08	0,07	0,05

**Figura 50.** Valores de alcalinidad (mg/caCO<sub>3</sub>) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo



A y B, diferencias significativas entre épocas de lluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas

La alcalinidad del agua se debe a los contenidos de carbonatos y bicarbonatos en solución, los cuales tienen la capacidad de neutralizar los ácidos. Es por ello su importancia tanto para los ecosistemas lacustres como para la producción acuícola ya que, si la alcalinidad

es baja y existe una gran cantidad de CO<sub>2</sub>, puede ocasionar lesiones en los peces y disminuye el pH a valores menores de 4 (Pardo et al., 2009).

La Alcalinidad presentó los mayores valores en época de lluvias bajas, sin embargo, a diferencia de la dureza, los picos máximos se presentaron en las zonas de puntos control (B1 y C1), a excepción del punto control A1 perteneciente a la parte alta del lago (vereda El Motilón). De igual forma la superficie (0 metros) reporta mayor alcalinidad en las seis zonas, sin embargo, los valores obtenidos se encuentran dentro de los valores aceptables en calidad de aguas.

Según Salameh y Harahsheh (2011), la intensidad de lluvias es un factor que afecta notablemente las concentraciones de bicarbonatos en los cuerpos de agua naturales, tanto por el contacto del agua de la atmosfera como por la escorrentía e infiltración de los suelos cuyas aguas aumentan la entrada de nutrientes a los ríos y lagos, provenientes de la densidad poblacional, cambios en el uso de suelo y la intensificación de la agricultura, incrementándose en consecuencia, la degradación de la calidad del agua y los procesos de eutrofización.

De igual forma los procesos acuícolas tienden a contaminar las fuentes de agua (Valenzuela et al., 2018), por lo cual valores de alcalinidad y pH tienden a bajar notoriamente. Según Nicovita (2017), alcalinidades menores a 20,43 mgCaCO<sub>3</sub>/L pueden afectar el aparato respiratorio y la pigmentación de los peces.

La alcalinidad, no sólo representa el principal sistema amortiguador del agua dulce, sino que también desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de agua naturales, sirviendo como una fuente de reserva para la fotosíntesis. Históricamente, la alcalinidad ha sido utilizada como un indicador de la productividad de lagos, donde niveles de alcalinidad altos indicarían una productividad alta y viceversa, lo que es de fundamental importancia para evitar problemas como la eutrofización en el lago Guamuez (Espinal et al., 2013).

**6.3.1.7. Turbidez (UNT).** La turbidez tiende a aumentar en la época de lluvias altas, donde los valores máximos se registran a 20 metros de profundidad en las zonas A, B y C correspondientes a zonas de cultivo, cuyos valores oscilan entre 2,02±0,01 UNT; 1,94±0,01 UNT y 1,80±0,01 UNT respectivamente, mientras tanto los valores mínimos se reportan en la superficie en las zonas A1, B1 y C1 con valores de 1,67±0,01 UNT; 1,77±0,01 UNT y 1,61±0,01 UNT respectivamente. Para la época de lluvias bajas, los valores máximos

reportados se presentan a 20 metros en la zona de cultivo A con  $1,81 \pm 0,01$  UNT y su punto control A1 con  $1,60 \pm 0,01$  UNT, mientras que los valores más bajos se reportan en la superficie en las zonas A1, B1 y C1 que corresponden a los puntos control y cuyos valores fluctúan entre  $1,59 \pm 0,01$  UNT;  $1,51 \pm 0,01$  UNT y  $1,33 \pm 0,01$  UNT respectivamente (Figura 51). El total de valores reportados para cada zona de estudio se presentan en la tabla 11.

Según el Anova, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre épocas de lluvia y zonas muestreadas, como entre profundidades (Figura 51). La prueba comparativa múltiple de Tukey, estableció diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las dos épocas de lluvias, donde los mayores valores de turbidez se presentan en la época de lluvias altas en todas las zonas de muestreo, con una media estadística de  $1,80 \pm 0,003$  UNT, por el contrario, en época de lluvias bajas la media estadística es menor con  $1,51 \pm 0,003$  UNT. Con respecto a las zonas de muestreo (cultivos y puntos control), existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) a excepción de los puntos control A1 y B1 correspondientes a la parte alta y media de la laguna ( $p > 0,05$ ). La mayor turbidez se presenta en las zonas de cultivo A y B con valores de la media de  $1,82 \pm 0,005$  UNT y  $1,71 \pm 0,005$  UNT respectivamente (parte alta y media del lago).

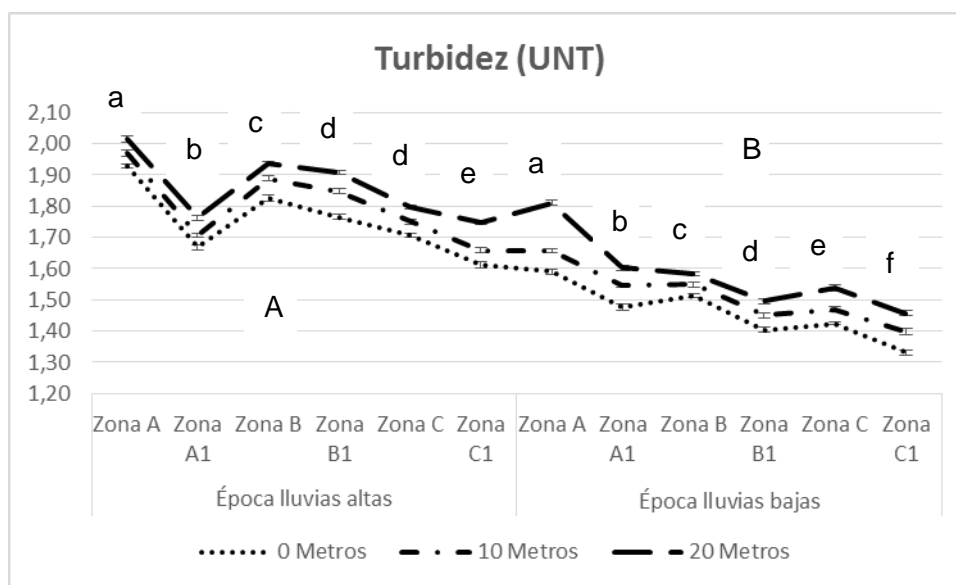
Los menores valores de este parámetro se reflejan en la parte baja de la laguna en la zona de cultivo C y su punto control C1 con medias estadísticas de  $1,61 \pm 0,005$  UNT para C y  $1,53 \pm 0,005$  UNT para C1. Finalmente, las profundidades también presentan diferencias significativas entre sí ( $P < 0,05$ ) en las dos épocas de lluvias donde la mayor turbidez se presenta a los 20 metros con una media estadística de  $1,72 \pm 0,003$  UNT, seguido de los 10 metros con  $1,65 \pm 0,003$  UNT y una media de  $1,60 \pm 0,003$  UNT en la superficie. Los supuestos y pruebas estadísticas se muestran en el Anexo H.



**Tabla 11.** Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de turbidez (UNT) de las zonas y profundidades de muestreo.

Turbidez (UNT)												
Época lluvias altas						Época lluvias bajas						
	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
0 Metros	1,93	1,67	1,83	1,77	1,71	1,61	1,59	1,48	1,51	1,40	1,42	1,33
10 Metros	1,97	1,71	1,89	1,85	1,75	1,66	1,66	1,55	1,55	1,45	1,47	1,40
20 Metros	2,02	1,76	1,94	1,91	1,80	1,75	1,81	1,60	1,58	1,50	1,54	1,46
	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.
0 Metros	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
10 Metros	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
20 Metros	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err
0 Metros	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,003
10 Metros	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,003
20 Metros	0,004	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,003	0,004	0,002
	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat
0 Metros	0,41	0,40	0,55	0,41	0,29	0,68	0,49	0,66	0,47	0,52	0,37	0,59
10 Metros	0,44	0,41	0,41	0,45	0,45	0,47	0,30	0,32	0,56	0,60	0,48	0,66
20 Metros	0,56	0,47	0,38	0,35	0,37	0,34	0,43	0,54	0,32	0,58	0,76	0,46

**Figura 51.** Valores de turbidez (UNT) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo



A y B, diferencias significativas entre épocas de lluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas

Otro de los parámetros de importancia en el cultivo de trucha arcoíris en jaulas flotantes es la turbidez del agua, la cual mide el grado en el cual el agua va perdiendo su transparencia, principalmente a causa de sólidos suspendidos, los cuales pueden estar presentes en los

lagos a causa de descarga de efluentes, erosión del suelo, fitoplancton, materia orgánica o actividades propia del cultivo (Marcó et al., 2004).

Los resultados aquí obtenidos, demuestran mayor turbidez del agua en las zonas de cultivo A y B principalmente en época de lluvias altas y por el contrario los valores más favorables para este parámetro se reflejan en los puntos control B1 y C1 en lluvias bajas; de igual forma el agua se torna más turbia a medida que la profundidad aumenta, obteniendo los mayores valores a 20 metros de profundidad en los dos periodos de estudio. Esto demuestra que la turbidez es otro de los parámetros que es afectado por los procesos acuícolas (Contreras y Polo, 2012), sin embargo, es un parámetro sensible a cualquier tipo de actividad natural como antrópica en los cuerpos de agua, por lo cual son muchos factores que la puede alterar lo que se ve reflejado en el fondo cuya interacción con el sedimento ocasiona mayores turbiedades (Caballero, 2016).

La intensidad de lluvia es un factor directamente relacionado con la turbidez del agua, puesto que aumentan los procesos aportantes de los ríos y quebradas, como el escurrimiento de cultivos y montañas y al igual que la infiltración y aumento de residuos genera turbidez en los cuerpos receptores como ríos y lagos (Ospina et al., 2016).

Como lo hemos reiterado la trucha es una especie exigente en calidad del agua, por lo cual factores como la turbidez y transparencia están estrechamente relacionados con la disponibilidad de oxígeno, niveles de pH y conductividad eléctrica, además de que a mayor turbidez mayor presencia de sólidos en suspensión, lo que puede causar serios problemas en las branquias de los animales en cultivo (Solar, 2017). De igual manera se debe tener presente que las zonas de cultivo A y B pertenecen a la parte media y alta de la laguna, por lo cual están en mayor contacto con aguas contaminadas provenientes del puerto y donde se encuentran mayores asentamientos humanos en sus veredas, mientras que el ecosistema de la parte baja del lago tiende a presentar mayor intervención de actividades humanas, razón por la cual se explica que la zona de cultivo C no presenta diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) con el punto control A1 de la parte alta (vereda El Motilón) y refleje valores de turbidez más favorables a diferencia de las otras zonas de cultivo.

**6.3.1.8. Transparencia (m).** La tendencia a registrar una mayor transparencia se presenta en época de lluvias bajas, donde los mayores valores se registraron en las zonas A1, B1 Y C1 correspondientes a los puntos control con valores de  $4,42 \pm 0,07$  m;  $4,53 \pm 0,02$  m y  $4,64 \pm 0,01$  m respectivamente. Por otra parte, los menores valores se presentan en las

zonas de cultivo A, B y C con valores promedio de  $3,83\pm 0,03$  m;  $3,91\pm 0,01$  m y  $4,00\pm 0,00$  m respectivamente. Al igual que en época de lluvias bajas, en lluvias altas, los mayores registros de transparencia se presentan en las zonas A1, B1 y C1 correspondientes a puntos control, con valores de  $4,03\pm 0,05$  m;  $4,21\pm 0,02$  y  $4,33\pm 0,02$  m respectivamente. Los menores valores de transparencia se registran en la zona A con  $3,50\pm 0,00$  m, la zona B con  $3,60\pm 0,00$  m y la zona C con  $3,71\pm 0,02$  m (Figura 52). Los resultados de transparencia para las zonas de estudio se presentan en la tabla 12.

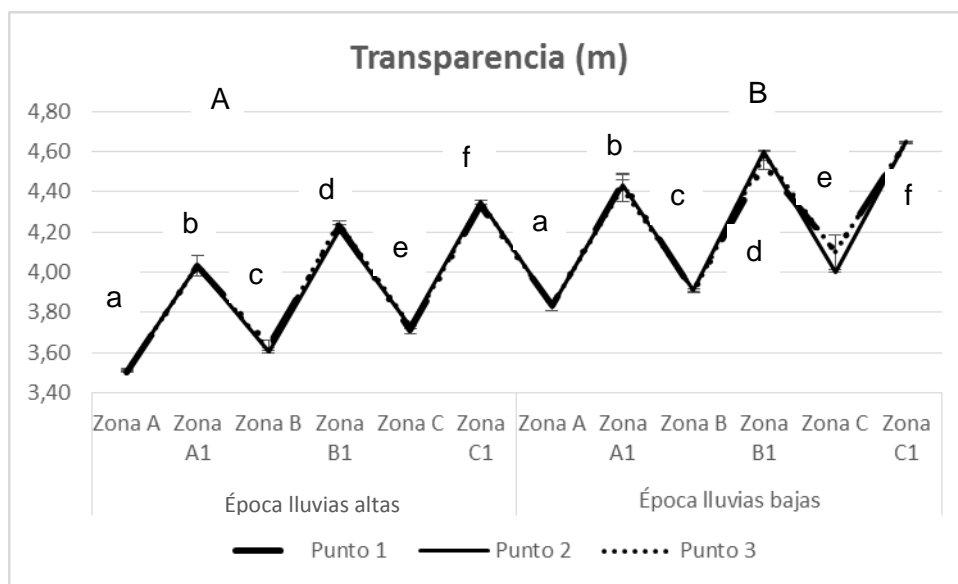
Según el Anova se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) épocas de lluvias y zonas muestreadas, sin embargo, no existen diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre profundidades, puesto que las mediciones de transparencia se realizan dependiendo de la profundidad que indique el disco Secchi (Figura 52). La prueba de comparación múltiple de Tukey permite establecer diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las dos épocas de lluvias, donde la mayor transparencia se observa en la época de lluvias bajas principalmente en las zonas de punto control, con una media estadística de  $4,24\pm 0,002$  m, por el contrario, en época de lluvias altas la media estadística es menor con  $3,90\pm 0,002$  m. Con respecto a las zonas de muestreo (cultivos y puntos control), existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre sí.

Los mayores valores de transparencia se presentan en los puntos control A1, B1 y C1 con medias estadísticas de  $4,49\pm 0,005$  m;  $4,40\pm 0,005$  m y  $4,23\pm 0,005$  m respectivamente. Por el contrario, los menores valores de este parámetro se obtuvieron en las zonas de cultivo A, B y C con valores de sus medias estadísticas de  $3,67\pm 0,005$  m para la zona A,  $3,76\pm 0,005$  m para la zona B y  $3,89\pm 0,005$  m para la zona C; este comportamiento es similar en las dos épocas de lluvia. Al tratarse de una medición insitu con el disco Secchi se manejan las profundidades que arroja el instrumento por lo cual no existen diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre esta variable para las dos épocas de lluvias, donde se obtuvieron medias estadísticas entre  $4,07\pm 0,003$  m y  $4,08\pm 0,005$  m. Los supuestos y pruebas estadísticas se muestran en el Anexo I.

**Tabla 12.** Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de transparencia (m) de las zonas de muestreo.

Transparencia (Metros)												
Época lluvias altas							Época lluvias bajas					
	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
Punto 1	3,50	4,03	3,63	4,23	3,71	4,33	3,83	4,45	3,91	4,53	4,10	4,65
Punto 2	3,51	4,03	3,60	4,21	3,73	4,35	3,83	4,43	3,91	4,60	4,00	4,65
Punto 3	3,51	4,03	3,61	4,24	3,73	4,35	3,83	4,42	3,91	4,58	4,10	4,64
	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.
Punto 1	0,00	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,01	0,02	0,09	0,01
Punto 2	0,00	0,05	0,00	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
Punto 3	0,01	0,05	0,01	0,01	0,00	0,01	0,03	0,07	0,01	0,02	0,09	0,01
	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err
Punto 1	0,002	0,017	0,008	0,008	0,007	0,008	0,008	0,014	0,003	0,008	0,029	0,002
Punto 2	0,002	0,017	0,002	0,007	0,003	0,003	0,008	0,008	0,003	0,000	0,000	0,000
Punto 3	0,002	0,017	0,005	0,003	0,002	0,003	0,008	0,022	0,003	0,008	0,029	0,002
	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat	Coeff variat
Punto 1	0,14	1,24	0,69	0,54	0,54	0,58	0,65	0,97	0,26	0,55	2,11	0,11
Punto 2	0,14	1,24	0,14	0,47	0,23	0,23	0,65	0,56	0,22	0,00	0,00	0,00
Punto 3	0,20	1,24	0,42	0,24	0,13	0,23	0,65	1,50	0,26	0,55	2,11	0,11

**Figura 52.** Valores de transparencia (m) por época de lluvias y zonas de muestreo



A y B, diferencias significativas entre épocas de lluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas

La transparencia es la relación del agua en cuanto a la absorción de luz, factores como la profundidad y partículas disueltas en el cuerpo de agua afectan notoriamente este

parámetro cuya relación es claramente estrecha con parámetros como la turbidez y la coloración. En las producciones acuícolas es un parámetro de fácil medición, sin embargo, su interpretación y análisis permiten mantener un cuerpo de agua saludable tanto para los peces en cultivo, como para el ecosistema acuático (Aragón, 2014).

Como era de esperarse se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre todas las zonas de monitoreo en las dos épocas de estudio, donde los mayores valores de transparencia se presentaron en los puntos control (A1, B1 y C1), y por el contrario la transparencia de las zonas de cultivo (A, B y C) se ve notoriamente disminuida, principalmente en época de lluvias altas. Esto demuestra el impacto que ocasionan los cultivos a la calidad del agua donde los fenómenos de absorción y dispersión de luz en el cuerpo lacustre se ven afectados, principalmente por los residuos de alimento no consumido por los peces, procesos metabólicos de los mismos y labores de limpieza, desinfección y movilización de las jaulas de cultivo (Fernández et al., 2010; López, 2014b).

De igual forma los resultados demuestran que los niveles de transparencia tanto en las jaulas de cultivo como en los puntos control van disminuyendo desde la parte alta de la laguna (vereda El Motilón) hacia la parte media y baja (veredas Santa Teresita y El Naranjal respectivamente) por lo que se puede analizar que la relación de las aguas del lago de la parte alta con las actividades turísticas, agrícolas y de los asentamientos humanos las cuales tienen mayor presencia en esta zona al igual que mayor número de cultivos acuícolas, puede ser uno de los causantes de alteración de parámetros como la turbidez y la transparencia (Corponariño, 2014).

Sin embargo, según Wheaton (1982) los valores de transparencia aquí obtenidos se encuentran dentro de los rangos aceptados en acuicultura y son característicos de cuerpos de agua subtropicales de alta montaña. De igual forma dichos resultados concuerdan con los reportados por González et al (2018), donde los valores obtenidos oscilan entre  $3,11 \pm 0,003$  m para jaulas de cultivo y  $4,84 \pm 0,041$  en zona de punto control, siendo representativos de lagos oligotróficos como el Lago Guamuez.

### **6.1.2. Parámetros fisicoquímicos en sedimentos**

Los parámetros fisicoquímicos medidos en los sedimentos bajo la influencia de los cultivos acuícolas fueron materia orgánica, fósforo total, nitrógeno total y potencial de hidrógeno (pH). Estos análisis permitirán realizar una discusión basada en los cambios

representativos de cada parámetro en los sedimentos y su incidencia en el equilibrio ecológico del Lago (Anexo J).

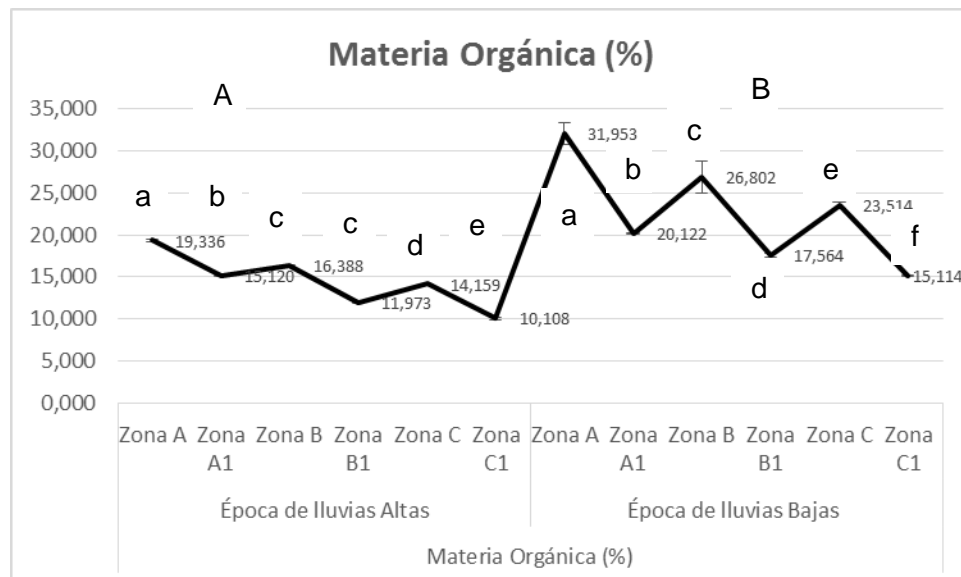
**6.3.2.1. Materia orgánica (%).** La época de lluvias bajas reporta los mayores porcentajes de materia orgánica en sedimentos, siendo las zonas A, B y C correspondientes a los cultivos acuícolas las que presentan los valores más altos, con porcentajes de  $31,953 \pm 1,30$  %;  $26,802 \pm 1,87$  % y  $23,514 \pm 0,33$  respectivamente; mientras que los menores valores se presentan en los puntos control con  $20,122 \pm 0,03$  % para A1,  $17,564 \pm 0,164$  % para B1 y  $15,114 \pm 0,09$  % para C1. De igual forma en época de lluvias altas, las zonas de cultivo representan los mayores valores, con  $19,336 \pm 0,12$  para la zona A,  $16,388 \pm 0,05$  para la zona B y  $14,150 \pm 0,05$  % para la zona C y los valores más bajos los presentan las zonas A1, B1 y C1 correspondientes a los puntos control, con valores de  $15,120 \pm 0,08$  %;  $11,973 \pm 0,05$  % y  $10,108 \pm 0,13$  % respectivamente (Figura 53). Los valores de materia orgánica por zona y época de lluvias se presentan en la tabla 13.

Según el Anova, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre épocas de lluvia y zonas muestreadas (Figura 53). La prueba de comparación múltiple de Tukey permite establecer diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las dos épocas donde los mayores valores de materia orgánica se presentan en lluvias bajas principalmente en zonas de cultivo (A, B y C), con una media estadística de  $22,51 \pm 0,228$ %, a diferencia de la época de lluvias altas donde la media estadística es de  $14,513 \pm 0,228$ %. Con respecto a las zonas de estudio, las jaulas de cultivo presentan los mayores valores de materia orgánica, con medias estadísticas de  $25,64 \pm 0,396$ % para la zona A,  $21,59 \pm 0,396$ % para la zona B y  $18,83 \pm 0,396$ % para la zona C; por el contrario los menores valores se presentan en las zonas A1, B1 y C1 correspondientes a los puntos control, con valores de la media de  $17,62 \pm 0,396$ %,  $14,76 \pm 0,396$ % y  $12,61 \pm 0,396$ % respectivamente, lo que demuestra que los mayores porcentajes de materia orgánica se presentan en la parte alta de la laguna (El Motilón) seguida de las partes media (Santa Teresita) y baja (El Naranjal) (Anexo K).

**Tabla 13.** Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de materia orgánica (%) en sedimentos de las zonas de muestreo.

Materia Orgánica (%)											
Época de llluvias Altas						Época de llluvias Bajas					
Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
19,336	15,120	16,388	11,973	14,159	10,108	31,953	20,122	26,802	17,564	23,514	15,114
Desv	Desv	Desv	Desv	Desv	Desv	Desv	Desv	Desv	Desv	Desv	Desv
0,126	0,087	0,104	0,054	0,052	0,135	1,300	0,034	1,879	0,164	0,338	0,096
Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err
0,042	0,029	0,035	0,018	0,017	0,045	0,433	0,011	0,626	0,055	0,113	0,032
Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var
0,650	0,573	0,635	0,454	0,368	1,336	4,068	0,168	7,011	0,932	1,439	0,634

**Figura 53.** Valores de materia orgánica (%) en sedimentos por época de llluvias y zonas de muestreo



A y B, diferencias significativas entre épocas de llluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas

El análisis de la materia orgánica en los sedimentos relacionados con acuicultura en jaulas flotantes es de fundamental importancia puesto que determina el estado trófico de la zona de estudio y su porcentaje enfatiza en los impactos ambientales a causa de la actividad, además de registrar en su estructura y composición los cambios de la productividad primaria, el comportamiento del oxígeno disuelto en el agua, la velocidad de sedimentación y aportes de efluentes y actividades antrópicas (Guíñez et al., 2010).

La época de llluvias bajas reporta los mayores valores de materia orgánica en sedimentos en todas las zonas de estudio (cultivos y puntos control), esto se debe a que en esta época

del año, las aguas del lago se tornan más calmadas, presentando un menor oleaje y turbulencia por lo que la materia orgánica aportada tanto por los procesos acuícolas como por otras actividades pueden presentar una mayor tasa de sedimentación, mientras que en época de lluvias intensas, los sedimentos tienden a presentar mayor remoción e interacción en la interface agua-sedimento presentando menor contenido de grupos alifáticos lábiles (Sánchez et al., 2018).

De igual forma los mayores porcentajes de materia orgánica (MO) se presentan en las jaulas de cultivo (zonas A, B y C), con un porcentaje máximo de  $25,64 \pm 0,39$  %, a diferencia de los puntos control (zonas A1, B1 y C1), cuyo mayor porcentaje de MO es de  $17,62 \pm 0,39$  %. Si comparamos entre la parte alta, media y baja de la laguna, los mayores porcentajes de MO se presentaron en la parte alta. Esto nos permite afirmar que hay un grado de influencia de los cultivos piscícolas en el aumento de materia orgánica sedimentada, al igual que la ubicación del cultivo A y su punto control A1 en la vereda El Motilón cuyas actividades humanas son más intensas y tiende a presentar un aumento notable en su porcentaje.

Según González et al (2018) quien cita a Vera y Vergara (2016) la acuicultura es una actividad que ocasiona impactos ambientales a los cuerpos de agua receptores, incrementando los porcentajes de materia orgánica, situación que se presenta principalmente por el alimento no consumido por los peces y las heces de los mismos. Por otra parte, el aumento de materia orgánica en los sedimentos de los lagos produce anoxia e hipoxia, que conllevan la disminución de la diversidad de las especies bentónicas y la predominancia de otras más tolerantes a la contaminación (Torres y Grandas, 2017).

**6.3.2.2. Fósforo total (gP/kg).** Al igual que la materia orgánica, el fósforo total presenta sus mayores valores en época de lluvias bajas, donde los registros superiores se obtuvieron en las zonas de cultivo A, B y C con valores de  $1,105 \pm 0,005$  gP/kg;  $0,949 \pm 0,004$  gP/kg y  $0,840 \pm 0,002$  gP/kg respectivamente. Por el contrario, los reportes más bajos de fósforo total se presentan en las zonas A1, B1 y C1 que corresponden a los puntos control con valores promedio de  $0,321 \pm 0,009$  gP/kg;  $0,267 \pm 0,003$  gP/kg y  $0,209 \pm 0,006$  gP/kg respectivamente. El comportamiento de los datos en época de lluvias altas es similar al de lluvias bajas, donde los valores superiores se presentan en las zonas de cultivo donde la zona A reporta un valor de  $0,793 \pm 0,004$  gP/kg; la zona B con  $0,714 \pm 0,005$  gP/kg y finalmente la zona C con  $0,673 \pm 0,002$  gP/kg. Los menores valores se presentan en las



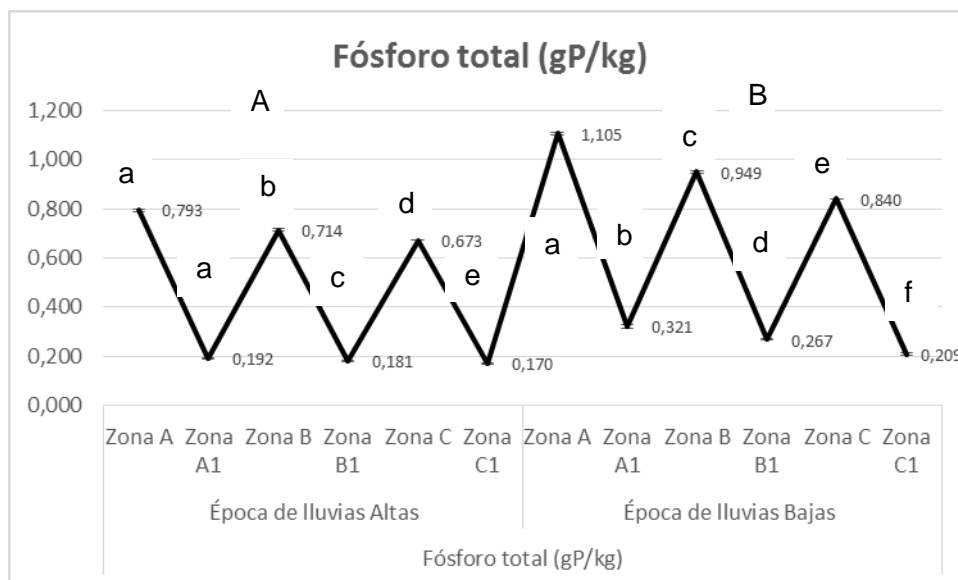
zonas A1, B1 y C1 correspondientes a los puntos control con registros de  $0,192\pm 0,002$  gP/kg;  $0,181\pm 0,001$  gP/kg y  $0,170\pm 0,002$  gP/kg respectivamente (Figura 54). Los resultados de fósforo total se presentan en la tabla 14.

Según el Anova, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre épocas de lluvia y zonas muestreadas (Figura 54). La prueba comparativa múltiple de Tukey, estableció diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las dos épocas donde los mayores valores de fósforo total se presentan en lluvias bajas principalmente en zonas de cultivo (A, B y C), con una media estadística de  $0,61\pm 0,006$  (gP/kg), a diferencia de la época de lluvias altas donde la media estadística es de  $0,45\pm 0,006$  (gP/kg). Con respecto a las zonas de estudio, las jaulas de cultivo presentan los mayores valores de fósforo total, con medias estadísticas de  $0,94\pm 0,011$  (gP/kg) para la zona A,  $0,83\pm 0,011$  (gP/kg) para la zona B y  $0,75\pm 0,011$  (gP/kg) para la zona C; por el contrario los menores valores se presentan en las zonas A1, B1 y C1 correspondientes a los puntos control, con valores de la media de  $0,25\pm 0,011$  (gP/kg),  $0,22\pm 0,011$  (gP/kg) y  $0,18\pm 0,011$  (gP/kg) respectivamente, lo que demuestra que los mayores valores de fósforo total se presentan en la parte alta de la laguna (El Motilón) seguida de las partes media (Santa Teresita) y baja (El Naranjal) (Anexo L).

**Tabla 14.** Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de fósforo total (gP/kg) en sedimentos de las zonas de muestreo.

Fósforo total (gP/kg)											
Época de lluvias Altas						Época de lluvias Bajas					
Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
0,793	0,192	0,714	0,181	0,673	0,170	1,105	0,321	0,949	0,267	0,840	0,209
<b>Desv</b>	<b>Desv</b>	<b>Desv</b>	<b>Desv</b>	<b>Desv</b>	<b>Desv</b>	<b>Desv</b>	<b>Desv</b>	<b>Desv</b>	<b>Desv</b>	<b>Desv</b>	<b>Desv</b>
0,004	0,002	0,005	0,001	0,002	0,002	0,005	0,009	0,004	0,003	0,002	0,006
<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>
<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,002</b>	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,002</b>	<b>0,003</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,002</b>
<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>
0,450	0,966	0,719	0,623	0,324	0,978	0,468	2,740	0,380	0,988	0,260	2,670

**Figura 54.** Valores de fósforo total (gP/Kg) en sedimentos por época de lluvias y zonas de muestreo



A y B, diferencias significativas entre épocas de lluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas

El fósforo tanto en agua como en sedimentos es un factor de importancia en los ecosistemas debido a su influencia en los procesos de eutrofización, además que es uno de los macronutrientes limitantes tomado como un índice de eutrofización progresiva. Por lo general este compuesto es retenido en el sedimento de los humedales con características como el del Lago Guamuez en forma de ortofosfatos tanto en procesos de adsorción como de precipitación (Quiroz et al., 2014).

El fósforo presentó sus valores más altos en época de lluvias bajas, sin embargo, si comparamos su relación entre zonas, las zonas de cultivo A, B y C, presentan un notorio incremento en las dos épocas de lluvias, mientras que los puntos control A1, B1 y C1 arrojan menores valores. Esto nos permite analizar el efecto que causan los cultivos de trucha arcoíris en el comportamiento del fósforo, donde el principal aportante radica por medio del alimento comercial suministrado, del cual solo un 70% es asimilado de forma directa por los peces, por lo que el resto se diluye en el agua o se precipita a los sedimentos (Diemer et al., 2010). Sin embargo, no se puede despreciar otro tipo de aportantes de fósforo al ecosistema tales como los detergentes utilizados para la limpieza y desinfección de las instalaciones de cultivo (González, 2018).

Según Burbano (2018) en su estudio de influencia de cultivos piscícolas en la calidad del agua del Lago Guamuez obtuvo niveles de fósforo similares a los obtenidos en esta investigación, con valores que oscilan entre  $1,03\pm 3954$  gP/kg para las zonas de cultivo y  $0,15\pm 20$  gP/kg en el punto control demostrando el impacto ambiental ocasionado por los cultivos y su relación con el incremento de fósforo en sedimentos; no obstante según Quiroz (2018) a pesar del incremento observado en las jaulas de cultivo, los valores de fósforo se mantienen dentro de los rangos aceptables para los ecosistemas lacustres como para la acuicultura que se encuentran entre un rango de 0,5 y 1,0 gP/kg.

**6.3.2.3. Nitrógeno total (gN/kg).** El Nitrógeno total presenta sus mayores valores en época de lluvias bajas, donde los registros superiores se obtuvieron en las zonas de cultivo A, B y C con valores de  $112,593\pm 0,003$  gN/kg;  $12,121\pm 0,006$  gN/kg y  $11,871\pm 0,019$  gN/kg respectivamente. Por el contrario, los reportes más bajos de nitrógeno total se presentan en las zonas A1, B1 y C1 que corresponden a los puntos control con valores promedio de  $8,472\pm 0,035$  gN/kg;  $8,122\pm 0,002$  gN/kg y  $7,941\pm 0,012$  gN/kg respectivamente. El comportamiento de los datos en época de lluvias altas es similar al de lluvias bajas, donde los valores superiores se presentan en las zonas de cultivo donde la zona A reporta un valor de  $11,046\pm 0,008$  gN/kg; la zona B con  $10,701\pm 0,005$  gN/kg y finalmente la zona C con  $10,206\pm 0,005$  gN/kg. Los menores valores se presentan en las zonas A1, B1 y C1 correspondientes a los puntos control con registros de  $6,754\pm 0,003$  gN/kg;  $6,461\pm 134$  gN/kg y  $6,066\pm 0,035$  gN/kg respectivamente (Figura 55). Los resultados de nitrógeno total se presentan en la tabla 15.

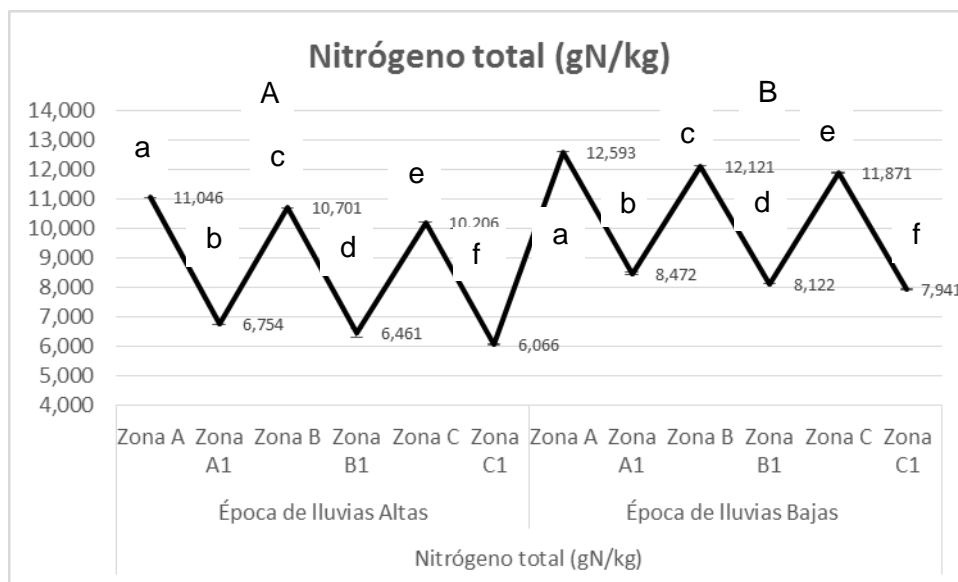
Según el Anova, se encontraron diferencias significativas ( $p<0,05$ ) entre épocas de lluvia y zonas muestreadas (Figura 55). La prueba comparativa múltiple de Tukey, estableció diferencias significativas ( $p<0,05$ ) entre épocas de lluvia, donde la época de lluvias bajas presenta mayores valores tanto en las zonas de cultivo como en los puntos control, donde la media estadística es de  $10,18\pm 0,011$  (gN/kg), mientras que para lluvias altas la media es de  $8,53\pm 0,011$  (gN/kg). De igual forma se presentan diferencias significativas ( $p<0,05$ ) entre todas las zonas de estudio para las dos épocas, donde los mayores valores de nitrógeno total se presentaron en las zonas de cultivo A, B y C con medias estadísticas de  $11,81\pm 0,019$  (gN/kg),  $11,41\pm 0,011$  (gN/kg) y  $11,03\pm 0,011$  (gN/kg) respectivamente. Los menores valores de este parámetro medido en sedimentos se presentaron en los puntos control de las tres empresas de cultivo (parte alta, media y baja de la laguna) con medias

estadísticas de  $7,61 \pm 0,011$  (gN/kg) para A1,  $7,29 \pm 0,011$  (gN/kg) para B1 y  $7,00 \pm 0,011$  (gN/kg) para C1. Los supuestos y pruebas estadísticas se presentan en el Anexo M.

**Tabla 15.** Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de nitrógeno total (gN/kg) en sedimentos de las zonas de muestreo.

Nitrógeno total (gN/kg)											
Época de lluvias Altas						Época de lluvias Bajas					
Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
11,046	6,754	10,701	6,461	10,206	6,066	12,593	8,472	12,121	8,122	11,871	7,941
<b>Desv</b>	<b>Desv</b>	<b>Desv</b>	<b>Desv</b>	<b>Desv</b>	<b>Desv</b>	<b>Desv</b>	<b>Desv</b>	<b>Desv</b>	<b>Desv</b>	<b>Desv</b>	<b>Desv</b>
0,008	0,003	0,005	0,134	0,005	0,035	0,003	0,035	0,006	0,002	0,019	0,012
<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>	<b>Stand Err</b>
0,003	0,001	0,002	0,045	0,002	0,012	0,001	0,012	0,002	0,001	0,006	0,004
<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>	<b>Coeff var</b>
0,072	0,046	0,043	2,069	0,049	0,583	0,021	0,409	0,054	0,030	0,160	0,145

**Figura 55.** Valores de nitrógeno total (gN/Kg) en sedimentos por época de lluvias y zonas de muestreo



A y B, diferencias significativas entre épocas de lluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas

Es de vital importancia para la esquematización biológica y química de los lagos conocer el comportamiento del nitrógeno presente en los sedimentos ya sea de carácter alóctono o autóctono, puesto que la regulación de su ciclo define la presencia de comunidades

bentónicas, al igual que su presencia y concentración tanto en los sedimentos como en la columna del agua, nos permite conocer el estado trófico del lago y su relación con los procesos acuícolas (Solano, 2005).

En el presente estudio tanto épocas como zonas de monitoreo presentaron diferencias significativas entre sí ( $P < 0,05$ ), donde el mayor contenido de nitrógeno en sedimentos se presentó en lluvias bajas en las zonas de cultivo (A, B y C) y por el contrario los puntos control (A1, B1 y C1) presentan menores valor, comportamiento que también se ve reflejado en época de lluvias altas.

Al igual que se ha descrito en parámetros anteriores analizados en sedimentos, al presentarse menor precipitación de lluvias, las aguas confinadas del Lago tienden a presentar menor turbulencia y agitación, por lo que la concentración de nitrógeno en sedimentos permanece un poco más estable, por lo que al momento de realizar las mediciones sus valores se tornan mayores en comparación a la temporada de lluvias altas (Sánchez et al., 2018). En ese sentido el análisis estadístico demuestra una clara afectación del contenido de nitrógeno en el sedimento a causa de los cultivos piscícolas, ya que al igual que el fósforo, el nitrógeno es introducido principalmente por el suministro de concentrado balanceado, al igual que los desechos metabólicos de los peces en cultivo (Burbano, 2018).

Si realizamos un análisis del comportamiento de las concentraciones de fósforo y nitrógeno tanto en la parte alta como media y baja del lago, los valores tanto de las zonas de cultivo como los puntos control son mayores en la parte alta (vereda El Motilón) y disminuyen proporcionalmente (veredas Santa Teresita y El Naranjal). Según López y Salas (2013) y Corponariño (2014), el mayor número de asentamientos humanos, actividades agrícolas, el casco urbano del corregimiento de El Encano y el puerto turístico son factores que aportan cargas contaminantes que contribuyen a la contaminación del lago, principalmente en la parte alta del mismo.

González (2015), expone que los sedimentos expuestos a cultivos de trucha arcoíris, presentan valores promedio de nitrógeno de 5 gN/Kg, siendo menores a los obtenidos en este estudio donde el mayor valor obtenido fue de  $11,81 \pm 0,019$  gN/Kg para zona de cultivo A en época de lluvias bajas y el menor de  $6,06 \pm 0,018$  gN/Kg en lluvias altas para el punto control C1; de igual forma Burbano (2018) reporta valores de nitrógeno total en sedimentos del lago Guamuez entre  $11,5 \pm 0,14$  gN/Kg para zona de cultivo intensivo y  $6,59 \pm 0,24$

gN/Kg en punto control. Estos valores son tolerables para el ecosistema, sin embargo, se debe prestar atención a su incremento ya que el nitrógeno en altas concentraciones es tóxico para los peces.

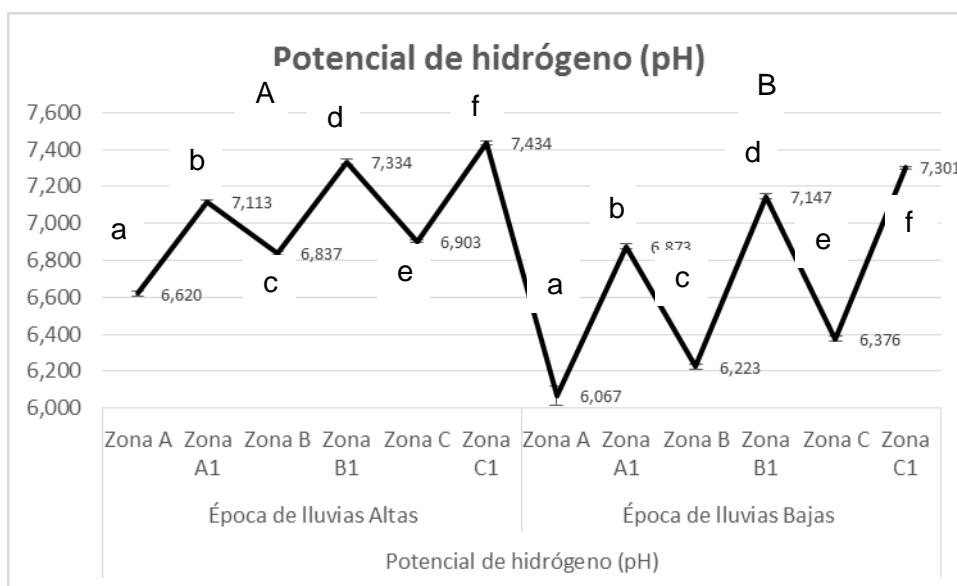
**6.3.2.4. Potencial hidrógeno (pH).** En época de lluvias altas los valores de pH se tornan mayores y principalmente en los puntos control, donde la zona A1 reporta un valor de  $7,113 \pm 0,012$ , la zona B1 con  $7,334 \pm 0,011$  y la zona C1 con un valor de 7,434. Por el contrario, los valores de mayor acidez se reportan en los sedimentos bajo las zonas de cultivo donde la zona A presenta un valor de  $6,620 \pm 0,013$ , la zona B con un valor de  $6,837 \pm 0,010$  y la zona C con  $6,903 \pm 0,007$ . Este comportamiento es similar en época de lluvias bajas donde los puntos control presentan valores de pH más alcalinos que en las zonas de cultivo donde la zona A1 presenta un valor de  $6,873 \pm 0,014$ ;  $7,147 \pm 0,014$  para B1 y  $7,301 \pm 0,006$  para C1. Finalmente, las zonas de cultivos A, B y C presentan valores de  $6,067 \pm 0,050$ ;  $6,223 \pm 0,016$  y  $6,376 \pm 0,016$  respectivamente (Figura 56). Los valores registrados para cada zona de estudio se presentan en la tabla 16.

Según el Anova, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre épocas de lluvia y zonas muestreadas (Figura 56). La prueba comparativa múltiple de Tukey, estableció diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre épocas de lluvia, donde la época de lluvias altas presenta mayores valores de pH tanto en las zonas de cultivo como en los puntos control, donde la media estadística es de  $7,04 \pm 0,013$ , mientras que para lluvias bajas la media es de  $6,66 \pm 0,013$ . De igual forma se presentan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre todas las zonas de estudio para las dos épocas, donde los mayores valores de pH se presentaron en las zonas de punto control A1, B1 y C1 con medias estadísticas de  $6,99 \pm 0,024$ ;  $7,24 \pm 0,024$  y  $7,36 \pm 0,024$  respectivamente. Los menores valores de pH medido en sedimentos se presentaron en las zonas de cultivo (parte alta, media y baja de la laguna) con medias estadísticas de  $6,34 \pm 0,024$  para A1,  $6,53 \pm 0,024$  para B1 y  $6,63 \pm 0,024$  para C1, demostrando que el pH se torna con mayor acidez en las zonas de cultivo. Los supuestos y medias estadísticas se presentan en el Anexo N.

**Tabla 16.** Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación del potencial de hidrógeno (pH) en sedimentos de las zonas de muestreo.

Potencial de hidrógeno (pH)											
Época de llluvias Altas						Época de llluvias Bajas					
Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
6,620	7,113	6,837	7,334	6,903	7,434	6,067	6,873	6,223	7,147	6,376	7,301
Desv	Desv	Desv	Desv	Desv	Desv	Desv	Desv	Desv	Desv	Desv	Desv
0,013	0,012	0,010	0,011	0,007	0,011	0,050	0,014	0,016	0,014	0,016	0,006
Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err
0,004	0,004	0,003	0,004	0,002	0,004	0,017	0,005	0,005	0,005	0,005	0,002
Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var
0,200	0,172	0,146	0,154	0,102	0,152	0,824	0,206	0,254	0,198	0,249	0,082

**Figura 56.** Valores de potencial de hidrógeno (pH) en sedimentos por época de llluvias y zonas de muestreo



A y B, diferencias significativas entre épocas de lluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas

Al igual que en el agua, el pH en sedimentos mide el grado de acidez de los mismos, su importancia radica en su estrecha relación con el compartamiento del nitrógeno y fósforo, donde este ultimo en condiciones de anoxia es liberado rápidamente hacia la columna de agua y se presenta una disminución importante del pH, lo que afecta a las comunidades de algas, bacterias y macroinvertebrados presentes en los sedimentos y quienes hacen el

papel de bioindicadores de la calidad del agua (Peralta y Leon, 2006; De Anda y Maniak, 2007).

Los resultados de este estudio demuestran que, en temporada de lluvias altas, el pH se torna más alcalino en las seis zonas de monitoreo (jaulas de cultivo y puntos control), a comparación de la época de lluvias bajas cuyos pH se tornan con mayor acidez, al igual que las concentraciones de nitrógeno y fósforo también son mayores. De igual forma las zonas de cultivo A, B y C presentan los valores de pH más bajos y a su vez los puntos control A1, B1 y C1, arrojan resultados de pH mucho más alcalinos, comportamiento que es similar entre zonas para las dos épocas de lluvia.

Sin duda alguna se enfatiza en los efectos negativos que causan las producciones de trucha arcoíris en jaulas flotantes a la calidad del agua y los sedimentos circundantes, donde el pH no es ajeno a esta situación (Vázquez et al., 2016), y donde los aportes de los cultivos como el concentrado comercial, las heces de los peces, sus desechos metabólicos, productos químicos y farmacéuticos son el principal factor de alteración de este parámetro (Yossa et al., 2012)

No obstante los valores estadísticos aquí obtenidos tanto en cultivos ( $6,06 \pm 0,007$ ) como en puntos control ( $7,36 \pm 0,024$ ), se asemejan a los reportados por Arias y Ramírez (2009) en su estudio de los sedimentos del embalse tropical La Fe, donde obtuvieron valores de pH en sedimentos entre 6,57 y 6,58 en zonas con presencia de macrófitas, y los cuales son característicos de ecosistemas lacustres de alta montaña, al igual que los obtenidos por Hernandez (2009) en su estudio de sedimentos obtenidos en estanques piscícolas los cuales oscilan entre  $5,74 \pm 0,16$  y  $7,14 \pm 0,10$ .

#### **6.4. OBJETIVO ESPECÍFICO 4. Determinación del grado de contaminación en las zonas de estudio por medio de la cuantificación de nutrientes aportados por los procesos acuícolas.**

Los nutrientes medidos en la columna del agua a profundidades de 0, 10 y 20 metros fueron el nitrógeno total y fósforo total, al igual que se midió DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos suspendidos y sólidos disueltos. Estos análisis permitirán realizar una discusión sobre la alteración de la calidad del agua que causan los cultivos piscícolas y sus procesos productivos en el Lago Guamuez (Anexo Ñ).



**6.4.1. Nitrógeno total (mgN/L).** Los valores de nitrógeno total se tornan mayores en época de lluvias altas, principalmente a una profundidad de 20 metros y en la zona A con un valor de  $0,210 \pm 0,000$  mgN/L, seguido de la zona B con  $0,180 \pm 0,000$  mgN/L y zona A a cero metros con el mismo valor, dichas zonas pertenecen a las jaulas de cultivo. Los menores valores se presentan en la zona C1 en sus tres profundidades de 0, 10 y 20 metros con valores de  $0,140 \pm 0,000$  mgN/L;  $0,150 \pm 0,000$  mgN/L y  $0,160 \pm 0,000$  mgN/L respectivamente. En época de lluvias bajas los toques máximos de nitrógeno total los reporta la zona A en sus tres profundidades, con un valor de  $0,173 \pm 0,006$  mgN/L en la superficie,  $0,177 \pm 0,006$  mgN/L en 10 metros y  $0,187 \pm 0,006$  mgN/L a una profundidad de 20 metros. Los menores registros se obtuvieron en la zona C1 en sus tres profundidades (0,10 y 20 metros) con valores de  $0,120 \pm 0,000$  mgN/L,  $0,130 \pm 0,000$  mgN/L y  $0,140 \pm 0,000$  mgN/L respectivamente (Figura 57). Los valores registrados para cada zona de estudio se presentan en la tabla 17.

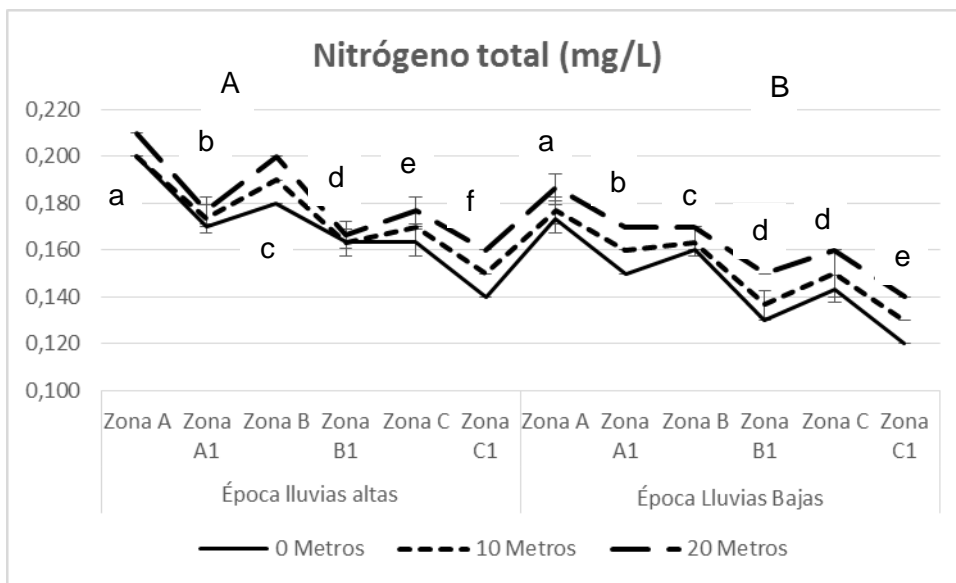
Según el Anova, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre épocas de lluvia y zonas muestreadas, como entre profundidades (Figura 57). La prueba comparativa múltiple de Tukey, estableció diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las dos épocas de lluvias, donde los mayores valores de nitrógeno total se presentan en la época de lluvias altas en zonas de cultivo con una media de  $0,17 \pm 0,0006$  mgN/L, mientras que en época de lluvias bajas la media obtenida es de  $0,15 \pm 0,0006$  mgN/L. De igual forma se observan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre zonas de muestreo (cultivos y puntos control), donde los mayores valores de nitrógeno total se presentan en las zonas de cultivo A y B correspondientes a la parte alta y media de la laguna (veredas El Motilón y Santa Teresita), con medias estadísticas de  $0,19 \pm 0,001$  mgN/L para la zona A y  $0,17 \pm 0,001$  mgN/L para B.

Los menores valores de nitrógeno total fueron obtenidos en la parte media y baja de la laguna (Veredas Santa Teresita y Naranjal), en los puntos control B1 y C1 con medias de  $0,15 \pm 0,001$  mgN/L y  $0,14 \pm 0,001$  mgN/L respectivamente. Con respecto a las profundidades, se demuestra diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los 0, 10 y 20 metros para las dos épocas de lluvias tanto para las zonas de cultivo como para los puntos control, donde los mayores valores de nitrógeno total se presentan a una profundidad de 20 metros con media estadística de  $0,17 \pm 0,0007$  mgN/L, seguido de los 10 metros con  $0,16 \pm 0,0007$  mgN/L y finalmente a 0 metros con una media estadística de  $0,15 \pm 0,0007$  mgN/L. Los supuestos y pruebas estadísticas se muestran en el Anexo O.

**Tabla 17.** Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de nitrógeno total (mgN/L) en sedimentos de las zonas de muestreo.

Nitrógeno total (mgN/L)												
Época Lluvias Altas							Época Lluvias Bajas					
	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
0 Metros	0,200	0,170	0,180	0,163	0,163	0,140	0,173	0,150	0,160	0,130	0,143	0,120
10 Metros	0,200	0,173	0,190	0,163	0,170	0,150	0,177	0,160	0,163	0,137	0,150	0,130
20 Metros	0,210	0,177	0,200	0,167	0,177	0,160	0,187	0,170	0,170	0,150	0,160	0,140
	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.
0 Metros	0,000	0,000	0,000	0,006	0,006	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000
10 Metros	0,000	0,006	0,000	0,006	0,000	0,000	0,006	0,000	0,006	0,006	0,010	0,000
20 Metros	0,000	0,006	0,000	0,006	0,006	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err
0 Metros	0,000	0,000	0,000	0,004	0,004	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000
10 Metros	0,000	0,004	0,000	0,004	0,000	0,000	0,004	0,000	0,004	0,004	0,007	0,000
20 Metros	0,000	0,004	0,000	0,004	0,004	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var
0 Metros	0,000	0,000	0,000	3,535	3,535	0,000	3,331	0,000	0,000	0,000	4,028	0,000
10 Metros	0,000	3,331	0,000	3,535	0,000	0,000	3,268	0,000	3,535	4,225	6,667	0,000
20 Metros	0,000	3,268	0,000	3,464	3,268	0,000	3,093	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

**Figura 57.** Valores de nitrógeno total (mg/L) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo



A y B, diferencias significativas entre épocas de lluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas

El nitrógeno total es una medida que abarca todos los compuestos nitrogenados (nitritos, nitratos, nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal) que se encuentran presentes en el agua. El nitrógeno es un nutriente de vital importancia para el crecimiento y proliferación

de plantas acuáticas y algas, por lo que su análisis en acuicultura es fundamental debido a los desechos y residuos que se ocasionan principalmente por el alimento comercial suministrado, cuya composición está representada por un 42% de proteína, 6%-12% de grasa, 22%-28% de carbohidratos, 1,00% de fósforo y 10,02% de nitrógeno; lo que permite determinar y prevenir fenómenos como la eutrofización de los ecosistemas acuáticos y la intoxicación de los peces en cultivo (Hoyos, 2001; Luna et al, 2019).

Los resultados demuestran que la época de lluvias altas arrojó los mayores valores de nitrógeno total en todas sus zonas de muestreo, sin embargo, mediante la comparación entre zonas, las unidades de cultivo (A, B y C) arrojan los mayores contenidos de nitrógeno en las dos épocas lluvias (altas y bajas), mientras que los puntos control (A1, B1 y C1) demuestran menores valores. De igual forma la comparación entre profundidades, permite observar que a medida que aumenta la profundidad aumenta el contenido de nitrógeno, donde los mayores valores de este parámetro se obtuvieron a 20 metros de profundidad en la columna del agua en las dos épocas de lluvia y en todas las zonas de muestreo.

Estos resultados permiten observar que los procesos piscícolas influyen en la variación del nitrógeno, lo que concuerda con Torres et al (2015) quien cita a Kaushik (2000), y exponen que la densidad de siembra en un cultivo piscícola es un factor primordial en la generación de nitrógeno por medio de las heces de los peces quienes lo excretan en forma de nitrógeno amoniacal total NAT, que representa del 70% al 95% del nitrógeno total excretado. Bartholomew y Clark (1965) descubrieron que el agua lluvia también es un factor que aporta cantidades mínimas de nitrógeno a los cuerpos de agua natural, el cual se disuelve con el ya existente sin precipitarse al fondo, sobre todo en sistemas lénticos como el Lago Guamuez, lo que contribuye a mantener el equilibrio en el ecosistema, hipótesis que fue confirmada por Andrade et al (1991).

Si bien es cierto gran cantidad de nitrógeno total aportado por los cultivos se encuentra disuelto en la columna del agua, al realizarse el ciclo del nitrógeno, una parte es precipitada al fondo donde ocurren procesos de descomposición de materia orgánica liberando amonio donde actúan las bacterias nitrificantes (*Nitrosomonas* y *Nitrobacter*), por lo que a mayor profundidad los valores tienden a aumentar, lo que se ve reflejado en cambios y alteraciones de la cadena trófica (Jiménez, 2008).

**6.4.2. Fósforo total (mgP/L).** Al igual que el nitrógeno total, la época de lluvias altas presenta los mayores registros con respecto a las mediciones de fósforo total. Los valores máximos se presentan en las en la zona A correspondiente a las jaulas de producción con valores de  $0,060 \pm 0,000$  mgP/L a cero metros,  $0,065 \pm 0,000$  mgP/L a una profundidad de 10 metros y  $0,070 \pm 0,000$  mgP/L a los 20 metros de profundidad. Por el contrario, los menores valores se presentan en los puntos control; en la zona C1 a cero metros con  $0,030 \pm 0,000$  mgP/L y en la zona A1 con un valor de  $0,040 \pm 0,000$  mgP/L para sus tres profundidades (0,10 y 20 metros). Para la época de lluvias bajas los mayores valores se registran en la zona A correspondiente a jaulas de cultivo con  $0,030 \pm 0,001$  mgP/L;  $0,036 \pm 0,001$  mgP/L y  $0,040 \pm 0,000$  mgP/L para los 0, 10 y 20 metros de profundidad respectivamente. Los toques mínimos de fósforo total se presentan en el punto control o zona C1 con valores de  $0,010 \pm 0,000$  mgP/L;  $0,010 \pm 0,000$  mgP/L y  $0,015 \pm 0,001$  mgP/L para los 0, 10 y 20 metros (Figura 58). Los valores obtenidos de fósforo total se muestran en la tabla 18.

Según el Anova, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre épocas de lluvia y zonas muestreadas, como entre profundidades (Figura 58). La prueba comparativa múltiple de Tukey, estableció diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las dos épocas de lluvias, donde los mayores valores de fósforo total se presentan en la época de lluvias altas principalmente en las zonas de cultivo, con una media estadística de  $0,04 \pm 0,0005$  mgP/L, por el contrario, en época de lluvias bajas la media estadística es menor con  $0,02 \pm 0,0005$  mgP/L. Con respecto a las zonas de muestreo (cultivos y puntos control), existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) a excepción de las zonas A1 y C correspondientes al punto control de la parte alta y a la zona de cultivo de la parte media de la laguna correspondientes a las veredas El Motilón y Naranjal ( $p > 0,05$ ).

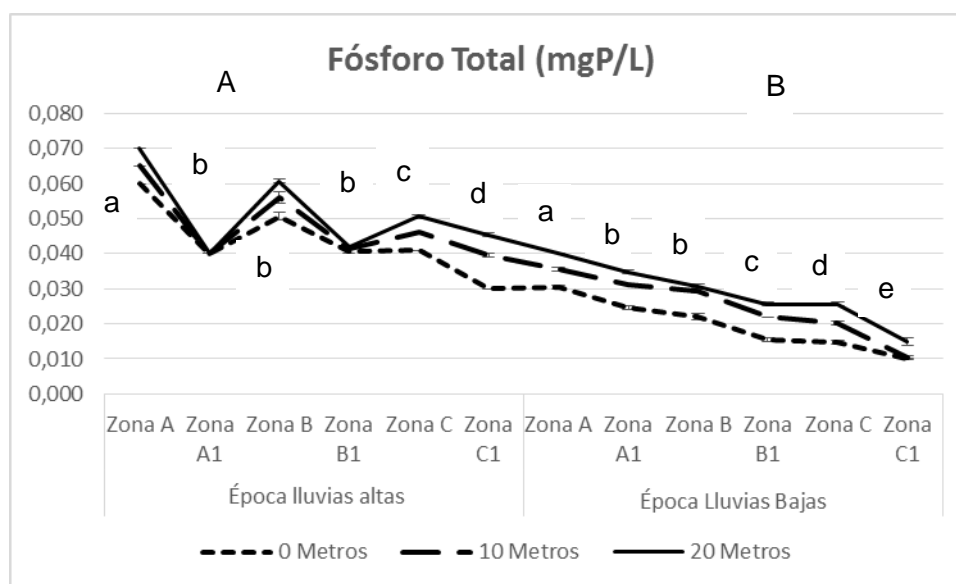
Los mayores valores de fósforo total se presentan en las zonas de cultivo A y B con valores de la media de  $0,050 \pm 0,0009$  mgP/L y  $0,041 \pm 0,0009$  mgP/L respectivamente (parte alta y media del lago). Los menores valores de este parámetro se reflejan en la parte media y baja de la laguna en los puntos control B1 y C1 con medias estadísticas de  $0,03 \pm 0,0009$  mgP/L para B1 y  $0,02 \pm 0,0009$  mgP/L para C1. Finalmente, las profundidades también presentan diferencias significativas entre sí ( $p < 0,05$ ) en las dos épocas de lluvias donde el mayor contenido de fósforo se presenta a los 20 metros con una media estadística de  $0,04 \pm 0,0006$  mgP/L, seguido de los 10 metros con  $0,03 \pm 0,0009$  mgP/L y

una media de  $0,03 \pm 0,0006$  mgP/L en la superficie. Los supuestos y pruebas estadísticas se muestran en el Anexo P.

**Tabla 18.** Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de fósforo total (mgP/L) en sedimentos de las zonas de muestreo.

Fósforo Total (mgP/L)												
	Época Lluvias Altas						Época Lluvias Bajas					
	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
0 Metros	0,060	0,040	0,051	0,041	0,041	0,030	0,030	0,025	0,022	0,015	0,015	0,010
10 Metros	0,065	0,040	0,056	0,042	0,046	0,040	0,036	0,031	0,029	0,022	0,020	0,010
20 Metros	0,070	0,040	0,061	0,042	0,051	0,045	0,040	0,035	0,031	0,026	0,026	0,015
	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.
0 Metros	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000
10 Metros	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001
20 Metros	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err
0 Metros	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
10 Metros	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
20 Metros	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var	Coeff var
0 Metros	0,000	0,000	2,279	1,420	0,000	0,000	1,903	2,341	4,545	3,765	3,936	0,000
10 Metros	0,000	0,000	3,093	0,139	0,000	1,456	1,619	0,000	1,968	0,000	2,839	5,587
20 Metros	0,000	0,000	0,952	0,000	1,140	1,274	0,000	1,665	1,883	2,249	2,249	6,667

**Figura 58.** Valores de fósforo total (mgP/L) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo



A y B, diferencias significativas entre épocas de lluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas

El estudio del fósforo en ecosistemas acuáticos como en acuicultura permite establecer el grado de vulnerabilidad del agroecosistema a procesos de eutrofización

puesto que es un elemento limitante en el estado trófico. El fósforo en aguas naturales y residuales está presente en forma particulada orgánica e inorgánica y disuelta en menores cantidades, proveniente principalmente de actividades humanas con el uso de detergentes y fertilizantes que mediante la descomposición de la materia orgánica provoca una reducción de oxígeno (Arocena 2015) afectando al medio y a los animales en cultivo.

Los mayores valores de fósforo obtenidos en este estudio se presentan en época de lluvias altas, principalmente en las zonas de cultivo A y B, mientras que los menores valores se obtuvieron en los puntos control B1 y C1; por el contrario, en lluvias bajas los mayores valores se obtuvieron en la zona de cultivo A y su punto control A1, seguido por B y B1 y finalmente las zonas C y C1. Para las dos épocas de lluvia como para las zonas de cultivo y puntos control el mayor contenido de fósforo total se presentó a 20 metros de profundidad.

Según Ramírez et al (2009) y Arocena (2015), las actividades humanas en las que se enmarcan procesos domésticos, agrícolas e industriales son las principales aportantes de nutrientes a los cuerpos de agua, entre ellos el fósforo y nitrógeno, por ello podemos observar que los niveles de fósforo en el Lago Guamuez son mayores en las zonas A y A1 de la parte alta, donde las actividades antrópicas se presentan en mayor magnitud y va disminuyendo en las zonas de muestreo de la parte media y baja. Si bien es cierto se refleja las mayores concentraciones de este parámetro en las jaulas de cultivo, su incremento puede deberse también a las cargas contaminantes aportadas por las demás actividades sociales y económicas (Bispo et al., 2015) desarrolladas en estas zonas del lago.

De igual forma la adición de concentrado, productos farmacéuticos y de desinfección, el aumento de lluvias como el factor profundidad, aumentan los niveles de fósforo presente en la columna del agua de las zonas muestreadas en el lago, permitiendo observar que existe un proceso de deterioro del agua del lago por el incremento en las concentraciones de fósforo total (Lazzari y Baldisserotto, 2008; Mariano, 2010).

**6.4.3. Demanda biológica de oxígeno DBO<sub>5</sub> (mgO<sub>2</sub>/L).** La demanda biológica de oxígeno presenta los valores más altos en época de lluvias bajas, donde la zona A correspondiente a jaulas de cultivo registra los mayores valores en sus tres profundidades (0, 10 y 20 metros) con registros de 10,200±0,000 mgO<sub>2</sub>/L para cero

metros,  $10,260 \pm 0,000$  mgO<sub>2</sub>/L para 10 metros y  $10,407 \pm 0,006$  mgO<sub>2</sub>/L en 20 metros de profundidad. Por otra parte, los menores valores se registran en los puntos control, principalmente en la zona C1 con valores de  $7,110 \pm 0,010$  mgO<sub>2</sub>/L en la superficie,  $7,210 \pm 0,010$  mgO<sub>2</sub>/L a una profundidad de 10 metros y  $7,307 \pm 0,006$  mgO<sub>2</sub>/L para 20 metros.

Este comportamiento se presenta de igual forma en época de lluvias altas, donde la zona de cultivo A presenta los mayores valores en sus tres profundidades 0, 10 y 20 metros con registros de  $7,257 \pm 0,006$  mgO<sub>2</sub>/L,  $7,517 \pm 0,015$  mgO<sub>2</sub>/L y  $7,700 \pm 0,000$  mgO<sub>2</sub>/L respectivamente. Finalmente, los valores más bajos se presentaron en las zonas B1 a los cero metros y C1 a los 20 metros de profundidad, con  $5,550 \pm 0,000$  mgO<sub>2</sub>/L y  $5,367 \pm 0,231$  mgO<sub>2</sub>/L respectivamente (Figura 59). En la tabla 19, se registran los valores obtenidos para DBO<sub>5</sub> en las zonas de muestreo.

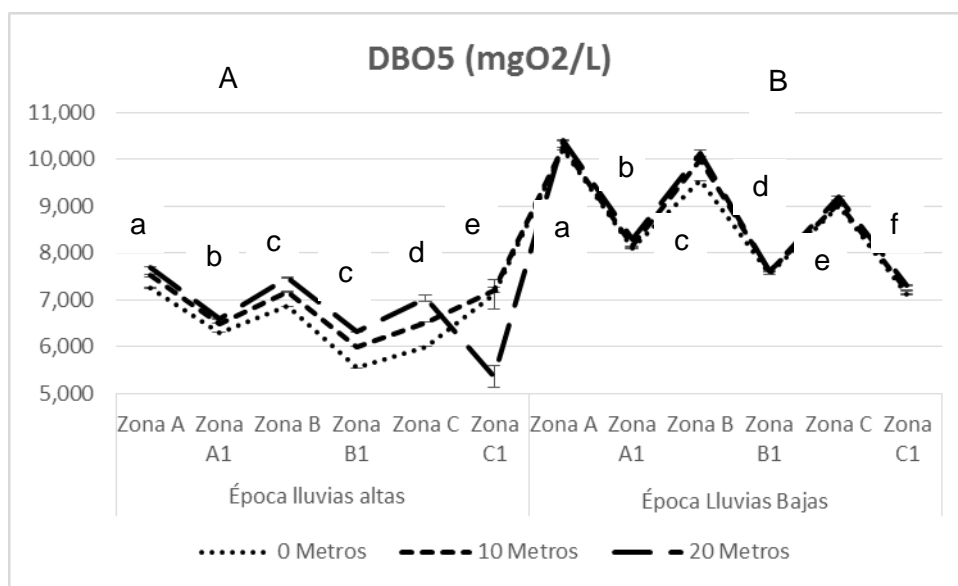
Según el Anova, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre épocas de lluvia y zonas muestreadas, como entre profundidades (Figura 59). La prueba comparativa múltiple de Tukey, estableció diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las dos épocas de lluvias, donde los mayores valores de DBO<sub>5</sub> se presentan en la época de lluvias bajas principalmente en las zonas de cultivo, con una media estadística de  $8,70 \pm 0,03$  mgO<sub>2</sub>/L, por el contrario, en época de lluvias altas la media estadística es menor con  $6,46 \pm 0,03$  mgO<sub>2</sub>/L. Con respecto a las zonas de muestreo (cultivos y puntos control), existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las seis zonas, tanto en época de lluvias altas como en bajas. Los mayores valores de DBO<sub>5</sub> se presentan en las tres zonas de cultivo, con valores de la media estadística de  $8,89 \pm 0,06$  mgO<sub>2</sub>/L para la zona A,  $8,53 \pm 0,06$  mgO<sub>2</sub>/L para la zona B y  $7,80 \pm 0,06$  mgO<sub>2</sub>/L para la zona C (parte alta, media y baja del lago). Los menores valores de DBO<sub>5</sub> se reflejan en los puntos control A1, B1 y C1 con medias estadísticas de  $7,32 \pm 0,06$  mgO<sub>2</sub>/L;  $6,77 \pm 0,06$  mgO<sub>2</sub>/L y  $6,20 \pm 0,06$  mgO<sub>2</sub>/L respectivamente.

Finalmente, las profundidades también presentan diferencias significativas entre sí ( $p < 0,05$ ) en las dos épocas de lluvias donde la mayor DBO<sub>5</sub> se presenta a los 20 metros principalmente en lluvias bajas, con una media estadística de  $7,78 \pm 0,04$  mgO<sub>2</sub>/L, seguido de los 10 metros con  $7,58 \pm 0,04$  mgO<sub>2</sub>/L y una media de  $7,38 \pm 0,04$  mgO<sub>2</sub>/L en la superficie. Los supuestos y pruebas estadísticas se muestran en el Anexo Q.

**Tabla 19.** Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de DBO<sub>5</sub> (mgO<sub>2</sub>/L) en sedimentos de las zonas de muestreo.

DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)												
Época Lluvias Altas							Época Lluvias Bajas					
	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
0 Metros	7,257	6,300	6,860	5,550	6,000	7,110	10,200	8,107	9,550	7,543	9,000	7,110
10 Metros	7,517	6,500	7,163	6,000	6,523	7,210	10,260	8,150	10,000	7,600	9,067	7,210
20 Metros	7,700	6,597	7,473	6,337	7,033	5,367	10,407	8,303	10,133	7,607	9,200	7,307
	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.
0 Metros	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,318	0,000	0,006	0,000	0,006	0,000	0,010
10 Metros	0,015	0,010	0,012	0,000	0,006	0,058	0,000	0,000	0,000	0,000	0,058	0,010
20 Metros	0,000	0,006	0,006	0,025	0,058	0,231	0,006	0,006	0,058	0,012	0,000	0,006
	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err
0 Metros	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,225	0,000	0,004	0,000	0,004	0,000	0,007
10 Metros	0,011	0,007	0,008	0,000	0,004	0,041	0,000	0,000	0,000	0,000	0,041	0,007
20 Metros	0,000	0,004	0,004	0,018	0,041	0,163	0,004	0,004	0,041	0,008	0,000	0,004
	coef varia	coefi varia	coefi variac	coef varia	coefi varia	coefi variac	coef varia	coefi varia	coefi variac	coef varia	coefi varia	coefi variac
0 Metros	0,080	0,000	0,000	0,000	0,000	4,466	0,000	0,071	0,000	0,077	0,000	0,141
10 Metros	0,203	0,154	0,161	0,000	0,089	0,801	0,000	0,000	0,000	0,000	0,637	0,139
20 Metros	0,000	0,088	0,077	0,397	0,821	4,303	0,055	0,070	0,570	0,152	0,000	0,079

**Figura 59.** Valores de DBO<sub>5</sub> (mgO<sub>2</sub>/L) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo



A y B, diferencias significativas entre épocas de lluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas

La DBO<sub>5</sub> permite medir la cantidad de oxígeno disuelto en el agua que mediante procesos biológicos por medio de microorganismos es consumida para la degradación aeróbica de la



materia orgánica y sustancias contenidas en los cuerpos de agua. Su importancia en estudios de calidad de agua, limnología y acuicultura radica en que permite valorar el grado de carga contaminante en el ambiente acuático eliminando la disponibilidad de oxígeno parcial o totalmente lo que puede ocasionar la muerte de los animales en cultivo como de especies vivas que conviven de forma natural (Méndez, 2018).

A comparación de lluvias altas, la DBO<sub>5</sub> medida en este estudio presentó sus mayores valores en temporada de lluvias bajas para todas las zonas de muestreo, sin embargo, para las dos épocas la mayor demanda de oxígeno se refleja en las zonas de cultivo A, B y C; mientras tanto los puntos control A1, B1 y C1 presentan los menores valores. Si comparamos entre la parte alta media y baja de la laguna, la primera arroja los mayores valores de DBO<sub>5</sub> tanto para la zona de cultivo como para el punto control en las dos temporadas. Finalmente, las mediciones a 20 metros de profundidad registran los mayores valores principalmente en las zonas de cultivo.

Burbano (2018), reporta valores de DBO<sub>5</sub> en el Lago Guamuez de  $10,22 \pm 0,06$  en zona de cultivo intensivo y de  $6,93 \pm 0,14$  en zona control a una profundidad de 20 metros, siendo similares a los obtenidos en este estudio y lo que demuestra que los cultivos de trucha arcoíris afectan de manera negativa la calidad del agua del lago y la disponibilidad de oxígeno tanto para la fauna y flora presente en el ecosistema como también puede presentarse problemas sanitarios en los peces de cultivos. Sin embargo, a pesar de los resultados desfavorables en los cultivos a diferencia de los puntos control, estos valores se encuentran dentro de un rango de 0 a 20 mg/L, que clasifica el agua como no contaminada (IDEAM, 2007), lo que es aceptable para la calidad de agua en acuicultura.

López y Salas (2013) reportan valores de DBO<sub>5</sub> en la parte Alta del Lago entre 6,69 mg/L y 7,20 mg/L, siendo mayores a los obtenidos en otras estaciones de muestreo, lo que demuestra que en esta parte la influencia de mayor número de asentamientos y actividades humanas al igual que la desembocadura del río El Encano, el cual vierte gran cantidad de materia orgánica, la cual mediante procesos de sedimentación permite aumentar la DBO<sub>5</sub> a mayores profundidades. Al igual que los resultados obtenidos, Benjumea et al (2017), en su estudio sobre la demanda de oxígeno por sedimentos, reportó menores valores de DBO<sub>5</sub> en épocas de lluvias altas oscilando entre 4.77 mg/L y 6.57 mg/L, lo que supone que hay un menor contenido de materia orgánica en la columna del agua susceptible a ser degradada.

**6.4.4. Demanda química de oxígeno DQO ( $\text{mgO}_2/\text{L}$ ).** Al igual que la  $\text{DBO}_5$ , la demanda química de oxígeno presenta una tendencia a aumentar en lluvias bajas, donde los mayores registros se presentan en la zona A con un valor de  $14,033 \pm 0,058 \text{ mgO}_2/\text{L}$  para los cero metros,  $14,507 \pm 0,006 \text{ mgO}_2/\text{L}$  para 10 metros y  $15,000 \pm 0,000 \text{ mgO}_2/\text{L}$  para los 20 metros de profundidad. Por el contrario, los menores valores se obtuvieron en la zona C1 correspondiente al punto control, con  $8,373 \pm 0,240 \text{ mgO}_2/\text{L}$  para los cero metros,  $9,013 \pm 0,768 \text{ mgO}_2/\text{L}$  en 10 metros y  $9,067 \pm 0,058 \text{ mgO}_2/\text{L}$  para los 20 metros de profundidad. En época de lluvias altas, la zona A correspondiente a jaulas de cultivo presenta los mayores valores en sus tres profundidades con  $10,283 \pm 0,076 \text{ mgO}_2/\text{L}$ ;  $11,500 \pm 0,000 \text{ mgO}_2/\text{L}$  y  $12,117 \pm 0,076 \text{ mgO}_2/\text{L}$  para los 0, 10 y 20 metros. Los menores valores se registraron en la zona C1 o punto control con  $7,017 \pm 0,029 \text{ mgO}_2/\text{L}$  a una profundidad de cero metros,  $7,110 \pm 0,010 \text{ mgO}_2/\text{L}$  para 10 metros y  $7,147 \pm 0,006$  para 20 metros de profundidad (Figura 60). El total de valores registrados para cada zona de monitoreo se presentan en la tabla 20.

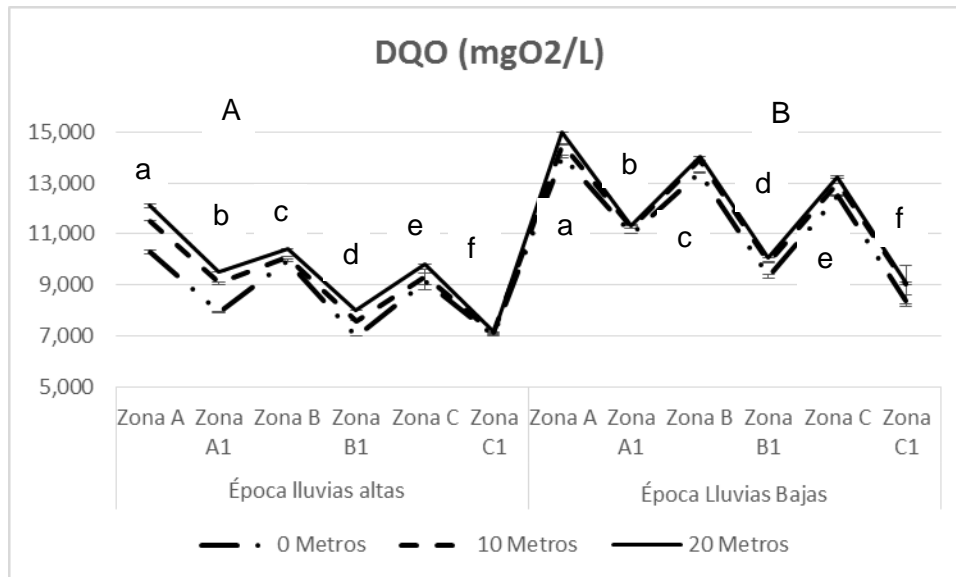
Según el Anova, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre épocas de lluvia y zonas muestreadas, como entre profundidades (Figura 60). La prueba comparativa múltiple de Tukey, estableció diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las dos épocas de lluvias, donde los mayores valores de DQO se presentan en la época de lluvias bajas principalmente en las zonas de cultivo, con una media estadística de  $11,83 \pm 0,06 \text{ mgO}_2/\text{L}$ , por el contrario, en época de lluvias altas la media estadística es menor con  $9,05 \pm 0,06 \text{ mgO}_2/\text{L}$ . Con respecto a las zonas de muestreo (cultivos y puntos control), existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las seis zonas, tanto en época de lluvias altas como en bajas. Los mayores valores de DQO se presentan en las tres zonas de cultivo, con valores de la media estadística de  $12,90 \pm 0,10 \text{ mgO}_2/\text{L}$  para la zona A,  $11,96 \pm 0,10 \text{ mgO}_2/\text{L}$  para la zona B y  $11,17 \pm 0,10 \text{ mgO}_2/\text{L}$  para la zona C (parte alta, media y baja del lago).

Los menores valores de DQO se reflejan en los puntos control A1, B1 y C1 con medias estadísticas de  $10,01 \pm 0,10 \text{ mgO}_2/\text{L}$ ;  $8,64 \pm 0,10 \text{ mgO}_2/\text{L}$  y  $7,95 \pm 0,10 \text{ mgO}_2/\text{L}$  respectivamente. Finalmente, las profundidades también presentan diferencias significativas entre sí ( $p < 0,05$ ) en las dos épocas de lluvias donde la mayor DQO se presenta a los 20 metros principalmente en lluvias bajas, con una media estadística de  $10,80 \pm 0,07 \text{ mgO}_2/\text{L}$ , seguido de los 10 metros con  $10,52 \pm 0,07 \text{ mgO}_2/\text{L}$  y una media de  $9,99 \pm 0,07 \text{ mgO}_2/\text{L}$  en la superficie. Los supuestos y pruebas estadísticas se muestran en el Anexo R.

**Tabla 20.** Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de DQO ( $\text{mgO}_2/\text{L}$ ) en sedimentos de las zonas de muestreo.

DQO ( $\text{mgO}_2/\text{L}$ )												
Época Lluvias Altas							Época Lluvias Bajas					
	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
0 Metros	10,283	7,917	9,947	7,000	9,143	7,017	14,033	11,000	13,423	9,333	12,517	8,373
10 Metros	11,500	9,067	10,110	7,600	9,317	7,110	14,507	11,267	13,880	9,890	13,000	9,013
20 Metros	12,117	9,517	10,410	8,000	9,817	7,147	15,000	11,327	14,033	10,050	13,233	9,067
	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.
0 Metros	0,076	0,029	0,045	0,000	0,311	0,029	0,058	0,000	0,021	0,058	0,029	0,240
10 Metros	0,000	0,058	0,010	0,000	0,318	0,010	0,006	0,058	0,015	0,010	0,000	0,768
20 Metros	0,076	0,015	0,010	0,000	0,015	0,006	0,000	0,025	0,015	0,000	0,058	0,058
	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err
0 Metros	0,054	0,020	0,032	0,000	0,220	0,020	0,041	0,000	0,015	0,041	0,020	0,169
10 Metros	0,000	0,041	0,007	0,000	0,225	0,007	0,004	0,041	0,011	0,007	0,000	0,543
20 Metros	0,054	0,011	0,007	0,000	0,011	0,004	0,000	0,018	0,011	0,000	0,041	0,041
	coef varia	coefi varia	coefi variac	coefi varia	coefi varia	coefi variac	coef varia	coefi varia	coefi variac	coef varia	coefi varia	coefi variac
0 Metros	0,743	0,365	0,453	0,000	3,400	0,411	0,411	0,000	0,155	0,619	0,231	2,862
10 Metros	0,000	0,637	0,099	0,000	3,408	0,141	0,040	0,512	0,110	0,101	0,000	8,526
20 Metros	0,630	0,161	0,096	0,000	0,156	0,081	0,000	0,222	0,109	0,000	0,436	0,637

**Figura 60.** Valores de DQO ( $\text{mgO}_2/\text{L}$ ) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo



A y B, diferencias significativas entre épocas de lluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas

La Demanda Química de Oxígeno (DQO), es la cantidad de oxígeno en  $\text{mg/L}$  consumido en la oxidación de las sustancias reductoras que están presentes en el agua, su importancia establece las caracterizaciones de la concentración de las fracciones

biodegradables de la materia orgánica, como las que no lo son, donde se incluyen los compuestos inorgánicos que pueden ser oxidados de forma química y que se relacionan en los procesos de oxidación con el sustrato orgánico, la biomasa asociada, y el oxígeno utilizado, permitiendo realizar un balance de masas sobre una misma base (Méndez, 2018).

Al igual que la  $DBO_5$  la DQO, presentó sus mayores valores en temporada de lluvias bajas para todas las zonas de muestreo, no obstante, para las dos épocas de lluvias los valores de DQO más altos se registran en las zonas de cultivo A, B y C; mientras tanto los puntos control A1, B1 y C1 presentan los menores valores. Si comparamos entre la parte alta media y baja de la laguna, la primera también arroja los mayores valores de DQO, tanto para la zona de cultivo como para el punto control en las dos temporadas. Finalmente, las mediciones a 20 metros de profundidad registran los mayores valores principalmente en las zonas de cultivo.

La DQO en un cuerpo de agua natural puede oscilar entre 20 y 100 mg/L por lo que los valores aquí obtenidos se encuentran dentro de los rangos aceptables en calidad de aguas; sin embargo, es apreciable el incremento de este parámetro en las zonas en cultivo, lo que demuestra que los procesos acuícolas intervienen en la demanda química del oxígeno contribuyendo al desmejoramiento de la calidad del agua (Muñoz, 2012; López y Salas, 2013; Burbano, 2018).

De igual forma Burbano (2018), obtuvo valores de DQO en el Lago Guamuez de  $14,28 \pm 0,58$  mg/L en cultivos intensivos y de  $7,40 \pm 0,24$  mg/L en punto control, estos dos medidos a 20 metros de profundidad, lo que demuestra un impacto ambiental en la zona, relacionados con el enriquecimiento de nutrientes y de materia orgánica en las unidades de cultivo, especialmente en cultivos intensivos y semiintensivos de peces carnívoros como los analizados en estas tres empresas (Mok, 1982). Para Saremi et al (2013), los desechos de nutrientes y de materia orgánica, disueltos o en forma de partículas, que proceden de alimentos no comidos y de excrementos, se caracterizan generalmente por un aumento en sólidos en suspensión (SS), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) Demanda Química de Oxígeno (DQO) y contenido de carbono, nitrógeno y fósforo

**6.4.5. Sólidos suspendidos (mg/L).** Los resultados de sólidos suspendidos presentan una tendencia al aumento en épocas de lluvias altas, donde los valores máximos se presentan en las jaulas de cultivo representadas por la zona A, B y C a una profundidad de 20 metros,

con valores de  $82,547 \pm 0,442$  mg/L;  $70,327 \pm 0,323$  mg/L y  $62,647 \pm 0,323$  mg/L respectivamente. Por otra parte, los menores registros se obtuvieron en las zonas A1, B1 y C1 que representan los puntos control, con valores de  $12,113 \pm 0,106$  mg/L;  $11,050 \pm 0,050$  mg/L y  $8,737 \pm 0,032$  mg/L respectivamente. Para la época de lluvias bajas, los toques máximos de sólidos suspendidos se presentan de igual forma en las zonas de cultivo A, B y C a 20 metros de profundidad, con registros de  $55,970 \pm 0,036$  mg/L;  $50,193 \pm 0,110$  mg/L y  $46,023 \pm 0,133$  mg/L respectivamente; mientras tanto los valores mínimos se presentan en las zonas de punto control A1, B1 y C1 a cero metros con registros de  $9,893 \pm 0,185$  mg/L;  $10,013 \pm 0,032$  mg/L y  $7,997 \pm 0,015$  mg/L respectivamente (Figura 61). Los valores de sólidos suspendidos para las zonas de estudio se presentan en la tabla 21.

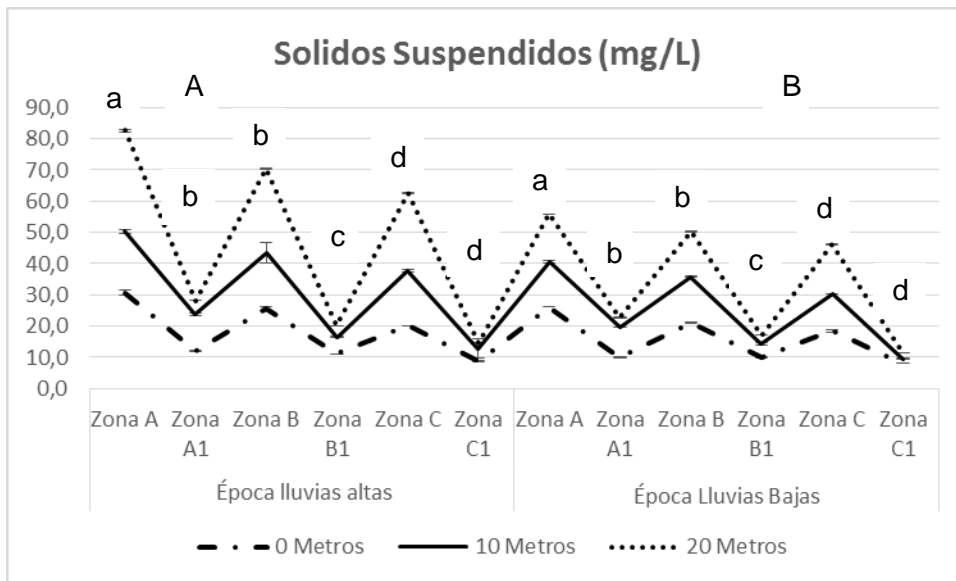
Según el Anova, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre épocas de lluvia y zonas muestreadas, como entre profundidades (Figura 61). La prueba comparativa múltiple de tukey, estableció diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las dos épocas de lluvias, donde los mayores valores de sólidos suspendidos (SS), se presentan en la época de lluvias altas con una media de  $31,74 \pm 0,99$  mg/L, mientras que en época de lluvias bajas la media obtenida es de  $24,84 \pm 0,99$  mg/L. De igual forma se observan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre algunas zonas de muestreo, a excepción de las zonas de cultivo A y C, al igual que B con C y los puntos control A1 y B1.

El mayor valor de SS se obtuvo en la zona de cultivo A (parte alta del lago), con una media estadística de  $47,73 \pm 1,73$  mg/L y el menor valor de SS se reflejó en el punto control C1 (parte baja del lago), con una media de  $10,85 \pm 1,73$  mg/L; este comportamiento es similar en las dos épocas de estudio. De igual forma existen diferencias significativas entre profundidades ( $p < 0,05$ ) donde el mayor valor de SS se presenta a una profundidad de 20 metros, seguido de los 10 y 0 metros con medias estadísticas de  $40,18 \pm 1,22$  mg/L;  $27 \pm 1,22$  mg/L y  $16,83 \pm 1,22$  mg/L respectivamente (Anexo S).

**Tabla 21.** Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de sólidos suspendidos (mg/L) en sedimentos de las zonas de muestreo.

Sólidos Suspendidos (mg/L)												
Época Lluvias Altas							Época Lluvias Bajas					
	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
0 Metros	30,743	12,113	25,643	11,050	20,147	8,737	26,170	9,893	21,050	10,013	18,483	7,997
10 Metros	50,290	23,830	43,560	16,447	37,697	12,707	40,690	19,570	35,793	14,250	30,223	9,493
20 Metros	82,547	28,143	70,327	20,143	62,647	14,717	55,970	22,907	50,193	17,077	46,023	11,500
	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.
0 Metros	0,649	0,106	0,460	0,050	0,046	0,032	0,108	0,185	0,062	0,032	0,351	0,015
10 Metros	0,674	0,341	3,359	0,255	0,255	3,095	0,336	0,098	0,190	0,332	0,023	0,185
20 Metros	0,442	0,040	0,323	0,040	0,323	0,076	0,036	0,227	0,110	0,025	0,133	0,140
	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err
0 Metros	0,459	0,075	0,325	0,035	0,033	0,023	0,076	0,131	0,044	0,023	0,248	0,011
10 Metros	0,477	0,241	2,375	0,180	0,181	2,188	0,238	0,070	0,135	0,234	0,016	0,131
20 Metros	0,312	0,029	0,229	0,029	0,229	0,054	0,025	0,161	0,078	0,018	0,094	0,099
	coef varia	coefi varia	coefi variac	coef varia	coefi varia	coefi variac	coef varia	coefi varia	coefi variac	coef varia	coefi varia	coefi variac
0 Metros	2,112	0,875	1,794	0,452	0,229	0,368	0,413	1,870	0,297	0,321	1,901	0,191
10 Metros	1,341	1,430	7,711	1,549	0,678	24,356	0,826	0,503	0,532	2,326	0,076	1,949
20 Metros	0,535	0,144	0,460	0,201	0,516	0,519	0,064	0,992	0,219	0,147	0,289	1,217

**Figura 61.** Valores de sólidos suspendidos (mg/L) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo



A y B, diferencias significativas entre épocas de lluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas

Los sólidos suspendidos se refieren al material particulado que se encuentra suspendido en la columna del agua cuyo tamaño oscila entre 200 y 0,01 micras. Su importancia en acuicultura radica en que estas pequeñas partículas sólidas funcionan como transporte de

contaminantes y diferentes patógenos que se adhieren en su superficie, lo cual genera enfermedades en los peces ya sea de tipo bacteriano, viral y/o presencia de hongos tanto en la piel como en escamas, branquias o cavidades y órganos internos generando un ambiente donde los peces y otras formas de vida acuática no suelen sobrevivir (Torres y Lozano, 2017).

Esta investigación demostró que los mayores valores de sólidos suspendidos se obtuvieron en época de lluvias altas tanto en las zonas de cultivo como en sus puntos control. Sin embargo, al realizar la comparación estadística entre zonas se demuestra que las zonas de cultivo A, B y C arrojan valores de SS mucho mayores a los puntos control, comportamiento que es similar en las dos épocas de lluvia. Con respecto a las profundidades los mayores valores se obtuvieron a 20 metros de profundidad en todas las zonas de monitoreo.

En época de lluvias intensas los sistemas lacustres lenticos son receptores de una mayor cantidad de sólidos de todo tipo y tamaño, orgánicos e inorgánicos, lo cual se ve reflejado en mayores niveles de contaminación, disminuyendo la transparencia y aumentando la conductividad (García et al., 2001). Actividades como la producción piscícola contribuyen a la generación de residuos sólidos en sus diferentes procesos sobre todo los generados por el suministro de alimento balanceado, lo que aumenta notoriamente la presencia de sólidos en suspensión (Mirzoyan et al., 2008).

Según el estudio de capacidad de carga del Lago Guamuez (Corponariño, 2014), este parámetro cataloga al Lago como oligotrófico puesto que se obtuvieron valores de 7,9 mg/L en once puntos de muestreo a dos metros de profundidad en época lluviosa; mientras que López et al (2008), reportó valores de SS de 17,05 mg/L, siendo similares a los obtenidos en este estudio para las zonas de punto control. A pesar de que se demuestra que las zonas de cultivo presentan mayores valores de sólidos suspendidos a comparación de las zonas sin intervención acuícola, dichos resultados se encuentran dentro de los rangos aceptados en calidad de aguas y en acuicultura (SS < 80 mg/L), puesto que valores superiores a 200 mg/L son reflejo de contaminación y eutrofización (Cárdenas et al, 2015).

**6.4.6. Sólidos disueltos (mg/L).** Los resultados de sólidos disueltos presentan una tendencia al aumento en épocas de lluvias altas, donde los valores máximos se presentan en las jaulas de cultivo representadas por la zona A en sus tres profundidades, con

valores de  $50,120 \pm 0,026$  mg/L;  $50,520 \pm 0,020$  mg/L y  $50,827 \pm 0,025$  mg/L para los 0, 10 y 20 metros respectivamente. Por otra parte, los menores registros se obtuvieron en las tres profundidades de la zona C1 que representa un punto control, con valores de  $30,937 \pm 0,110$  mg/L para los cero metros;  $34,223 \pm 0,025$  mg/L para 10 metros y  $38,317 \pm 0,006$  mg/L para los 20 metros de profundidad. Para la época de lluvias bajas, los topes máximos de sólidos disueltos se presentan en la zona de cultivo B a una profundidad de 20 metros con  $32,660 \pm 0,000$  mg/L, seguido de la zona de cultivo A en profundidades de 10 y 20 metros con valores de  $35,230 \pm 0,026$  mg/L y  $39,523 \pm 0,021$  mg/L respectivamente; mientras tanto los valores mínimos se presentan en la zona C correspondiente a un punto control y en sus tres profundidades, con valores de  $17,547 \pm 0,050$  mg/L para cero metros;  $18,007 \pm 0,021$  mg/L para 10 metros y  $18,823 \pm 0,032$  mg/L en 20 metros de profundidad (Figura 62). Los valores de sólidos disueltos para las zonas de estudio se presentan en la tabla 22.

Según el Anova, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre épocas de lluvia y zonas muestreadas, como entre profundidades (Figura 62). La prueba comparativa múltiple de tukey, estableció diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las dos épocas de lluvias, donde los mayores valores de sólidos disueltos (SD), se presentan en la época de lluvias altas con una media de  $44,28 \pm 0,26$  mg/L, mientras que en época de lluvias bajas la media obtenida es de  $25,18 \pm 0,26$  mg/L. De igual forma se observan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en las seis zonas de muestreo, comportamiento que es reiterativo en las dos épocas de lluvias, donde los mayores valores de SD se obtuvieron en las tres zonas de cultivo, con medias estadísticas de  $42,89 \pm 0,46$  mg/L para A,  $39,51 \pm 0,46$  mg/L para B y  $36,52 \pm 0,46$  mg/L para la zona C.

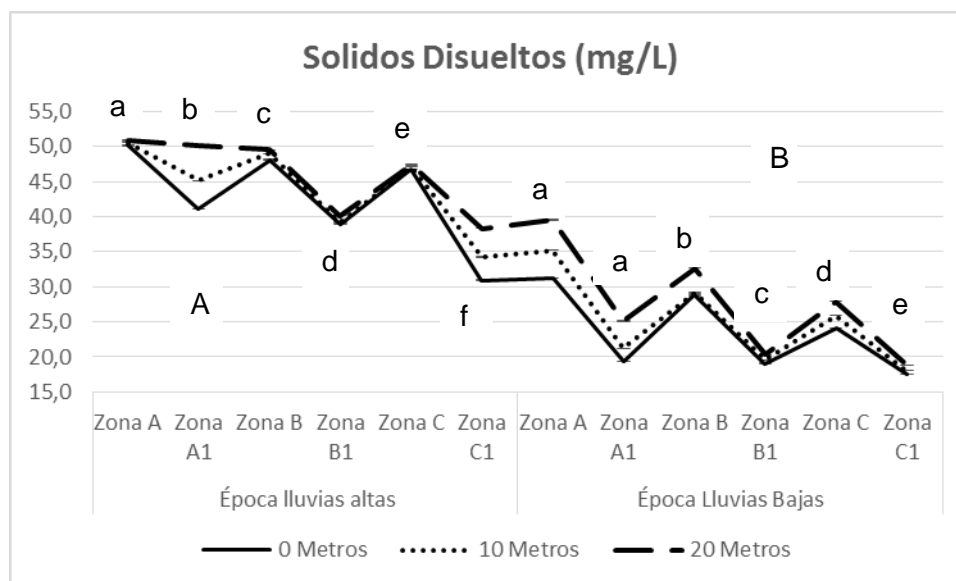
Los menores valores fueron obtenidos en los puntos control de las tres empresas, con valores estadísticos de  $33,66 \pm 0,46$  mg/L para A1,  $20,50 \pm 0,46$  mg/L para B1 y  $26,30 \pm 0,46$  mg/L para la zona C1. Finalmente, al igual que la interacción entre épocas y zonas de muestreo, las profundidades también presentan diferencias significativas entre sí ( $p < 0,05$ ); donde los mayores valores de conductividad eléctrica se presentaron a los 20 metros, seguido de los 10 y 0 metros de profundidad, con medias estadísticas de  $36,71 \pm 0,32$  mg/L;  $34,50 \pm 0,32$  mg/L y  $32,98 \pm 0,32$  mg/L respectivamente. Los supuestos estadísticos y análisis de varianzas se muestran en el anexo T.



**Tabla 22.** Valores promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de sólidos disueltos (mg/L) en sedimentos de las zonas de muestreo.

Sólidos Disueltos (mg/L)												
Época Lluvias Altas						Época Lluvias Bajas						
	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
0 Metros	50,120	41,113	48,083	38,843	46,783	30,937	31,160	19,323	28,767	19,040	24,113	17,547
10 Metros	50,520	45,117	48,970	39,167	47,090	34,223	35,230	21,213	29,113	19,550	25,903	18,007
20 Metros	50,827	50,100	49,500	40,117	47,390	38,317	39,523	25,123	32,660	20,293	27,873	18,823
	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.	Desv A.	Desv A1.	Desv B.	Desv B1.	Desv C.	Desv C1.
0 Metros	0,026	0,015	0,076	0,021	0,006	0,110	0,020	0,025	0,015	0,040	0,015	0,050
10 Metros	0,020	0,029	0,010	0,035	0,036	0,025	0,026	0,015	0,012	0,010	0,006	0,021
20 Metros	0,025	0,100	0,000	0,015	0,030	0,006	0,021	0,025	0,000	0,015	0,025	0,032
	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err	Stand Err
0 Metros	0,019	0,011	0,054	0,015	0,004	0,078	0,014	0,018	0,011	0,028	0,011	0,036
10 Metros	0,014	0,020	0,007	0,025	0,025	0,018	0,019	0,011	0,008	0,007	0,004	0,015
20 Metros	0,018	0,071	0,000	0,011	0,021	0,004	0,015	0,018	0,000	0,011	0,018	0,023
	coef varia	coefi varia	coefi variac	coef varia	coefi varia	coefi variac	coef varia	coefi varia	coefi variac	coef varia	coefi varia	coefi variac
0 Metros	0,053	0,037	0,159	0,054	0,012	0,355	0,064	0,130	0,053	0,210	0,063	0,287
10 Metros	0,040	0,064	0,020	0,090	0,077	0,074	0,075	0,072	0,040	0,051	0,022	0,116
20 Metros	0,050	0,200	0,000	0,038	0,063	0,015	0,053	0,100	0,000	0,075	0,090	0,171

**Figura 62.** Valores de sólidos disueltos (mg/L) por época de lluvias, profundidad y zonas de muestreo



A y B, diferencias significativas entre épocas de lluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas

Los sólidos disueltos (SD) son aquellos que están compuestos por diferentes partículas orgánicas e inorgánicas como minerales, metales, sales, entre otros con un tamaño inferior a 1,5 lo cual permite que se disuelvan en la columna de agua. Al igual que los sólidos

suspendidos, los disueltos causan afectaciones tanto a la calidad del agua como a los animales en cultivo (Khan et al., 2017).

Los resultados obtenidos demuestran que la época de lluvias altas presenta los valores más altos de sólidos disueltos principalmente en las zonas de cultivo A, B y C en comparación con los puntos control A1, B1 y C1, comportamiento que también se ve reflejado en temporada de lluvias bajas. Con respecto a las profundidades los 20 metros presentaron los picos más altos para este parámetro, sobre todo en zonas de cultivo. Tanto para sólidos suspendidos como para sólidos disueltos la parte alta de la laguna (Vereda El Motilón) presentó mayores valores, situación que se ve sujeta también a otro tipo de actividades humanas de mayor intensidad realizadas en esta parte del lago (Corponariño, 2014).

Según Cárdenas et al (2015) los sólidos disueltos son un buen factor de medición de la conductividad eléctrica, los cuales deben presentar valores inferiores a 400 mg/L en cultivos de trucha arcoíris, por lo que los valores aquí obtenidos son mucho menores siendo adecuados para los cultivos establecidos en el Lago. Sin embargo, es notorio el incremento de este parámetro en las zonas de cultivo por lo que se puede afirmar que existe un grado de afectación por parte de las producciones piscícolas. Campos et al (2013) expone que la acuicultura sumada a otros factores como el incremento de lluvias y otras actividades antrópicas incrementan significativamente la presencia de sólidos, lo que repercute no solo en la calidad del agua sino también en las especies de fauna y flora que ahí habitan.

López et al (2013), reporta valores máximos de sólidos disueltos en ocho zonas de muestreo del Lago Guamuez de 38,72 mg/L en la superficie y de 59,16 en el fondo, siendo similares a los obtenidos en este estudio y los cuales se encuentran dentro de los rangos aceptables para lagos oligotróficos subtropicales de alta montaña.

## **6.5. OBJETIVO ESPECÍFICO 5. Estructura ecológica y taxonómica de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores del sistema acuático.**

En este punto se pretende que a través del desarrollo de criterios biológicos se evalúe el efecto y magnitud de las producciones piscícolas en este importante cuerpo de agua. Los

macroinvertebrados acuáticos pasan la mayor parte de sus ciclos de vida en el agua dulce y constituyen una parte ecológica y significativa en la diversidad del agua, al igual que en la cadena trófica, su sensibilidad y/o adaptación a los cambios en la calidad del agua los cataloga como bioindicadores por excelencia.

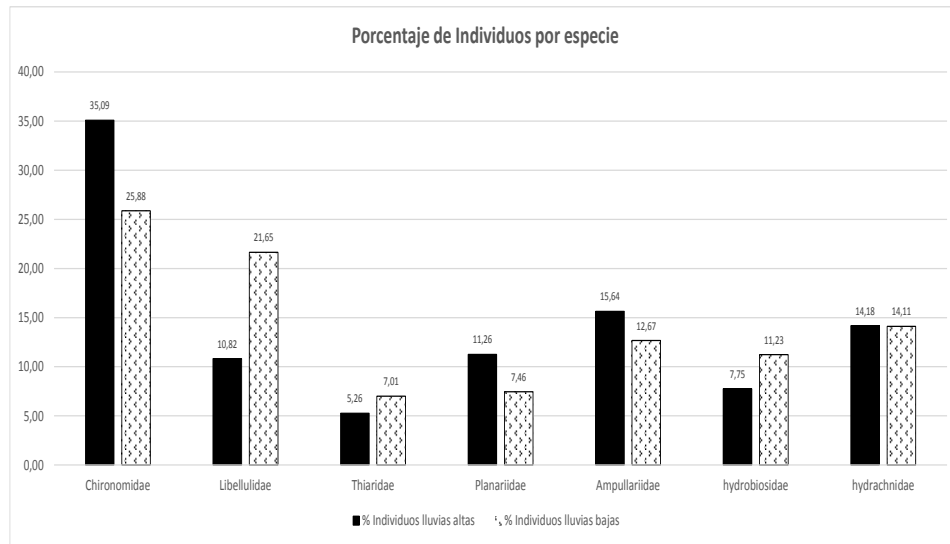
**6.5.1 Porcentaje de individuos por especie y zona de muestreo.** Se recolectó un total de siete (7) familias de macroinvertebrados en las zonas de estudio (Figura 63). En época de lluvias altas, se obtuvieron 684 individuos donde el 35,09% pertenecen a la familia *Chironomidae*, 10,82% *Libellulidae*, 5,26% *Thiaridae*, 11,26% *Planariidae*, 15,64% *Ampullariidae*, 7,75% *Hydrobiosidae* y 14,18% *Hydrachnidae*; mientras que para lluvias bajas el total de individuos recolectados fue de 1113 de los cuales 25,88% corresponde a la familia *Chironomidae*, 21,65% *Libellulidae*, 7,01% *Thiaridae*, 7,46% *Planariidae*, 12,67% *Ampullariidae*, 11,23% *Hydrobiosidae* y 14,11% *Hydrachnidae*. (Figura 64). (Anexo U).

Según Roldan (2016) y Figueroa (2018), las familias *Planariidae*, *Thiaridae*, *Chironomidae*, y *Ampullariidae*, indican aguas con cierto grado de contaminación. Por otra parte, las familias *hydrobiosidae*, *Libellulidae*, e *Hydrachnidae* son indicadoras de buena calidad de agua.

**Figura 63.** Macroinvertebrados bentónicos recolectados en las zonas de monitoreo en el Lago Guamuez. a) *Planariidae*; b) *Chironomidae*; c) *Thiaridae*; d) *Ampullariidae*; e) *Libellulidae*; f) *Hydrobiosidae*; g) *Hydrachnidae*.



**Figura 64.** Porcentaje de individuos por especie

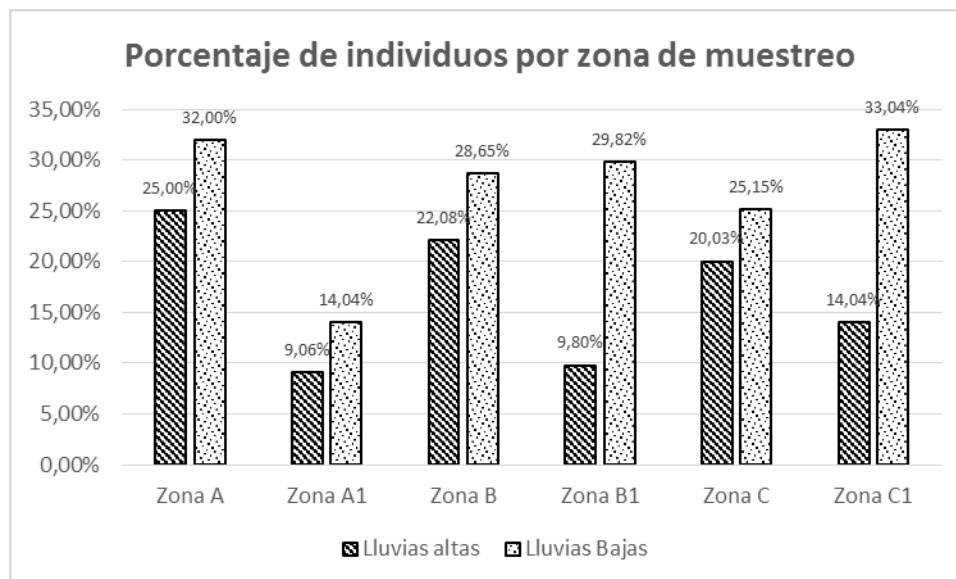


Con relación al porcentaje de individuos recolectados por zona de muestreo, se tiene que en época de lluvias altas las zonas de cultivo A, B y C presentan mayores porcentajes del total de individuos, con 25%, 22,08% y 20,03% respectivamente, mientras que los puntos control A, B1 y C1, reportan porcentajes de 9,06%, 9,80% y 14,04% respectivamente. Por otra parte, en época de lluvias bajas, los mayores porcentajes de macroinvertebrados recolectados se obtuvieron en la zona de cultivo A y en el punto control C1, con valores de 32,02% y 33,04% respectivamente (Figura 66). En la tabla 22 se presentan los resultados obtenidos para el total de individuos por época de lluvias y zona de muestreo.

**Tabla 23.** Porcentaje de individuos por época de lluvias y zona de muestreo.

Lluvias Altas	% Individuos	Lluvias Bajas	% Individuos
Zona A	25,00	Zona A	32,02
Zona A1	9,06	Zona A1	14,04
Zona B	22,08	Zona B	28,65
Zona B1	9,80	Zona B1	29,82
Zona C	20,03	Zona C	25,15
Zona C1	14,04	Zona C1	33,04

**Figura 65.** Porcentaje de macroinvertebrados por zona de muestreo



Finalmente se presenta el reporte de resultados correspondiente al total de individuos y su abundancia relativa, donde la época de lluvias altas presenta las mayores abundancias para la familia *Chironomidae* con 0,3509, seguido de las familias *Ampullariidae* e *Hydrachnidae* con abundancias de 0,1564 y 0,1418 respectivamente; mientras que la menor abundancia relativa se presentó en las familias *Thiaridae* e *Hydrobiosidae* con 0,0526 y 0,0775 respectivamente. En época de lluvias bajas, las familias de macroinvertebrados que presentaron una mayor abundancia fueron *Chironomidae* con 0,2588 y *Libellulidae* con 0,2165. Por el contrario, las menores abundancias se presentaron en las familias *Thiaridae*, y *Planariidae* con 0,0701 y 0,0746 respectivamente (Tabla 24).

**Tabla 24.** Total de individuos y su abundancia relativa por época de lluvias.

Familia	Total (ind/sp) lluvias altas	Abundancia relativa	% Individuos lluvias altas	Total (ind/sp) lluvias bajas	Abundancia relativa	% Individuos lluvias bajas
<b>Chironomidae</b>	240	0,3509	35,09	288	0,2588	25,88
<b>Libellulidae</b>	74	0,1082	10,82	241	0,2165	21,65

<b>Thiaridae</b>	36	0,0526	5,26	78	0,0701	7,01
<b>Planariidae</b>	77	0,1126	11,26	83	0,0746	7,46
<b>Ampullariidae</b>	107	0,1564	15,64	141	0,1267	12,67
<b>hydrobiosidae</b>	53	0,0775	7,75	125	0,1123	11,23
<b>hydrachnidae</b>	97	0,1418	14,18	157	0,1411	14,11
<b>Total</b>	684	1,0000	100,00	1113	1,0000	100,00

La importancia de las especies cobra sentido si tenemos en cuenta que el objetivo de medir la biodiversidad, además de aportar conocimiento a los conceptos ecológicos, cuenta con parámetros que nos permitan tomar decisiones o emitir recomendaciones a favor de la conservación de taxas o áreas amenazadas, al igual que medir, analizar y monitorear el efecto de las perturbaciones en el ambiente. Medir la abundancia relativa de las especies, en este caso macroinvertebrados bentónicos, permite identificar aquellas que por su escasa representatividad en el ecosistema evaluado son más sensibles a las perturbaciones ambientales.

Los macroinvertebrados bentónicos (> 500 µm) son catalogados como uno de los grupos de indicadores biológicos de calidad del agua más eficientes del mundo (Roldan, 2016). Su sensibilidad a cambios de parámetros físicos y químicos en el agua permite establecer el grado de contaminación de la misma, puesto que las especies tolerantes pueden soportar niveles significativos de contaminación, aguas poco oxigenadas y pH ácidos, mientras que especies con mayor grado de sensibilidad requieren en su estado larval, aguas de mejor calidad (Allan, 2004).

Los macroinvertebrados dulceacuícolas juegan papeles importantes dentro de básicamente todos los procesos ecológicos de los sistemas acuáticos. Energéticamente, las cadenas alimentarias acuáticas se basan en material autóctono producido por las algas o bien material alóctono que entra al sistema acuático desde afuera. Los macroinvertebrados son un enlace importante para poder mover esta energía a diversos niveles tróficos de las cadenas alimentarias acuáticas (Allan & Castillo 2007).

Los macroinvertebrados controlan la productividad primaria de los ecosistemas acuáticos. Ellos consumen gran cantidad de algas y otros microorganismos asociados con el perifiton en ríos o bien con el plancton en lagos. Muchas veces, este consumo aumenta la productividad primaria, ya que se elimina tejido poco productivo y se mineralizan los nutrientes (Wallace & Webster 1996, Allan & Castillo 2007).

Toda actividad productiva como la ganadería, la agricultura y la minería, genera impactos al ambiente y sobre todo a los sistemas fluviales (Chará et al., 2015). Al tratar la acuicultura como un sistema agroecológico, no solo prestamos importancia a la parte productiva, donde en su mayoría, prevalecen los intereses económicos, sino por el contrario, se pretende incentivar el creciente interés por el bienestar de los ecosistemas fluviales, conocer su comportamiento y sus cambios a través del tiempo, lo cual puede ser posible mediante el estudio de las especies biológicas que ahí habitan, como peces, algas e insectos, los cuales reflejan el estado de los cuerpos lacustres y el grado de intervención humana (Norris & Hawkins, 2000).

La recolección e identificación de macroinvertebrados bentónicos en este estudio permitió recolectar siete familias de las cuales *Chironomidae*, *Thiaridae*, *Ampullariidae*, *Planaridae* indican cierto grado de contaminación mientras que *Libellulidae*, *hydrobiosidae* e *Hydrachnidae* son especies de mayor sensibilidad (Roldan, 2003, 2016). Es de suponerse que en época de lluvias altas se incrementa la productividad biológica y con ello la proliferación de insectos en todos sus estadios de desarrollo, sin embargo al encontrar mayor número de individuos en época de lluvias bajas, puede explicarse puesto que el Lago Guamuez es un sistema lentic, donde algunas de las especies encontradas como *Libellulidae* y *planaridae* y *Thiaridae* presentan mejor adaptabilidad a bajas corrientes (Laedra, 2012), y diferencia de los sistemas loticos (ríos, quebradas, entre otros), los macroinvertebrados pueden presentar mayor diversidad pero menores dominancias, que según la especie puede ser beneficioso o no para el ecosistema lacustre.

En las zonas de cultivo A, B y C se recolectaron las especies indicadores de aguas contaminadas o medianamente contaminadas, mientras que en los puntos control A1, B1 Y C1 estas especies estuvieron ausentes, recolectando las familias indicadoras de buena calidad de agua (Anexo U); comportamiento similar en las dos épocas de lluvia. Esto demuestra el grado de intervención ecológico-ambiental que causan los cultivos piscícolas al ecosistema acuático del Lago (Roldan, 2016).

En estudios realizados por Corponariño (2014), en el Lago Guamuez, se recolectaron en diferentes puntos de desembocadura de afluentes, como en puntos cercanos a instalaciones acuícolas, familias de macroinvertebrados como *Chronomidae*, cuya presencia es indicadora de aguas mesoeutróficas y por el contrario en puntos de menor intervención humana se recolectaron familias como *Hydrobiosidae* que indican aguas de

buena calidad y oligotróficas; al igual que la familia *planaridae* la cual puede demostrar que las zonas muestreadas como los puntos control poseen aguas con mejor oxigenación (Muñoz y Obando, 2000), lo cual es acorde con los datos de parámetros físicos, químicos y biológicos reportados en esta investigación

De igual forma González et al (2018), reporta mayor abundancia de familias, *Thiaridae*, *Planaridae*, *Ampullariidae*, *Tubificidae* y *Chironomidae* en las jaulas de cultivo evaluadas en una de las empresas acuícolas establecidas en el Lago Guamuez, mientras que en zonas de puntos control reporta familias que indican buena calidad de agua como *Hydrachnidae* e *hydrobiosidae*.

La mayor abundancia de la familia *Chironomidae* o bien conocida como “mosquitos de agua”, se debe a que presenta características de gran adaptabilidad a cualquier clase de ambiente acuático y su diversidad de especies y distribución cosmopolita hacen que tolere ciertos niveles de contaminación, por lo que representa a la mayor parte de macroinvertebrados bentónicos que habitan sistemas lenticos de agua dulce. En su estado larval se encuentran preferiblemente en entre los 15 y 20 metros de profundidad (Roldán, 1999), similares a las profundidades muestreadas en el sedimento de este estudio.

Finalmente, la presencia/ ausencia de estas familias de macroinvertebrados permite deducir que las producciones piscícolas de trucha arcoíris afectan negativamente el equilibrio ecológico y la calidad de agua y sedimento de las zonas influenciadas, generando cierto grado de contaminación, que si bien es cierto por el momento no tiende a presentar problemas de eutrofización se debe prestar importancia para evitar daños futuros al ecosistema (Nuñez, 2019).

### **6.5.2. Parámetros comunitarios de diversidad biológica**

Existe una variedad de índices y parámetros que permiten analizar la dinámica de las comunidades de especies de macroinvertebrados lo que puede reflejar el estado ecológico y ambiental de un cuerpo de agua. En este estudio se calcularon índices de diversidad de Shannon-Weaver, equitatividad de Pielou, riqueza de Margalef y dominancia de Berger Parker, con lo que se pretende analizar la ecología del lago en función de la incidencia de las producciones acuícolas establecidas en las zonas de estudio.



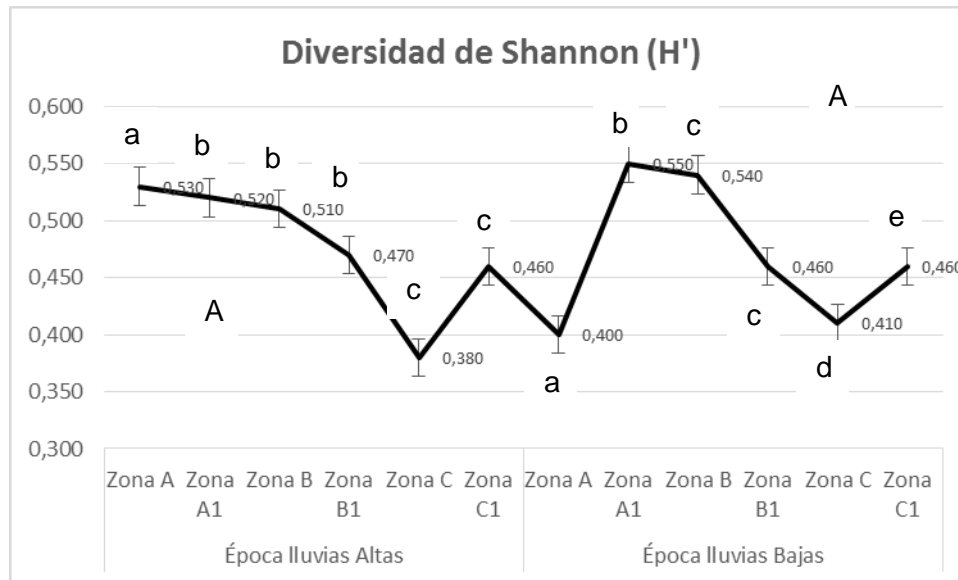
**6.5.2.1. Índice de diversidad de Shannon-Weaver (H')**: En época de lluvias altas el índice de diversidad de Shannon para los macroinvertebrados analizados presenta un valor para las zonas de cultivo A, B y C de 0,530; 0,510 y 0,380 respectivamente, mientras que para las zonas A1, B1 y C1 correspondientes a los puntos control los valores son de 0,520 para A1, 0,470 para B1 y 0,460 para C1. En época de lluvias bajas los valores de diversidad obtenidos en las zonas de cultivo son 0,400 para la zona A, 0,540 para la zona B y 0,410 para la zona C; mientras que para los puntos control A1, B1 y C1 los valores obtenidos son 0,550; 0,460 y 0,460 respectivamente (Figura 66). Los resultados de diversidad de Shannon para las zonas de estudio se muestran en la tabla 25.

El análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las épocas de lluvia, sin embargo, existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre algunas zonas de estudio dependiendo de la época (Figura 66). La prueba comparativa múltiple de Tukey estableció diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las zonas de cultivo A, B y C con medias estadísticas de  $0,46 \pm 0,007$ ;  $0,52 \pm 0,007$  y  $0,39 \pm 0,007$  respectivamente. Solo los puntos control B1 y C1 muestran diferencias significativas entre sí ( $p < 0,05$ ), con medias de  $0,46 \pm 0,007$  para B1 y  $0,46 \pm 0,007$  para C1; A1 no presenta diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en relación a los otros dos puntos control cuya media es de  $0,53 \pm 0,007$ . Las menores diversidades se dan en la parte baja de la laguna, vereda El Naranjal en la zona de cultivo C y su punto control C1 para la época de lluvias bajas; por el contrario, los valores más altos de diversidad se presentan en el punto control A1 de la parte alta (El Motilon) y en la zona de cultivo B parte media de la laguna (Santa Teresita). Las pruebas y supuestos estadísticos se presentan en el anexo V.

**Tabla 25.** Índice de diversidad de Shannon-Weaver (H') por época de lluvias y zonas de muestreo

Parámetros comunitarios en las áreas de muestreo												
Shannon (H')	Época lluvias Altas						Época lluvias Bajas					
	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
	0,530	0,520	0,510	0,470	0,380	0,460	0,400	0,550	0,540	0,460	0,410	0,460

**Figura 66.** Valores comparativos del Índice de Diversidad de Shannon-Weaver (H')



A y B, diferencias significativas entre épocas de lluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas

La diversidad de especies de Shannon, es uno de los parámetros más importantes el cual sirve para describir el comportamiento de los ecosistemas, puesto que permite analizar la diversidad de las especies bajo un concepto de uniformidad de las mismas, donde las mayores diversidades de cierta especie analizada corresponden a un mayor grado de incertidumbre en la elección aleatoria de una especie específica; es por ello, que la aplicación de este índice en macroinvertebrados para determinar la calidad del agua en acuicultura es de fundamental importancia tanto para las producciones como para la ecología del lago (Parmita y Dhruba, 2015).

Las épocas de lluvia no presentan diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en cuestión de diversidad, mientras que la comparación estadística entre zonas permite observar que en temporada de lluvias altas, la mayor diversidad se presenta en la zona de punto control A1, seguido de la zona de cultivo B y su punto control B1, al igual que en época de lluvias bajas; por el contrario las diversidades más bajas se presentan en la zona de cultivo C y su punto control C1 para lluvias bajas y las zonas de cultivo A y C en temporada de lluvias altas.

En ecología acuática y acuicultura altas diversidades y bajas dominancias son referente de un ambiente sano. La pérdida de diversidad es generalmente una de las principales

consecuencias de los impactos antropogénicos, por lo que la pérdida de la biodiversidad es más alta en los ecosistemas dulceacuícolas. (Hanson et al., 2010). En el presente estudio las diversidades son realmente bajas, lo que se debe a que los sistemas lóticos como ríos y quebradas en especial con aguas limpias y oxigenadas presentan mayores diversidades en cuestión de macrofauna bentónica a diferencias de los sistemas lenticos como el Lago Guamuez (Domínguez, 2009).

Los Lagos, lagunas y pantanos presentan una menor diversidad de microhábitats que los sistemas lóticos como ríos y quebradas. Por lo general, en los lagos de características oligotróficas las pocas zonas que pueden contener ambientes aptos para la reproducción de macroinvertebrados son las zonas litorales que albergan plantas y rocas en el fondo, lo cual se ve representado en las pocas taxas encontradas en las zonas de monitoreo (Roldan, 2016; Forero, 2017).

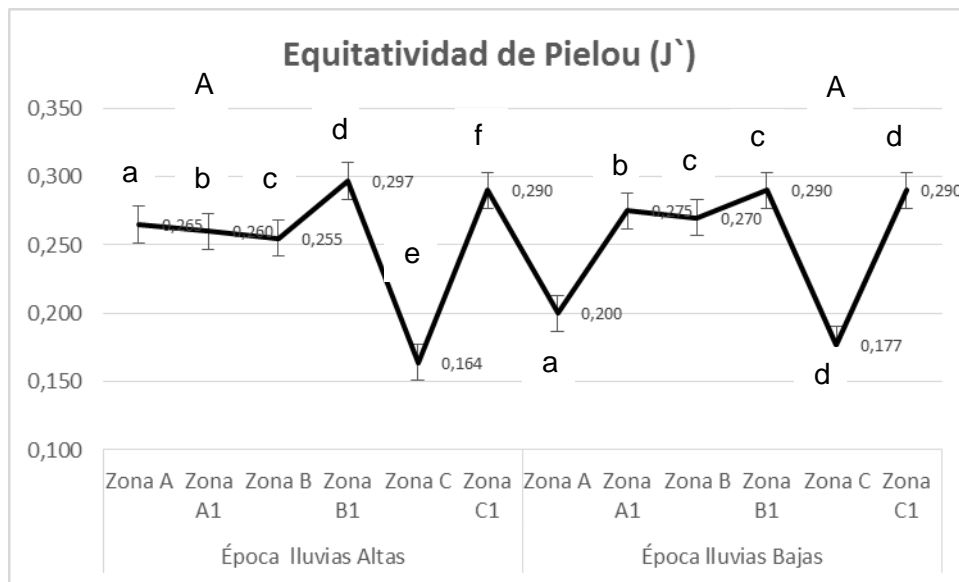
**6.5.2.1. Índice de Equidad de Pielou (J')**: El índice de equidad de Pielou en época de lluvias altas presenta valores de 0,265; 0,255 y 0,164 para las zonas A, B y C que corresponden a las unidades de cultivo, mientras que para las zonas que representan los puntos control A1, B1 y C1, los valores obtenidos son 0,260, 0,297 y 0,290 respectivamente. De igual forma los valores obtenidos en época de lluvias bajas son de 0,200; 0,270 y 0,177 para las zonas de cultivo A, B y C. Las zonas A1, B1 y C1 que representan los puntos control, los valores de equidad de especies obtenidos son 0,275; 0,290 y 0,290 respectivamente (Figura 67). Los resultados de Equidad de Pielou obtenidos para las zonas de monitoreo se presentan en la tabla 26.

El Anova indica que no existen diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las épocas de lluvia, sin embargo, se encontraron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre algunas zonas de estudio (Figura 67). La prueba comparativa múltiple de Tukey arrojó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las zonas de estudio, donde los valores más altos de equidad se presentan en los puntos control (A1, B1 y C1) en época de lluvias altas, con medias estadísticas de  $0,268 \pm 0,003$ ;  $0,294 \pm 0,003$  y  $0,293 \pm 0,003$  respectivamente. Solo el punto control A1 muestra diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con respecto a B1 y C1. Por el contrario, los valores más bajos de equidad se presentan de igual forma en lluvias altas en las zonas de cultivo con medias estadísticas de  $0,235 \pm 0,003$  para la zona A,  $0,263 \pm 0,003$  para B y  $0,172 \pm 0,003$  para la zona C, las cuales presentan diferencias significativas entre sí ( $P < 0,05$ ). Las pruebas y supuestos estadísticos se presentan en el anexo W.

**Tabla 26.** Índice de Equidad de Pielou (J'): por época de lluvias y zonas de muestreo

Parámetros comunitarios en las áreas de muestreo												
Pielou (J')	Época Lluvias Altas						Época Lluvias Bajas					
	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
	0,265	0,260	0,255	0,297	0,164	0,290	0,200	0,275	0,270	0,290	0,177	0,290

**Figura 67.** Valores comparativos del Índice de Equidad de Pielou (J')



A y B, diferencias significativas entre épocas de lluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas

El objetivo de medir y analizar la equidad de las especies mediante el índice de equidad de Pielou, es identificar la proporción de la diversidad que se observa en las especies recolectadas en relación a la máxima diversidad que se espera obtener donde los valores más cercanos a uno nos permiten describir que todas las especies encontradas en cierto ecosistema son igualmente abundantes, lo que permite determinar en cierto grado el estado ecológico-ambiental de dicho ecosistema (Magurran, 1998; Ferríol y Merle, 2012; Roldan, 2016).

Al igual que la diversidad, la equidad de Pielou no presenta diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre épocas de lluvia, sin embargo la mayoría de zonas de muestreo (Jaulas de cultivo y puntos control), muestran diferencias significativas entre sí ( $P < 0,05$ ), principalmente en lluvias altas. Los mayores índices de equidad se obtienen principalmente en los puntos control (A1, B1 y C1) en las dos temporadas mientras que

en las zonas de cultivo la equidad tiende a ser menor. No obstante los índices obtenidos representan bajas equidades puesto que se acercan más a cero.

González et al (2018), reporta índices de equidad de 0,71 y 0,64 en zonas de cultivo establecidas en el Lago Guamuez, mientras que en el punto control la equidad es menor (0,31). Gómez y Salazar (2015), en su análisis de índices bióticos mediante el uso de macroinvertebrados en la Laguna la virginia en el páramo de Sumapaz, la cual presenta condiciones similares al Lago Guamuez, exponen una baja diversidad de Shannon y escasa equidad de Pielou, así como una alta dominancia de las especies encontradas, lo que permite determinar que existe un grado de intervención por parte de las actividades acuícolas, puesto que las especies de macroinvertebrados identificadas en los puntos control son indicadores de buena calidad del agua, mientras que familias como *Chironomidae* presentes en su mayoría en las jaulas de cultivo representan agua con algún grado de contaminación.

Estrada (2013), reporta un promedio del índice de equidad 0.74 en cuatro sistemas lacustres de alta montaña en Zamorano Honduras, siendo mayor a los índices aquí obtenidos. En general, la diversidad y equidad de los macroinvertebrados acuáticos está asociada con el estado ecológico de los cursos de agua (Weissinger et al, 2012), por lo cual cada sistema lacustre presenta condiciones particulares de carácter natural o antropogénico que lo hacen único, por lo cual las bajas equidades obtenidas en el lago Guamuez, hacen referencia a las escasas taxas encontradas debido a la baja productividad en los sedimentos analizados.

**6.5.2.3. Índice de riqueza de Margalef ( $D_{mg}$ ):** Los valores de riqueza obtenidos en época de lluvias altas son 0,583 para la zona A, 0,727 para A1, 0,598 para B, 0,476 para B1, 0,813 para C y 0,438 para la zona C1. En época de lluvias bajas los valores obtenidos son 0,557 para la zona A, 0,657 para la zona A1, 0,568 para B, 0,376 para B1, 0,777 para la zona C y finalmente 0,369 para la zona C1 (Figura 68). Los valores de riqueza de Margalef para las especies de macroinvertebrados obtenidos en las zonas de muestreo se presentan en la tabla 27.

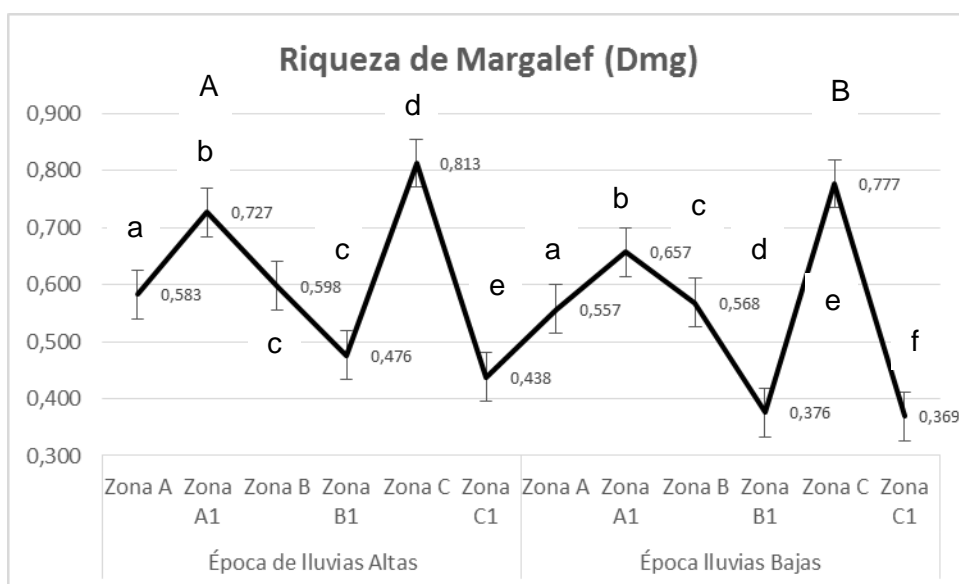
Según el Anova, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las épocas de lluvia, al igual que entre zonas de estudio (Figura 68). La prueba comparativa múltiple de tukey, estableció diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre época de lluvias altas y bajas, donde la primera presenta el mayor valor de riqueza con una media de  $0,604 \pm 0,002$ ,

mientras que lluvias bajas presenta una media estadística de  $0,550 \pm 0,002$ . De igual forma existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre las zonas de estudio, donde los valores más altos de riqueza se presentan en la zona de cultivo C ubicado en la parte baja de la laguna (El Naranjal) y el punto control A2 en la parte alta (El motilón). Por otra parte, la menor riqueza de macroinvertebrados se presenta en los puntos control B1 y C1, veredas Santa Teresita y Naranjal, con medias estadísticas de  $0,425 \pm 0,003$  para B1 y  $0,403 \pm 0,003$  para C1. Entre las zonas de cultivo A y B no existen diferencias significativas entre sí ( $P > 0,05$ ). Este comportamiento es similar para las dos épocas de lluvias. Las pruebas y supuestos estadísticos se presentan en el anexo X.

**Tabla 27.** Índice de riqueza de Margalef ( $D_{mg}$ ) por época de lluvias y zonas de muestreo

Parámetros comunitarios en las áreas de muestreo												
Margalef ( $D_{mg}$ )	Época de lluvias Altas						Época lluvias Bajas					
	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
	0,583	0,727	0,598	0,476	0,813	0,438	0,557	0,657	0,568	0,376	0,777	0,369

**Figura 68.** Valores comparativos del Índice de riqueza de Margalef ( $D_{mg}$ )



A y B, diferencias significativas entre épocas de lluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas

El índice de riqueza de especies de Margalef implica la estimación de la biodiversidad de una comunidad determinada dentro de un ecosistema, basándose en la distribución

numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada (Margalef, 1958; Motta et al., 2017). El uso de este índice en el análisis de macroinvertebrados como indicadores biológicos de calidad del agua utilizada para acuicultura, nos permite determinar qué tan prolifera es la existencia de cierta especie que puede o no, ser tolerante a la contaminación, reflejando el estado ecológico-ambiental del cuerpo de agua.

A diferencia de los índices de Shannon y Pielou, la riqueza de Margalef presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre épocas de lluvia, donde la mayor riqueza se presentó en la temporada de lluvias altas. De igual forma las zonas de estudio presentaron diferencias entre sí ( $P < 0,05$ ) a excepción de las zonas de cultivo A y B en época de lluvias altas. El mayor valor de riqueza se presentó en la zona de cultivo C, mientras que los menores valores de este índice se presentan en los puntos control B1 y C1, comportamiento similar en las dos temporadas de lluvia.

Teniendo en cuenta que la mayoría de familias de macroinvertebrados recolectadas e identificadas taxonómicamente en las zonas de cultivo son indicadoras de aguas con cierto grado de contaminación y donde el índice de riqueza es mayor, se determina que existe un grado de contaminación ambiental en estas zonas por parte de los cultivos piscícolas, sumado a otro tipo de contaminación de carácter antrópico (Gunard, 2013).

González et al (2018), reporta valores del índice de riqueza de  $2,08 \pm 0,415$  y  $1,94 \pm 0,415$  para zonas de cultivo, siendo mayores a los reportados en este estudio; sin embargo, valores menores a 2 representan bajas riquezas de comunidades de macrofauna bentónica, lo que se debe al bajo número de taxas existentes y recolectadas en el Lago, cuyas características lo catalogan como oligotrófico (Margalef, 1958).

La riqueza de especies se asocia preferiblemente con épocas de lluvias intensas, donde la proliferación de insectos y el desarrollo de sus fases larvales permiten identificar la condición espacio-temporal del cuerpo de agua (Huanaco et al., 2018).

**6.5.2.4. Índice de dominancia de Berger–Parker (B).** Para la época de lluvias altas, los valores de dominancia para las zonas de cultivo A, B y C son 0,485; 0,517 y 0,555 respectivamente; mientras que los puntos control A1, B1 y C1, presentan valores de dominancia de 0,403; 0,433 y 0,479. Mientras tanto, en lluvias bajas los valores reportados para las zonas de cultivo son 0,461 para la zona A, 0,469 para la zona B y 0,512 para la

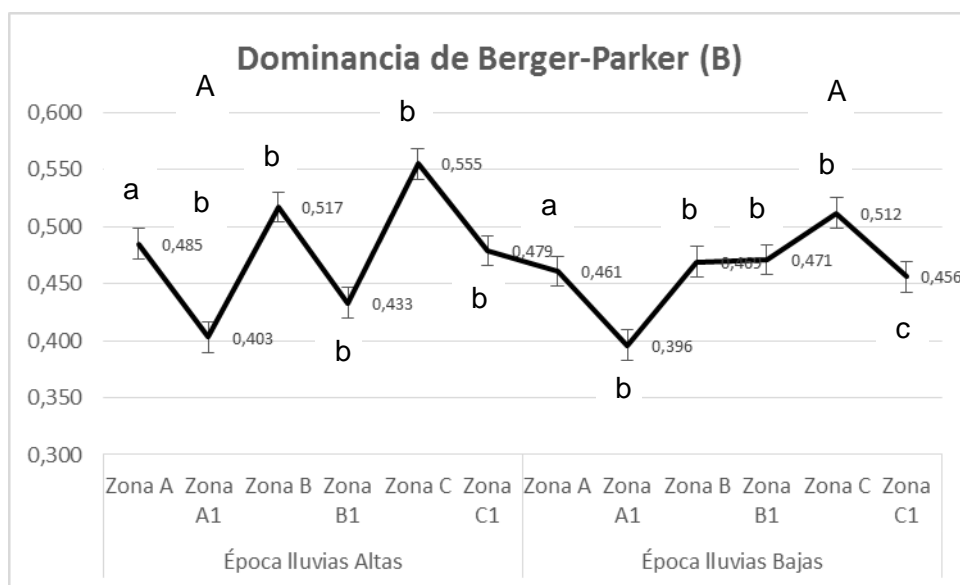
zona C. Los puntos control A1, B1 y C1 reportan valores de 0,396; 0,471 y 0,456 respectivamente (Figura 69). Los valores de dominancia para las zonas de estudio se presentan en la tabla 28.

Según el Anova, no se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre épocas de lluvia (Figura 69). La prueba comparativa múltiple de tukey, estableció que no existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las zonas de estudio A, B, B1 y C1. Las diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) se presentan en las zonas A1 y C entre sí y con respecto a las anteriores. El mayor valor de dominancia se presenta en época de lluvias altas en la zona de cultivo C (parte baja de la laguna, vereda El Naranjal), con una media de  $0,534 \pm 0,008$  y por el contrario el menor valor se presenta en el punto control A1 (parte alta de la laguna, vereda El Motilón) con una media estadística de  $0,401 \pm 0,008$  en la misma época de lluvias. Los supuestos y pruebas estadísticas se presentan en el anexo Y.

**Tabla 28.** Índice de dominancia de Berger–Parker (B) por época de lluvias y zonas de muestreo

Parámetros comunitarios en las áreas de muestreo												
Berger-Parker (B)	Época Lluvias Altas						Época Lluvias Bajas					
	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.	Zon A.	Zon A1.	Zon B.	Zon B1.	Zon C.	Zon C1.
	0,485	0,403	0,517	0,433	0,555	0,479	0,461	0,396	0,469	0,471	0,512	0,456

**Figura 69.** Valores comparativos del Índice de dominancia de Berger–Parker (B)



A y B, diferencias significativas entre épocas de lluvia. a, b, c y d, diferencias significativas entre zonas



El índice de Beger-Parker presenta una relación inversa con la diversidad, puesto que a mayor dominancia de una especie existe una menor diversidad entre las especies existentes en la comunidad analizada. Mientras el índice se acerque más a 1, significa que hay una mayor presencia de la especie Dominante, y, por el contrario, cuando su valor se acerca a 0, existe una mayor diversidad y riqueza de especies (Jiménez, 2012). Su importancia en ecología y limnología, como en el estudio de macroinvertebrados utilizados como bioindicadores, radica en que si la dominancia se presenta en especies tolerantes a la contaminación, es significado de alerta que presume que la zona analizada en el ecosistema acuático no se encuentra en buenas condiciones ambientales (Newman, 2003).

El índice de dominancia no presentó diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre épocas de lluvia. Con respecto a zonas de muestreo, en temporada de lluvias altas solo el punto control A1 perteneciente a la parte alta de la laguna presento diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), mientras que en época de lluvias bajas solo presentaron diferencias las zonas de punto control A1 y la zona de cultivo C. A pesar de no existir diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ), entre la totalidad de las zonas, los menores valores de dominancia se presentan en los puntos control A1 y C1.

Esto demuestra que las especies encontradas en los puntos control y que son indicadoras de buena calidad de agua como *Libellulidae*, *hydrobiosidae* e *Hydrachnidae* son menos dominantes que las obtenidas en zonas de cultivo como la zona C cuyas especies hacen presencia en zonas de mayor intervención ambiental como lo son *Chironomidae*, *Thiaridae*, *Ampullariidae* y *Planaridae* (Roldan, 2016). Esto demuestra que existe un grado de afectación ambiental y contaminación por parte de las jaulas de cultivo de trucha arcoíris monitoreadas en el Lago Guamuez (López y Salas, 2013; González, 2018).

Meza et al (2012) en su estudio de calidad de agua en el río Chinchina, al igual que Pantoja et al (2003) en su investigación realizada en lagos del altiplano cundiboyacense, reportan valores similares a los aquí obtenidos, siendo valores que corresponden a una baja diversidad y alta dominancia sobre todo en las zonas de cultivo, situación que tiende a indicar mala de calidad de agua (Gnohossou et al., 2009; Morelli y Verli, 2014).

## **6.6 ANÁLISIS DE ESTADÍSTICOS MULTIVARIADOS**

A continuación, se muestran los análisis estadísticos multivariados realizados para determinar la correlación y comportamiento de las variables físicas y químicas tanto en agua como en sedimentos que se analizaron en este estudio. Los estadísticos descritos corresponden al análisis de correlación múltiple, análisis discriminante y análisis de componentes principales.

### **6.6.1. Análisis de correlación múltiple**

En este aparte se pretende realizar un análisis conciso y preciso de las variables que presentan mayor relación entre ellas y la importancia de los cambios ambientales y ecológicos en las zonas influenciadas por los cultivos acuícolas. Los resultados generales del análisis de correlación múltiple entre las variables de estudio, el valor de Pearson, el P valor y su relación negativa o positiva entre las mismas se pueden observar en la tabla 29 y el Anexo Z.

#### **6.6.1.1. Análisis de correlación múltiple parámetros fisicoquímicos**

Una vez realizada la correlación entre todas las variables de estudio, se analiza el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos con el resto de variables, donde se puede observar que el oxígeno disuelto presenta una correlación alta y positiva con el pH de los sedimentos con un valor de Pearson ( $r$ ) de 0,6237, alta y negativa con la profundidad y sólidos suspendidos ( $r$  de -0,6399 y -0,6065 respectivamente). Este comportamiento es característico de aguas lenticas puesto que el oxígeno es el motor de funcionamiento del ciclo vital de las especies por lo tanto en sedimentos a un pH más alcalino significa mayor presencia de oxígeno (Torres et al., 2016; Benjumea y Álvarez, 2017). De igual forma la relación inversa con la profundidad y sólidos suspendidos refleja el normal funcionamiento del ecosistema; a mayor profundidad en la columna de agua el oxígeno comienza a disminuir, al igual que a mayor presencia de sólidos suspendidos la disponibilidad de oxígeno también se ve afectada, relación que se refleja también en el comportamiento de los sedimentos (Burbano et al., 2019). El comportamiento estadístico de estas variables es característica de cultivos acuícolas establecidos en sistemas abiertos, puesto que la disposición de residuos sólidos y líquidos provenientes del cultivo modifican las condiciones de los sedimentos y con ello la disminución o aumento del oxígeno disuelto (Hahn et al., 2018).

La temperatura solo presentó dos correlaciones, una de forma alta y negativa con la turbidez ( $r -0,7536$ ), y la otra baja y positiva con la transparencia ( $r 0,3107$ ). La turbidez ocasiona diversas alteraciones en las aguas y en los cultivos de trucha, puesto que las partículas suspendidas absorben la radiación infrarroja, lo que ocasiona un aumento de la temperatura siendo su relación directamente proporcional (Gerard et al., 2018). Por otra parte, la transparencia siendo un reflejo inverso de la turbidez en la columna de agua, se relaciona de forma directa con la temperatura, aunque su relación es baja, en aguas transparentes la temperatura suele ser más constante lo que beneficia al equilibrio de la estructura del ecosistema acuático, como al cultivo que se establezca en el mismo.

Con respecto a la conductividad eléctrica, presentó correlaciones altas y positivas con las variables DBO ( $r 0,7415$ ), DQO ( $r 0,809$ ), dureza ( $r 0,8795$ ), Materia orgánica ( $r 0,7634$ ), nitrógeno total de sedimentos ( $r 0,6331$ ), oxígeno disuelto ( $r -0,7363$ ) pH de sedimentos ( $r -0,7497$ ), fósforo total sedimentos ( $r 0,628$ ) y zona ( $r -0,7569$ ). Las correlaciones bajas y medias se muestran en la tabla 28. Parámetros como la DBO, DQO y MO están estrechamente relacionados con la CE, puesto que dependen de la presencia de iones, su nivel de concentración, movilidad en el cuerpo de agua, lo que proporciona información acerca de la productividad primaria, descomposición de la materia orgánica, e igualmente contribuye a la detección de fuentes de contaminación (Faña, 2002), es por ello que su relación es directa puesto que a mayor conductividad mayor es el contenido de sólidos en el agua.

Si observamos las correlaciones más altas, estas se presentan con parámetros relacionados a los sedimentos (nitrógeno total, Fósforo total y pH), esto puede deberse a que en los sedimentos se depositan mayor cantidad de nutrientes provenientes de los cultivos, lo que hace que haya un mayor número de iones aumentando la conductividad eléctrica (Meza y Sepúlveda, 2012).

Finalmente, para este parámetro la zona de ubicación de las jaulas también es influyente y se correlacionan de forma alta y positiva, siendo coherentes con los resultados obtenidos en los estadísticos univariados, donde los mayores valores de conductividad se presentan en las zonas de cultivo a diferencia de las zonas de punto control. En la tabla 28, también se puede observar que variables como el nitrógeno total del agua y sólidos suspendidos presentan correlaciones medias positivas dando consecuencia a lo descrito para las

anteriores variables, y variables como la transparencia presentan una relación media y negativa con este parámetro, puesto que según Roldan (2014), aguas con mayores transparencias presentan menor presencia de sólidos en cualquiera de sus estados y con ello menor presencia de iones que aumentan la CE, y aunque se relacionen su comportamiento es inverso.

El potencial de hidrógeno (pH), es otra de las variables analizadas en este estudio y que presenta una correlación alta y positiva con la transparencia ( $r$  0,6308), por lo que a medida que aumenta la transparencia, el pH tiende a ser más alcalino. Por otra parte, variables como el fósforo total ( $r$  -0,9093), sólidos disueltos ( $r$  -0,9139), temperatura ( $r$  -0,8505) y turbidez ( $r$  -0,9181), presentan correlaciones altas pero negativas. Según Aragón (2014) la transparencia permite determinar el nivel de afectación de la columna de agua por sustancias que se encuentren disueltas y las partículas en suspensión, es por ello que su relación con el pH está estrechamente correlacionada, puesto que a mayor número de partículas disueltas o suspendidas en el agua que podrían representar contaminación y baja transparencia, los niveles de pH pueden tornarse más ácidos.

Por el contrario, compuestos fosfatados y sólidos disueltos provenientes de cultivos acuícolas ocasionan que los niveles de pH disminuyan notablemente, siendo su correlación muy alta pero inversa. La presencia de estos compuestos determina niveles mayores de turbidez y temperaturas mucho más altas en las zonas de influencia de los cultivos (De Anda y Maniak, 2007, comportamiento ambiental que se demuestra en este análisis estadístico, puesto que en sistemas lacustres abiertos y de aguas lenticas lo ideal es mantener una temperatura entre los 11 y 15° con pH ligeramente alcalinos, variables productivas que se manejan en el Lago Guamuez. Algunas variables como los sólidos disueltos presentan una correlación media y negativa con el pH, mientras que la profundidad y la zona se correlacionan de forma baja con este parámetro la primera siendo negativa y la segunda de forma positiva; lo que demuestra que a mayor profundidad el pH disminuye, mientras que en las zonas de cultivo el pH es mayor en los puntos control que en los cultivos acuícolas (González et al., 2018; Burbano et al., 2019).

La Dureza del agua presentó correlaciones altas y positivas con las variables época, materia orgánica, nitrógeno total de sedimentos y fósforo total de sedimentos ( $r$  0,654; 0,9101; 0,7189 y 0,6811 respectivamente). Este parámetro presentó sus mayores valores en épocas de lluvias bajas, por lo cual en dicha época si bien es cierto el ingreso de MO al

lago es menor, sus aguas presentan menor turbulencia y recambio, por lo que los residuos de los procesos acuícolas tienden a sedimentarse con mayor facilidad (López y Salas., 2013; González, 2018); esto demuestra las altas correlaciones con la MO, NT y PT de los sedimentos. Así mismo la dureza presenta correlaciones altas, pero de forma negativa con el oxígeno disuelto ( $r -0,8212$ ), pH de los sedimentos ( $r -0,8212$ ) y con la variable zona ( $r -0,6062$ ). Cuando un cuerpo de agua recepciona residuos provenientes de la acuicultura, los niveles de dureza tienden a aumentar, lo que ocasiona mayor productividad primaria y con ello mayor consumo de OD (Roldan, 2003).

Así mismo el comportamiento del pH de los sedimentos en relación a la dureza, ya que lo normal es que el agua dura implica un pH alcalino y agua blanda un pH ácido, sin embargo, se debe tener en cuenta los organismos vivos que se encuentran en el ecosistema, tanto los animales en cultivo, como los propios de flora y fauna acuática de la zona (Laino et al., 2015; González, 2017). En la tabla 28 se muestran las correlaciones medias y bajas entre la dureza y otras variables de importancia ecológica y ambiental.

Por otra parte, la alcalinidad presentó correlaciones altas y positivas con las variables época ( $r 0,7066$ ), Temperatura ( $r 0,7081$ ) y transparencia ( $r 0,7661$ ). Este parámetro tendió a aumentar considerablemente en época de lluvias bajas, donde las aguas del Lago Guamuez se tornan más tranquilas y transparentes, puesto que presentan una menor recepción de nutrientes y materia orgánica por parte de los afluentes, al igual que por el escurrimiento de los diferentes cultivos agropecuarios presentes en el Lago (Pardo et al., 2009). Con respecto a la temperatura, un aumento de la misma aumentará la solubilidad y la disociación de las sales, ácidos y bases, especialmente de ácidos y bases débiles, aumentando la concentración de iones presentes en la columna de agua. Además, al aumentar la temperatura disminuirá la viscosidad y se incrementará la movilidad de los iones, y junto a esto, las actividades de los cultivos flotantes en la laguna permiten que la temperatura aumente, tanto por la presencia de los animales en confinamiento como los procesos de alimentación y siembra y cosecha, permitiendo aumentos en la  $T^\circ$  y por ende cambios representativos en la alcalinidad (Vásquez et al., 2014; Rozo, y Salinas, 2016).

Por el contrario, la alcalinidad presentó correlaciones altas pero negativas con las variables Nitrógeno total ( $r -0,9241$ ), pH ( $r 0,9035$ ), fósforo total ( $r -0,9674$ ), sólidos disueltos ( $r -0,9012$ ), sólidos suspendidos ( $r -0,6767$ ), y turbidez ( $r -0,9479$ ). Como se puede observar los resultados son enfáticos en el comportamiento de esta variable en relación a las

variables aquí relacionadas; mientras haya mayor presencia de nutrientes y sólidos, es más que razonable que la alcalinidad tienda a disminuir sin importar la época de lluvias (Marcó et al., 2004), por lo que se puede afirmar que los cultivos acuícolas de las zonas muestreadas son los responsables del incremento de nutrientes, acides del pH y mayor turbidez, por lo que la alcalinidad y basicidad del agua se ven afectadas y relacionadas de forma inversa (López, 2008; CORPONARIÑO, 2014). Las variables que presentaron bajas correlaciones se presentan en la tabla 28, al igual las que no presentaron ningún tipo de correlación con la alcalinidad se muestran en el anexo Z.

Con respecto al parámetro de turbidez, esta solo presentó una correlación media y negativa con la variable zona, con un valor de Pearson de -0,4207. Como se demostró en resultados anteriores, las zonas de cultivo A, B y C presentaron los mayores niveles de turbidez a diferencia de los puntos control (A1, B1 y C1). Según Contreras y Polo (2012); Caballero 2016 y Solar (2017), los cultivos piscícolas afectan notablemente la turbidez del agua, puesto que los residuos de los procesos de cultivo generan materia orgánica, inorgánica, sólidos y mayor sedimentación.

Por otra parte, la transparencia arrojó una correlación alta y negativa con la turbidez ( $r = -0,7173$ ) y media y positiva con la variable zona ( $r = 0,5121$ ). Como se puede demostrar en los resultados, a mayor turbidez menor transparencia, lo que se debe a la materia orgánica e inorgánica aportada por los cultivos acuícolas (Contreras y Polo, 2012), la cual disminuye de forma considerable en las zonas de cultivo a comparación a los puntos control.

#### **6.6.1.2. Análisis de correlación múltiple parámetros fisicoquímicos en sedimentos**

La materia orgánica demostró correlación alta y positiva con el nitrógeno total en sedimento ( $r = 0,8209$ ), alta y negativa con el oxígeno disuelto ( $r = -0,6627$ ), alta y negativa con el pH del sedimento ( $r = -0,9296$ ), alta y positiva con el fósforo total del sedimento ( $r = 0,8093$ ) y alta y positiva con la temperatura ( $r = 0,6133$ ). Las correlaciones medias y bajas se muestran en la tabla 28, al igual que las variables que no presentaron ningún tipo de correlación con la materia orgánica se muestran en el anexo Z.

Como se puede observar, las correlaciones múltiples nos demuestran la interacción directa e indirecta de la materia orgánica con las demás variables presentes en el sedimento, principalmente con los nutrientes fósforo y nitrógeno quienes son el componente principal de la MO generada por procesos acuícolas (Quiroz et al., 2014; González, 2018). Las

correlaciones altas y positivas con estos dos compuestos se presentan ya que, a mayor MO, mayor es la concentración de N y P en el sedimento de los cuerpos de agua lenticos y característicos de alta montaña (Solano, 2005). Con respecto al oxígeno y el pH, la relación de la materia orgánica es inversa, puesto que, al haber mayor cantidad de MO, el oxígeno disuelto presenta mayor consumo por parte de las bacterias y microorganismos aerobios que toleran mayores niveles de contaminación, al igual el pH en los sedimentos tiende a acidificarse, puesto que la descomposición de MO llega al suelo como producto de la desintegración de los residuos orgánicos generados por los cultivos (Mosquera y Mosquera, 2017).

El fósforo total de los sedimentos, presenta una correlación alta y positiva con los sólidos suspendidos ( $r = 0,6475$ ), alta y negativa con la transparencia ( $r = -0,7121$ ) y media y negativa con la zona ( $r = -0,4303$ ). Según (Pérez, 2016) la fuerte relación entre el fósforo total en sedimentos y los sólidos suspendidos se debe a la interacción agua – sedimento donde los procesos de suspensión de los sólidos provenientes de los cultivos y autóctonos de la zona incrementan las concentraciones de fósforo en el sedimento el cual finalmente es el receptor y depósito de los residuos orgánicos e inorgánicos, aún más en sistemas lenticos donde la tasa de recambio es mucho menor a comparación de los sistemas loticos.

Como se describió en la variable materia orgánica, a mayor presencia de esta, mayor son las concentraciones de nutrientes, lo que puede ser relacionado con una mayor contaminación y reducción notable de la transparencia preferiblemente en las zonas de cultivo a diferencia de las zonas sin intervención directa de la acuicultura (Solar, 2017).

Por otra parte, el nitrógeno total de sedimentos presentó correlaciones altas y positivas con las variables fósforo total de sedimentos y sólidos suspendidos ( $r = 0,9761$  y  $r = 0,6182$ ), lo que se debe a mayor concentración de nutrientes que inicialmente se suspenden en la columna de agua y caen depositándose en los sedimentos. Los resultados univariados nos demuestran que las zonas de cultivo presentan mayores niveles de nutrientes y MO, es por ello que su relación es tan estrecha y representa síntomas de contaminación (Velasco et al., 2015). Las correlaciones del NT de sedimentos con respecto a las variables pH de sedimentos y transparencia son altas y negativas ( $r = -0,9388$  y  $r = -0,6298$ ) situación que según Burbano et al (2018), es un comportamiento normal en aguas lenticas de alta montaña receptoras de procesos acuícolas debido que a sus bajas temperaturas y aún más a profundidad permiten que el NT interactúe con las bacterias nitrificantes presentes en

el sedimento, acidificando el mismo, generando procesos de descomposición de materia orgánica y con ello reducción de la transparencia; las correlaciones medias y bajas se presentan en la tabla 28.

Por otro lado, tenemos la variable pH, la cual presentó correlación alta y de forma negativa con el fósforo total de los sedimentos, comportamiento que se presenta debido a que los cultivos piscícolas proporcionan mayores niveles de fosfatos gracias al alimento suministrado, lo que permite mayores niveles de eutrofización principalmente en las zonas de cultivo, acidificando los sedimentos del área de influencia (López y Salas, 2013). Las correlaciones del pH presente en los sedimentos con variables como la zona y transparencia fueron medias y negativas puesto que en las zonas de cultivo la transparencia fue menor al igual que los niveles de pH, comportamientos que demuestran cierto grado de afectación en la calidad de los sedimentos. Finalmente, el pH arrojó una correlación baja y negativa con la temperatura y media y negativa con los sólidos suspendidos (Tabla 28).

#### **6.6.1.3. Análisis de correlación múltiple en nutrientes del agua, DBO5, DQO, Sólidos suspendidos y sólidos disueltos.**

El nitrógeno total presenta una correlaciones altas y positivas con el fósforo total del agua, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, y turbidez ( $r$  0,8893,  $r$  0,8325,  $r$  0,7576, y  $r$  0,8662 respectivamente), según Velazco et al., 2012 y Corpoboyacá, 2016 los procesos acuícolas aportan significativamente sólidos en todas sus formas, lo que aumenta la turbidez del agua, al igual que las concentraciones de fósforo y nitrógeno cuya relación y proporción es directa. Por otra parte, el nitrógeno total presentó correlaciones altas y negativas con el pH del agua ( $r$  -0,7506), y con la transparencia ( $r$  -0,8572). Como es de esperar los comportamientos de estas variables responden a los efectos negativos que causas los cultivos presentes en las zonas de estudio; puesto que en comparación a las zonas control, las zonas de cultivo presentaron mayores niveles de nitrógeno total y menores niveles de pH y transparencia, lo que concuerda con González et al (2018) y Burbano et al (2019) quienes en sus estudios de impacto ambiental y calidad del agua en el Lago Guamez reportaron incremento de nitrógeno en las áreas de cultivo en las dos épocas de lluvia, al igual que reducción en el pH y transparencia.

A pesar de que los niveles de nutrientes y parámetros fisicoquímicos analizados en este estudio demuestran cierto grado de afectación a causa de los cultivos de trucha arcoíris,



los niveles están dentro de los rangos aceptables de calidad de agua (Del Río et al., 2016); sin embargo, según Solano (2005), el aporte de nutrientes como nitrógeno y fósforo mediante sólidos y materia orgánica incrementan las probabilidades de eutrofización y contaminación.

El fósforo total presentó el mismo comportamiento que el nitrógeno total, con correlaciones altas y positivas con las variables sólidos disueltos, sólidos suspendidos y turbidez ( $r$  0,908,  $r$  0,6308,  $r$  0,9611 respectivamente). Estos resultados ratifican la afectación y contibución de macronutrientes a la calidad del agua por parte de los procesos acuícolas (Anderson et al., 2016; Cederlof, 2016), puesto que el fósforo presenta una estrecha dependencia con los sólidos disueltos y sólidos en suspensión (Sande et al., 2005). Por otra parte, esta variable presentó correlaciones altas y negativas con la temperatura ( $r$  -0,7216) y la transparencia ( $r$  -0,7536). Según Carrera et al (2018), la temperatura se incrementa en época seca o de lluvias bajas, lo que incrementa también la radiación solar influyendo en las concentraciones de fósforo, mientras que la transparencia se redujo notablemente en las zonas de cultivo donde los niveles de fósforo se incrementan.

La demanda biológica de oxígeno  $DBO_5$  presentó correlaciones altas y positivas con las variables DQO ( $r$  0,9637), dureza ( $r$  0,9191), época (0,7283), materia orgánica ( $r$  0,9637), nitrógeno total en sedimentos ( $r$  0,8193), fósforo total en sedimentos ( $r$  0,772) y temperatura ( $r$  0,6329). Estos resultados demuestran la interacción ecológica y ambiental entre las variables de influencia en la  $DBO_5$ ; la concentración de fósforo y nitrógeno en sedimentos al igual que la materia orgánica son factores primordiales para la presencia de organismos aerobios como bacterias (Burbano, 2018), micro algas y macroinvertebrados (Roldan, 2016). De igual forma la dureza y la temperatura influyen notablemente en la calidad del agua y por ende en el consumo de oxígeno, puesto que las zonas de cultivo presentaron mayores valores de  $DBO_5$  en comparación a los puntos control, demostrando que los residuos del concentrado, materiales de limpieza y desinfección, medicamentos y los mismos desechos de los peces incrementan los niveles de NT, PT y MO, al igual que incrementan la dureza del agua y la temperatura (González, 2017).

Por otra parte, la  $DBO_5$  presentó correlaciones altas y negativas con el oxígeno disuelto ( $r$  -0,7302) y el pH de los sedimentos (-0,9005), comportamiento normal e indirecto entre dichas variables. Según CORPONARIÑO (2014) y Faña (2002) a mayor  $DBO_5$  la

disponibilidad de oxígeno disminuye lo que también reduce la alcalinidad acidificando el agua y los sedimentos.

La DQO presentó correlaciones altas y positivas con la dureza ( $r$  0,9183), materia orgánica ( $r$  0,9544), nitrógeno total de los sedimentos ( $r$  0,8904) y fósforo total de los sedimentos ( $r$  0,8641). Según Toro et al (2012) y Méndez, (2018), la DQO es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica por medios químicos, razón por la cual las correlaciones son directas con estas variables; puesto que a mayor cantidad de materia orgánica mayor es la concentración de fósforo y nitrógeno, lo que representa mayor grado de contaminación (López y Salas, 2013; Burbano, 2018), resultados que contrastan con los análisis obtenidos en este estudio, donde las zonas de cultivo presentan mayores valores de materia orgánica y nutrientes principalmente en sedimentos, siendo mayor también la DQO, lo que representa los impactos negativos de la acuicultura en la estabilidad hídrica y calidad del sedimento de los cuerpos de agua donde se realiza.

Por otra parte, la DQO presentó una correlación alta y negativa con el oxígeno disuelto ( $r$  -0,7359), comportamiento que Muñoz (2012), describe como intrínseco puesto que la DQO como factor de contaminación reduce la disponibilidad de oxígeno en los cuerpos de agua, viéndose esto reflejado en las zonas de cultivo a diferencia de los puntos control y sobre todo en época de lluvias altas. Las correlaciones medias y bajas de la DQO con otros parámetros se muestran en la tabla 28.

Los sólidos disueltos presentaron una correlación alta y positiva con la turbidez ( $r$  0,9181), mientras que con las variables temperatura y transparencia fueron altas y negativas ( $r$  -0,7311 y  $r$  -0,8187 respectivamente), al igual que los sólidos suspendidos cuya correlación con la transparencia también es alta y negativa ( $r$  -0,7386). Como es de esperarse las zonas de cultivo presentaron las mayores concentraciones de sólidos disueltos y suspendidos, lo que directamente aumenta la turbidez y disminuye la transparencia de la columna del agua. La presencia de partículas y sobre todo las que están en suspensión representan cierto grado de contaminación o intervención antrópica u autóctona de los sistemas lacustres (Chaux, 2013) y más en aquellos donde se realizan actividades que mantienen contacto directo como la acuicultura (Hoyos, 2011). Dichos parámetros deben ser vigilados y controlados para evitar contaminaciones de carácter químico que pueden alterar notoriamente los parámetros de calidad de agua y el aumento de nutrientes que

conlleven a problemas como la eutrofización, problema relevante en los sistemas lacustres abiertos donde se practica la acuicultura.

#### **6.6.1.4. Análisis de correlación múltiple en parámetros comunitarios de diversidad biológica (Diversidad de Shannon, Riqueza de Margalef, equitatividad de Pielou, dominancia de Berger Parker).**

Una de las correlaciones más representativas la presentó la diversidad de Shannon con la equitatividad de Pielou, siendo alta y positiva ( $r = 0,6614$ ), esto puede deberse a que la diversidad de macroinvertebrados bentónicos encontrados en el Lago Guamuez para este estudio es relativamente baja, con siete especies entre tolerantes y sensibles a la contaminación, lo que según Roldan (2016), cuando existen bajas diversidades, la comunidad tiende a hacer más uniforme y equitativa.

Por otra parte, la diversidad de Shannon presentó una correlación media y negativa con las zonas de estudio ( $r = -0,4453$ ) presentando especies que representan cierto grado de contaminación en las zonas de cultivo y especies representativas de una mejor calidad de agua en las zonas de punto control. Según Roldan (2016) y Figueroa (2018), la diversidad de especies de macroinvertebrados bentónicos refleja la uniformidad de las mismas sin importar en este caso si son o no indicadores de buena o mala calidad del agua; por lo cual la presencia de estos organismos se debe a las condiciones de mayor o menor contaminación encontrada en las zonas de estudio. Finalmente, la diversidad de Shannon presentó correlaciones bajas con el nitrógeno total, fósforo total y fósforo total en sedimentos, resultados que se muestran en la tabla 28.

La riqueza de Margalef no presentó correlaciones altas, sin embargo, se correlaciona de forma media y positiva con los sólidos disueltos ( $r = 0,418$ ) y media y negativa con las variables pH de los sedimentos ( $r = -0,4104$ ) y transparencia ( $r = -0,5565$ ), las correlaciones bajas se presentan en la tabla 28. Según Forero et al (2014), la contaminación de las aguas contrariamente, es un fenómeno que dé, manera general, puede ser analizado en la concentración de sólidos disueltos, por lo que la riqueza vista en el número de individuos presentes en el total de las muestras puede dejar un precedente de contaminación, lo que se observa en las zonas de cultivo principalmente en la parte alta de la cuenca donde las especies de macroinvertebrados encontradas indican ciertos grados de contaminación puesto que esta zona no solo recibe los desechos de producto acuícolas, sino que al

encontrarse más cerca del puerto turístico del Lago y al centro poblado pueden recibir también este tipo de residuos que posteriormente se convierten en sólidos disueltos.

Con respecto a la equitatividad de Pielou, esta variable, presentó correlaciones altas y negativas con la riqueza de Margalef, nitrógeno y fósforo de los sedimentos ( $r = -0,776$ ;  $r = -0,6245$ ;  $r = -0,6386$  respectivamente). Dichas correlaciones se presentan debido al bajo número de especies encontradas en el lago con un total de 7 familias de macroinvertebrados, lo que conlleva a que las muestras sean más equitativas y uniformes. Según Figueroa (2018), los macronutrientes como el fósforo y nitrógeno son fundamentales para la productividad primaria y con ello la presencia de macroinvertebrados bentónicos que se alimentan de la misma en sus estados larvales. Según González, 2017 y Burbano, 2018, a mayor concentración de nutrientes, mayor puede ser la contaminación presente en las zonas de estudio lo que se ha demostrado con el presente estudio puesto que la utilización de concentrados, medicamentos y detergentes para la producción y mantenimiento de las instalaciones acuícolas generan mayor cantidad de nitrógeno y fósforo en el agua y los sedimentos, lo que se ve reflejado en las zonas de cultivo en comparación a los puntos control. Otras correlaciones de nivel medio y bajo se presentan en la tabla 28.

La dominancia de especies de Berger Parker no presentó correlaciones altas con ninguna de las otras variables de estudio, sin embargo, presentó correlaciones medias y negativas con la diversidad de Shannon ( $r = -0,4679$ ) y equitatividad de Pielou ( $r = -0,4327$ ), resultados que son coherentes con la relación que manejan los índices de diversidad, ya que según Torres y Grandas (2017), a mayor dominancia hay una menor diversidad de las especies. Otras de las variables que presentaron correlaciones muy bajas con la dominancia de Berger Parker y que se muestran en la tabla 28, son la conductividad eléctrica, nitrógeno y fósforo total de los sedimentos, sólidos suspendidos, transparencia, y finalmente con las zonas de estudio donde la dominancia de especies tolerantes a la contaminación es mayor en las zonas de cultivo, mientras que los puntos control presentaron dominancias con especies indicadoras de buena calidad de agua (González, 2017).

Finalmente, el análisis de correlación múltiple, nos demuestra algunas correlaciones entre las épocas de lluvia y la profundidad con el resto de variables; donde las épocas presentaron correlaciones altas y positivas con la materia orgánica ( $r = 0,6426$ ), pH ( $r = 0,8539$ ) y la temperatura ( $r = 0,7999$ ), mientras que con las variables fósforo total ( $r = -0,7646$ ), sólidos

disueltos ( $r$  0,8321) y turbidez ( $r$  -0,7829) las correlaciones fueron de carácter alto y negativo. Jaya (2017), expone que, a mayor intensidad de lluvias y escorrentía superficial, parámetros como los aquí descritos tienden a aumentar debido al mayor ingreso de cargas contaminantes y materia orgánica por escurrimiento y aporte de efluentes. Con respecto a la profundidad se presentó una correlación media y positiva con los sólidos suspendidos y media y positiva con la temperatura ( $r$  0,5357 y  $r$  -0,4151 respectivamente), comportamiento normal en sistemas lenticos de alta montaña donde la profundidad aumenta y la presencia de sólidos suspendidos también aumenta con el propósito de sedimentarse, mientras que la temperatura tiende a disminuir por disminución de la intensidad solar y la mezcla de las capas entre el Epilimnion, Metalimnion e Hipolimnion (López, 2017).



## 6.6.2. Análisis Discriminante

Con el análisis discriminante se reflejó si existen diferencias significativas entre los conjuntos de las variables medidas sobre los mismos, para que en caso de que estas diferencias existan, se pueda explicar en qué sentido se dan y facilitar los procesos de clasificación sistemática de nuevas observaciones de origen desconocido en las zonas de muestreo en uno de los grupos analizados; esto con el fin de determinar las variaciones ecológico-ambientales que se pueden presentar en el Lago Guamuez a causa de la actividad acuícola de las empresas relacionadas en este estudio.

Este análisis mostró dos funciones correspondientes a Z1 y Z2, con nivel de significancia ( $p < 0,05$ ) (Tabla 30). La función discriminante Z1 obtuvo un porcentaje equivalente al 82,51% del total de la varianza, mientras que Z2, el valor representa 15,56%, sumando un 98,07% de la varianza total, lo que significa que hay un porcentaje significativo en cuanto a la información de las variables de estudio.

**Tabla 30.** Grado de significancia ( $p < 0,05$ ) de las funciones discriminantes.

Funciones Derivadas	Lambda de Wilks	Chi-Cuadrada	GL	Valor-P	Varianza	%	Correlación Canónica
Z <sub>1</sub>	3,281E-11	208,8364	15	0,0000	189,35	82,51	0,99990
Z <sub>2</sub>	1,70295E-7	426,0946	6	0,0000	78,596	15,56	0,99949

En la tabla 31, se presentan los coeficientes estandarizados de las dos funciones discriminantes (Z<sub>1</sub> y Z<sub>2</sub>) que fueron medidas en este estudio.

**Tabla 31.** Coeficientes de la función discriminante entre zonas de estudio.

Variables	Función Z <sub>1</sub>	Función Z <sub>2</sub>
Alcalinidad	-0,530478	-1,10004
Dominancia de Berger Parker	-0,00244059	0,365027
Conductividad Eléctrica	-0,144769	-0,837844
DBO <sub>5</sub>	-0,612662	-4,21036
DQO	-0,140031	-0,367512
Dureza	0,509431	0,812124

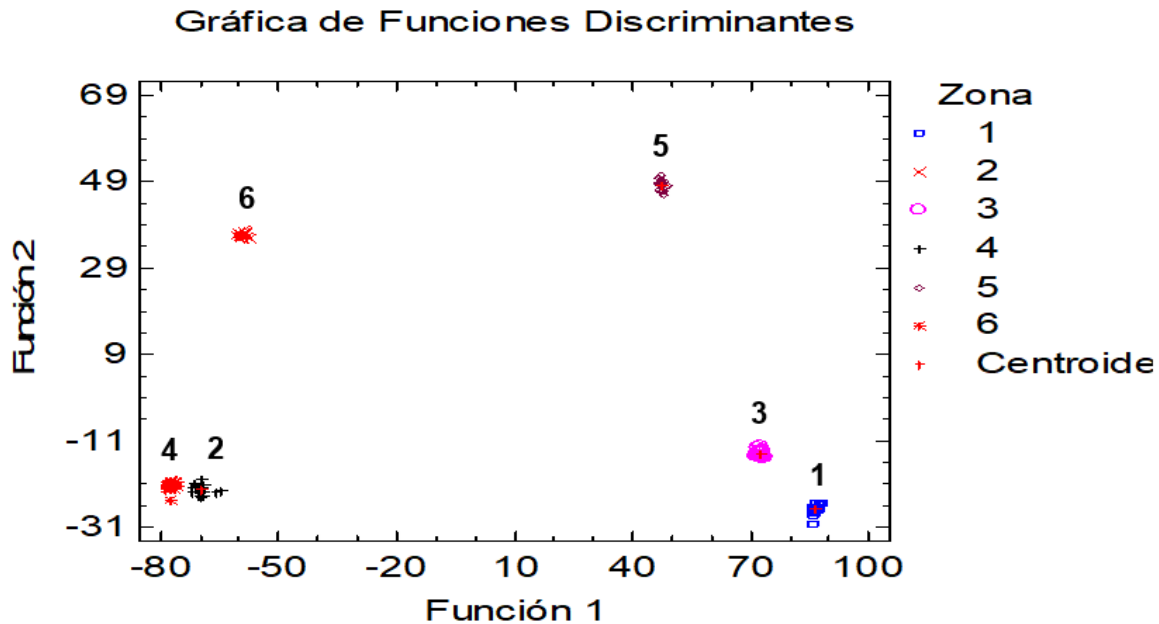
Época	-22,3313	14,9372
Estación	-0,00509734	0,00578038
Riqueza de Margalef	-0,715783	7,54378
Materia Orgánica	0,199967	-1,32713
Nitrógeno Total	0,60347	-0,966317
Nitrógeno Total sedimentos	7,11249	0,059246
Oxígeno Disuelto	0,161848	-1,37237
pH	-0,639951	-0,528354
pH sedimentos	1,7321	3,79556
Equitatividad de Pielou	-0,374505	-1,70701
Profundidad	-0,509734	0,578038
Fósforo Total	0,128063	0,998675
Fósforo Total sedimentos	19,6689	-2,90981
Sólidos Disueltos	2,28523	-1,27294
Diversidad de Shannon	1,99456	1,20511
Sólidos Suspendidos	0,446469	0,322208
Temperatura	-0,36414	0,647814
Transparencia	-0,902582	-0,0500351
Turbidez	-3,39445	-2,92779

Cada coeficiente refleja el peso de cada variable en la función discriminante. Z1 presenta al fósforo del sedimento con el coeficiente más alto (19,66), lo que indica que esta variable predomina en cuanto a la diferencia de las zonas analizadas; mientras que el nitrógeno total de sedimentos ocupa el segundo valor con un coeficiente de (7,11), esto permite identificar a esta función como “Fósforo Total y Nitrógeno total en sedimentos”. Para Z2, la variable de mayor peso está dada por la época de lluvias, cuyo coeficiente es de (14,93), seguido de la riqueza de Margalef con un coeficiente de (7,54), variables que identifican la función y la cual podría denominarse como “riqueza de especies según la época de lluvias”.

En la figura 70, se representa el cruce entre las dos funciones discriminantes, con el fin de analizar el comportamiento de las variables según su nivel de influencia sobre las diferentes zonas de estudio, al igual que se puede observar claramente discriminados los seis grupos (zonas).



**Figura 70.** Representación gráfica del análisis discriminante.



Como se puede observar las zonas de cultivo 1, 3 y 5 se ubican en el lado derecho del cuadrante; sin embargo, las zonas 1 y 3 permanecen en la parte inferior con una alta influencia por parte de las variables hacia la función 1, mientras la zona 5 se encuentra en la parte superior presentando una fuerte influencia de las variables hacia las dos funciones. Por el contrario, las zonas de puntos control que aquí se representan con los números 2, 4 y 6 se encuentran ubicadas en la parte izquierda del cuadrante y al igual que las zonas de cultivo, el comportamiento es similar, donde el punto control 6 se ubica en la parte superior, mientras que los puntos control 2 y 4 se ubican en la parte inferior izquierda del cuadrante donde las variables muestran una baja influencia sobre las dos funciones.

Esta gráfica de dispersión nos permite analizar la influencia de las variables nitrógeno total y fósforo total de los sedimentos en la riqueza de especies según la época de lluvias, puesto que en las zonas de cultivo 1 y 3 estos nutrientes aumentan, la riqueza de las especies de macroinvertebrados bentónicos disminuye según la época de lluvias. Sin embargo, la zona de cultivo 5 mientras que el nitrógeno y fósforo total de los sedimentos aumenta, la riqueza de especies según la época de lluvias también aumenta.

Con respecto a las zonas de punto control, se puede observar que en la zona 2 mientras el nitrógeno y fósforo total de los sedimentos disminuye, la riqueza de especies según la época de lluvias también aumenta; por el contrario, las zonas de puntos control 4 y a esos nutrientes presentes en los sedimentos disminuyen mientras que la riqueza también disminuye, condición que debe ser analizada por el efecto de las lluvias.

Puesto que este tipo de métodos cuenta con capacidad de predicción, en la tabla 32 se presenta las clasificaciones observadas por medio de las funciones que se estiman sobre los datos que corresponden a dichas variables de estudio (parámetros fisicoquímicos del agua y sedimentos, nutrientes del agua e índices biológicos) para cada una de las seis zonas analizadas con sus respectivas profundidades y las dos épocas de lluvia (altas y bajas), con las cuales se logró su clasificación de forma correcta al 100% de cada punto que fue muestreado. Esto demuestra que el registro de datos y su análisis se realizó de forma correcta con relación al impacto hacia el ambiente, el nivel de contaminación y la variación ecológica que presentan las zonas de cultivo en comparación a los puntos control en la parte alta, media y baja del lago, y las funciones  $Z_1$  y  $Z_2$  discriminaron de forma eficiente y significativa cada punto que fue analizado de forma comparativa entre zonas y su relación con las demás variables de estudio.

**Tabla 32.** Clasificación en porcentaje de casos correctamente clasificados (100,00%)

<i>Actual</i>	<i>Tamaño</i>	<i>Predicho</i>	<i>Zona</i>				
<i>Zona</i>	<i>de Grupo</i>	1	2	3	4	5	6
1	108	0 (100,00%)	18 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)
2	108	0 (0,00%)	18 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)
3	108	0 (0,00%)	18 (0,00%)	0 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)
4	108	0 (0,00%)	18 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)
5	108	0 (0,00%)	18 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (100,00%)	0 (0,00%)
6	108	0 (0,00%)	18 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (100,00%)

Este análisis discriminante nos permite observar la relevancia e importancia de los nutrientes nitrógeno y fósforo total presente en los sedimentos y su interacción con la

riqueza de especies de macroinvertebrados bentónicos tolerantes o sensibles a la contaminación. De esta forma se puede determinar la influencia que tiene los cultivos acuícolas en la calidad del agua y su relación con variables externas y no controlables como las épocas de lluvias altas y bajas que se presentan en esta región.

Según Sidoruk and Cymes (2018), en cultivos intensivos y super intensivos se utilizan grandes cantidades de alimento comercial, los cuales contienen en sus fórmulas contenidos importantes de nitrógeno y fósforo los cuales son requerimientos nutritivos esenciales para que los animales en cultivo sean alimentados y sobre todo para peces de aguas frías y que son de hábitos alimenticios carnívoros como la trucha arcoíris.

Si bien es cierto la mayor parte de este alimento es consumido por los animales que se encuentran en las jaulas flotantes, un gran excedente es vertido sin ser consumido directamente a la columna de agua el cual finalmente es precipitado al fondo del lago en áreas circundantes a las instalaciones de cultivo. De igual forma el alimento que es asimilado por las truchas, es posteriormente expulsado en forma de eses, las cuales también contienen cantidades de nitrógeno y fósforo que contribuyen al aporte de carga contaminante (Vásquez et al 2016).

Según Yapó et al (2017) no solo el alimento comercial es aportante de estos nutrientes, actividades como el lavado de jaulas y limpieza de instalaciones sin medidas de bioseguridad también es uno de los factores importantes de descarga de nutrientes al agua y los sedimentos, ya que se utilizan detergentes y desinfectantes con grandes cantidades de fósforo en sus ingredientes. Sumado a esto Kumar et al (2017); González et al (2018) y Burbano et al (2018), expone que la utilización de medicamentos, insecticidas y otro tipo de elementos que se utilizan para el mantenimiento de las empresas productoras también contienen cantidades significativas de fósforo y nitrógeno que son vertidas al agua.

Las variables representativas de la función 1 junto con los resultados anteriores de los estadísticos univariados, se puede observar el incremento de estos nutrientes (Nitrógeno total y Fósforo total) en las zonas de cultivo en comparación a los puntos control en donde los valores se tornan menores. Dada la distribución de las empresas productoras que se analizan en este estudio (pare alta, media y baja), se observan comportamientos atípicos en la zona de cultivo 5 y el punto control 2, lo que puede deberse a que en la parte alta del lago (vereda El Motilón) es la más cercana al puerto turístico, tiene un mayor número de cultivos agrícolas y mayor número de viviendas en sus alrededores, lo que puede afectar

de forma considerable el comportamiento de las variables y con ello la interpretación de las mismas; mientras que la zona de cultivo 5 se ubica en la parte baja del lago donde las condiciones ambientales y efectos antrópicos son más favorables.

Con respecto a las variables de mayor significancia en la función 2 (Riqueza de especies según la época de lluvias), se encuentran estrechamente relacionadas a los niveles de nitrógeno y fósforo presentes en los sedimentos, ya que según Escobar y Montoya (2019), estos macronutrientes son esenciales para la productividad primaria, factor que es de importancia en la cadena alimenticia y de la cual es la principal fuente de alimento de los macroinvertebrados bentónicos en sus fases larvales.

Según Ayala et al (2019), independientemente del tipo de bioindicador que representen los macroinvertebrados ya sea indicadores de buena, regular o mala calidad de agua, los nutrientes como el fósforo y nitrógeno presentes en el agua y los sedimentos ayudan a fortalecer la estructura poblacional de estas especies lo que se ve reflejado principalmente en los índices de riqueza, al igual que de abundancia y dominancia.

Según los resultados ecológicos del componente biótico las especies de macroinvertebrados indicadores de mala calidad de agua se registraron en las zonas de cultivo donde la riqueza es predominante a diferencia de la diversidad de Shannon, lo que puede indicar inicios de contaminación lo que a futuro sin un previo control ambiental puede conllevar a problemas de eutrofización afectando no solo el medio acuático y ecosistema, sino también a los mismos peces en cultivo (Torres y Grandas, 2017).

Finalmente se observa que la época de lluvias es un factor relevante en el comportamiento de las variables analizadas en este estudio, debido a que en temporada de lluvias altas valores de algunos parámetros fisicoquímicos del agua como el oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica y la temperatura; nutrientes como el Nitrógeno y fósforo total del agua y sedimentos, DBO5, DQO y parámetros comunitarios de diversidad biológica como la diversidad de Shannon, riqueza de Margalef y Dominancia de Berger-Parker se alteran de forma representativa aumentando o disminuyendo sus valores de forma desfavorable para el medio acuático y los animales de cultivo.

Se debe tener en cuenta que en época de lluvias altas hay un mayor escurrimiento y un mayor aporte de los afluentes que alimentan el lago, por lo que las variaciones ecológico-ambientales se ven alteradas en mayor manera, no solo por la actividad acuícola sino por

las características ambientales anteriormente nombradas; datos que concuerdan con el estudio de capacidad de carga del Lago Guamuez (Corponariño, 2014).

### 6.6.3. Análisis de componentes principales

El ACP expresa que la variabilidad conjunta de las variables se explica en los primeros tres componentes, con un 99,99% del total de la varianza, donde el componente uno explica un 76,38% de la varianza, el componente dos un 17,63% y el componente tres un 5,98% (Tabla 33).

**Tabla 33.** Análisis de componentes principales para las variables de estudio.

PC	Valor propio	% varianza	% Varianza acumulada
1	9,74311	76,38	82,37
2	8,30145	17,63	94,01
3	3,06622	5,98	99,99
4	2,33596	0,0013	
5	1,05615	0,0012	
6	0,539436	0,0015	
7	0,319665	0,0017	
8	0,178962	0,0006	
9	0,104849	0,0013	
10	0,0730944	0,0024	

Como se puede observar en la tabla 34, el primer componente está influenciado por la variable fósforo total de los sedimentos con un valor de -0,28, mientras que el segundo componente la variable representativa es el pH del agua con un valor de -0,32, y finalmente el tercer componente está representado por la variable diversidad de Shannon con 0,37, determinando que estas tres variables actúan como el gradiente de presión de las zonas evaluadas en el lago Guamuez. Cada componente es denominado según la variable de mayor peso, por lo cual el componente 1 se denomina fósforo total de sedimentos, el componente 2 pH del agua y el componente 3 se denomina diversidad de Shannon.

**Tabla 34.** Peso de las variables de estudio por componente.

	<i>Componente</i>	<i>Componente</i>	<i>Componente</i>	<i>Componente</i>	<i>Componente</i>
	1	2	3	4	5
Alca	0,161191	-0,288949	0,0657426	0,0916566	-0,0552296
BP	-0,0446258	0,0210236	0,336789	0,29	0,501674
CE	-0,271279	-0,0695847	-0,166158	-0,0568106	-0,250489
DBO	-0,231896	-0,23285	-0,0505486	-0,00683983	0,0443848
DQO	-0,270472	-0,179681	-0,0133695	-0,00552153	0,0151376
Dure	-0,246391	-0,184817	-0,157769	-0,00254999	-0,042529
Época	-0,0367836	-0,327523	-0,119174	0,0721362	0,0319307
Estac	-0,0995482	0,0862855	-0,353884	0,436253	-0,0673646
Pielou	-0,00182356	0,0526538	-0,318891	-0,414193	0,0751388
Shannon	0,174398	0,0243349	<b>-0,37185</b>	-0,239831	0,350821
Marg	-0,151518	0,0600642	0,258537	0,037451	-0,626832
MO	-0,240921	-0,21369	-0,00450237	-0,0871656	0,0233704
NT	-0,233825	0,218249	-0,0393353	-0,123272	0,0136181
NTsed	-0,274328	-0,110705	0,172792	0,0205404	0,182136
OD	0,237376	0,0720605	0,299719	-0,146158	-0,122577
pH	0,0740919	<b>-0,329252</b>	0,00848286	-0,0224732	-0,031954
pHsed	0,281287	0,139933	-0,101221	0,0587301	-0,0187232
Prof	-0,0995482	0,0862855	-0,353884	0,436253	-0,0673646
PT	-0,136843	0,300828	-0,00589851	-0,0878761	0,095368
PTsed	<b>-0,283561</b>	-0,0753509	0,185081	0,0073462	0,181091
SD	-0,128716	0,300722	0,112824	-0,0540417	-0,0232531
SS	-0,26215	0,11931	-0,0332038	0,167865	0,132097
T°	-0,0116281	-0,315882	0,0828741	-0,201243	0,0987859
Trans	0,242683	-0,168604	-0,210245	0,0993823	-0,0816068
Turb	-0,126094	0,304392	-0,0234413	-0,062371	0,0939694
Zona	0,219	-0,0314714	0,155649	0,382363	0,106558

Como puede observar mediante el análisis de componentes principales, se observa la importancia del peso e influencia de las variables en los tres primeros componentes cuyo porcentaje de varianza a cumulada refleja el 99,99% de la varianza total. Al igual que el análisis discriminante el fósforo total de los sedimentos vuelve a marcar relevancia entre las demás variables de estudio; si bien es cierto los cultivos establecidos en sistemas abiertos en mares o lagos, tienen mayor capacidad de remoción de sólidos y sedimentos que un sistema cerrado, esto no significa que la comulación de bioelementos y sustancias químicas no sea representativa (Calvachi y Sánchez, 2013).

Buschmann (2001) y Boyd (2008) exponen que, en el desarrollo de acuicultura, una de las principales problemáticas de manejo en los procesos, se enfatiza sobre los efluentes, puesto que, al ser ricos en nitrógeno y fósforo, impactan los cuerpos de agua receptores en su interface agua-sedimento incrementando la productividad primaria acelerando los

procesos de eutroficación. Como en diferentes actividades agropecuarias, en la piscicultura se producen residuos que necesitan de otro tipo de procesos ambientales para su degradación y que puedan ser asimilados o reciclados, sin embargo, mientras no haya un oportuno control se pone finalmente en riesgo no solo la sustentabilidad, sino, la sostenibilidad del sistema.

Yossa et al (2014), expone que las empresas acuícolas y sus sistemas de cultivo deben tener la capacidad de asimilar por si mismos la materia orgánica disminuyendo impactos ecológico-ambientales funcionando como un sistema agroecológico, puesto que en esta materia se encuentran diferentes elementos como restos de alimento no consumido, organismos de origen animal y vegetal en diferentes estados de descomposición, al igual que sustancias y elementos como oxígeno, fósforo, carbono, nitrógeno, hidrógeno entre otros; por lo que González (2015), asegura que los sedimentos como receptores de estos residuos acumulan grasas, aminoácidos, fósforo no digestible, proteínas, hidratos de carbono, y otro tipo de material inerte. La cantidad de biosólidos generada es variable y depende de la digestibilidad de los ingredientes, la calidad de la dieta, la eficiencia en cuanto a conversión alimenticia, el estado de sanidad de los peces y las instalaciones y finalmente el uso de las buenas prácticas de producción acuícola.

Por lo tanto, mediante este estudio se demuestra la importancia del comportamiento del fósforo total en los sedimentos y la relación con el uso de prácticas acuícolas adecuadas para evitar contaminación por este compuesto ya que Alves y Baccarin (2005) exponen que el 66% del fósforo aportado por la ración alimentaria en sistemas intensivos va al sedimento; el 11% se disuelve en el agua y el 23% restante es incorporado por los peces en cultivo.

El segundo componente nos permite observar la importancia de la alteración del pH que pueden sufrir los ecosistemas lacustres receptores de procesos acuícolas, como se demostró en los resultados por zona de muestreo, el pH tendió a acidificarse en las zonas de cultivo a diferencia de los puntos control donde se tornó más alcalino.

Según la FAO (2020), La producción de peces puede verse considerablemente afectada por un pH demasiado bajo o demasiado alto. Los valores extremos de pH pueden incluso matar a los peces. El crecimiento de los organismos naturales que constituyen alimento para los peces, también puede verse reducido. Los valores críticos de pH varían en función

de las especies de peces en cultivo, del tamaño o fase en la que se encuentre y también de otras condiciones productivas y ambientales.

Es por esto, que la importancia de un buen manejo productivo, al igual que la sostenibilidad de las condiciones ambientales del lago Guamuez, son fundamentales en la neutralidad de un pH adecuado para la trucha arcoíris y para la fauna y flora del mismo lago, ya que esta variable depende de la mayoría de variables evaluadas en este estudio. Por lo tanto, según Vásquez et al (2016), si bien es cierto la acidez del agua medida en mg/L CaCO<sub>3</sub> se ve afectada el pH tiene una gran capacidad de acoplamiento y neutralización en sistemas abiertos, lo que se observa en los datos aquí recolectados y analizados sobre el pH y lo que concuerda con López et al (2005), quien expone que el pH es uno de los parámetros que no se alteran por la crianza de trucha en gran manera, pero que se debe llevar un registro y control del mismo, ya que puede indicar alteraciones en otras variables manejadas en los sistemas de cultivo.

Como bien se sabe, en aguas abiertas y de características de lagos de alta montaña, los procesos fotosintéticos relacionados con la respiración en el sistema del ácido carbónico se encuentran influenciados principalmente por los cambios de pH, puesto que mientras la producción de CO<sub>2</sub> se incrementa, el pH baja tiende a bajar. Finalmente, Klontz et al (1991), expone que los valores de pH que se consideran aceptables para la crianza de truchas están entre 6,7 y 8,5; similares a los encontrados en este estudio.

Por consiguiente el desecho metabólico de los animales como el amoníaco es un producto tóxico, con carácter limitante en su forma no ionizada (NH<sub>3</sub>), la cual, bajo la acción de pH ácido se transforma en ion amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) forma ionizada, no tóxica, lo que no ocurre en condiciones básicas, por lo que se enfatiza en la práctica de producción limpia y agroecológica para evitar este tipo de afectaciones al agrosistema y que las bacterias nitrificantes puedan realizar su trabajo de manera eficiente (Burbano et al., 2021).

Finalmente, el tercer componente, aunque cuyo porcentaje es mucho menor que los dos primeros, este demuestra la importancia de la diversidad de especies de Shannon Wiener en cuanto a las familias de macroinvertebrados bentónicos presentes en el Lago Guamuez.

La diversidad de las especies es una variable de importancia usada para describir el estado de un ecosistema y más aún si se trabaja con bioindicadores como los macroinvertebrados



bentónicos, puesto que son indicadores ambientales por excelencia (Oviedo y Reinoso, 2018).

El índice de Shannon nos muestra la diversidad de especies de macroinvertebrados en cada zona de estudio (cultivos y puntos control), considerando la uniformidad de cada especie. Si bien es cierto, no se encontraron diferencias significativas en las épocas de lluvia, si las hubo entre zonas de cultivo y puntos control. Donde las mayores diversidades se presentaron en las zonas de cultivo de la parte alta y media del lago (veredas El Motilón y Santa Teresita respectivamente); a diferencia de la parte baja (Vereda El Naranjal) donde las diversidades son menores.

Estos datos nos permiten realizar un análisis preciso sobre el comportamiento del ecosistema lacustre en relación a los factores de contaminación, puesto que la preocupación surge, ya que en las zonas de cultivo se encontraron especies indicadoras de cierto nivel de contaminación, como *Chironomidae*, *Thiaridae*, *Ampullariidae*, y *Planaridae* (Pérez et al., 2020). Sin embargo, la discusión se centra en la ubicación de las jaulas de cultivo y sus puntos control en la estructura geográfica del lago; puesto que las zonas ubicadas en la parte alta y media, son receptoras de otro tipo de afluentes y actividades antrópicas que pueden aumentar los niveles de contaminación e influyen en la variación ecológica y ambiental del ecosistema. Por otra parte, la parte baja del lago corresponde a un área de menor actividad antrópica, donde se observa un menor número de viviendas rurales, menor actividad turística, mayor vegetación autóctona, entre otras características ambientales de mayor favorabilidad (Corponariño, 2014).

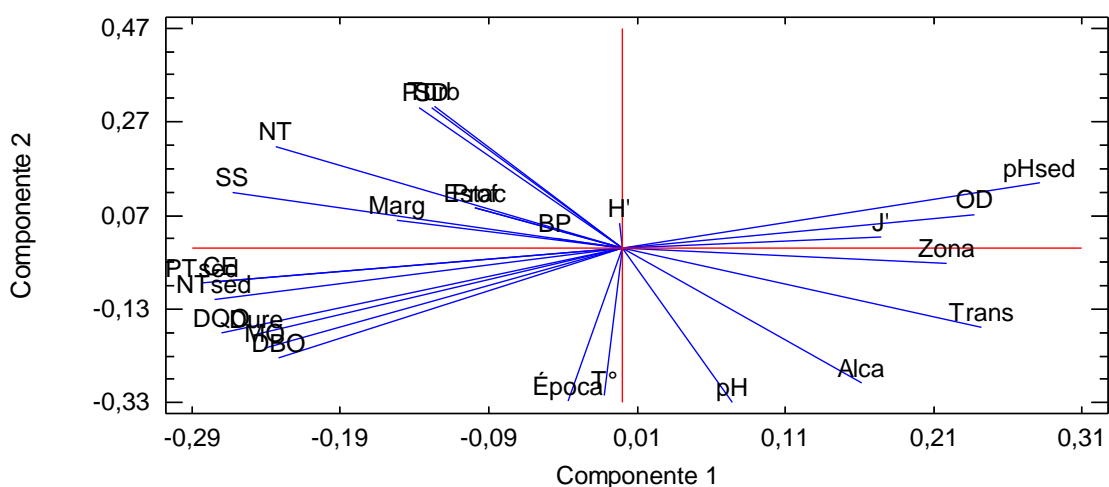
Es por ello que no podemos afirmar que la acuicultura es la actividad que genera la mayor variabilidad ecológica y ambiental en el lago (Gonzalez et al., 2018a; González et al., 2018b; Burbano et al., 2019; Burbano et al., 2021), puesto que actividades agropecuarias, turísticas y demás que se generan en el Lago, también deben ser sujeto de estudio para determinar con mayor exactitud los factores aportantes a la contaminación en el Lago Guamuez.

En la figura 71, se muestra la correlación de las variables entre los componentes 1 y 2 resaltando las de mayor peso. En el cuadrante inferior izquierdo de la gráfica existe una alta correlación entre las variables fósforo total en sedimentos, nitrógeno total en sedimentos, conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub>, y materia orgánica, sin embargo, en

dicho cuadrante también se observa correlación entre la época de lluvias con la temperatura.

Por el contrario, las variables anteriormente nombradas presentan una correlación opuesta con parámetros como el oxígeno disuelto, el pH de los sedimentos y la equitatividad de Pielou ya que se encuentran en el cuadrante opuesto.

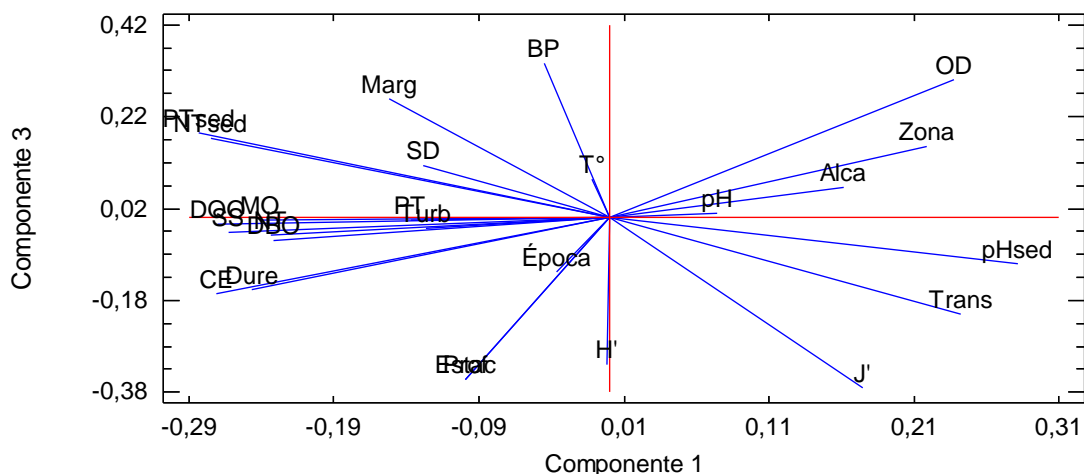
**Figura 71.** Gráfica de pesos de las variables entre los componentes 1 y 2



En la figura 72, se muestra la correlación de las variables entre los componentes 1 y 3 resaltando las de mayor peso. En el cuadrante superior izquierdo se observa una alta correlación entre el fósforo y nitrógeno presentes en los sedimentos, mientras que en el cuadrante inferior izquierdo se presentan altas correlaciones entre las variables, DQO, DBO<sub>5</sub>, materia orgánica, sólidos suspendidos y nitrógeno total del agua, sin embargo, en dicho cuadrante también se observa correlación entre los parámetros conductividad y dureza los cuales son opuestos al oxígeno disuelto.

De igual forma se hace necesario resaltar las correlaciones más altas y opuestas que se presentan en la gráfica, donde claramente se puede observar a las variables fósforo total y nitrógeno total en los sedimentos con el pH y la transparencia y la riqueza de Margalef con la equitatividad de Pielou, entre otras de menor relevancia que se observan en la imagen.

**Figura 72.** Gráfica de pesos de las variables entre los componentes 1 y 3



El ACP mediante las gráficas de peso, nos permite observar el comportamiento y correlación de las variables dentro de las zonas estudiadas en el lago Guamuez, ratificando y concordando con los resultados obtenidos en los capítulos anteriores donde se confirma la variabilidad ecológica y ambiental no solo de los agroecosistemas acuícolas, sino, del sistema natural en general.

La estrecha relación entre variables como el fósforo y nitrógeno totales presentes en sedimentos, conductividad eléctrica, DQO, DBO<sub>5</sub>, y materia orgánica, es simplemente el resultado del ciclo productivo de un cultivo de trucha arcoíris en sistemas abiertos de alta montaña (Ovando, 2014; Pérez, 2016). Como se ha venido expresando, el ciclo productivo requiere de ciertos procesos sistemáticos que permiten el correcto funcionamiento de los cultivos, actividades como la siembra de alevines, la alimentación, el aseo de instalaciones, el traspaso de animales de una jaula a otra, la excreción de los mismos animales, la aplicación de medicamentos e insumos para evitar enfermedades, presencia de patologías comunes en los peces de cultivo (hongos, bacterias), manejo de la mortalidad, entre otros, queramos o no, inciden en la estabilidad del agua y como de los sedimentos de las zonas directas y circundantes del cultivo (FAO, 2014 d; CORPONARIÑO, 2014; López, 2016; González, 2018).

Todo este proceso biológico-productivo en el agua, los sedimentos y su interface, genera cambios comportamentales en la estructura fisicoquímica y biológica del ecosistema conllevando a cambios importantes que de no ser tratados con rigurosidad y bajo control permanente pueden ocasionar problemas mayores de eutrofización, cambio de estructuras

poblacionales de flora y fauna acuática y desestabilización del sistema lacustre (Muñoz, 2017). Si bien es cierto toda producción genera contaminación, aplicando las diferentes normas y buenas prácticas se pueden mitigar dichos efectos de una forma considerable.

Otra de las correlaciones que se observa entre las variables de los componentes 1 y 2 es la temperatura con la época de lluvias, donde los análisis estadísticos reflejan que las mayores temperaturas se presentaron en época de lluvias bajas y a la mayor profundidad medida (20m). Según Chura et al (2013), al haber menos intensidad de lluvias, los sistemas lenticos tienden a disminuir su tasa de recambio, por lo cual la temperatura es mayor y permanece más constante. A pesar de que los resultados no mostraron grandes diferencias entre épocas de lluvia; esta condición climática puede contribuir al deterioro o por el contrario a la recuperación de ciertas áreas con intervención ambiental ya sea con relación o no a las actividades acuícolas.

Esta gráfica entre los componentes 1 y 2 también nos muestra la correlación negativa u opuesta de las variable que se encuentran en el cuadrante inferior izquierdo con el oxígeno disuelto, el pH de los sedimentos y la equitatividad de Pielou, lo que según CORPONARIÑO (2014) y Toro et al (2012), es un comportamiento lógico ya que a mayor presencia de contaminantes, de DBO<sub>5</sub> Y DQO la cantidad de oxígeno disponible será menor, el pH del agua o sedimentos tiende a acidificarse, mientras que Roldan (2016) y Figueroa (2018), exponen que parámetros comunitarios o de diversidad biológica como la equitatividad también se ven alterados.

Finalmente, la gráfica de contraste entre los componentes 1 y 3 refleja nuevamente una alta correlación entre las variables DBO<sub>5</sub>, DQO, materia orgánica, sólidos suspendidos y nitrógeno total del agua, lo que demuestra la importancia de estos parámetros para la calidad del agua; según Pérez (1996) y Velazco (2012), la acuicultura al tener contacto directo con el agua, los parámetros fisicoquímicos, nutrientes y la materia orgánica se ven afectados de forma directa puesto que el ecosistema acuático es el receptor directo de los residuos provenientes de los cultivos.

De igual forma se demuestra la correlación entre el fósforo y nitrógeno totales de los sedimentos, y a su vez su correlación inversa con la transparencia, condiciones que según López y Madroñero (2015), son normales ya que a mayor cantidad de nutrientes mayor es la concentración de materia orgánica y por ende menor transparencia. De esta forma la gráfica nos presenta un buen comportamiento del oxígeno, parámetro de vital importancia

tanto para los animales en cultivo como para el ecosistema, sin embargo, su comportamiento inverso con parámetros como la conductividad eléctrica y la dureza alertan sobre el control de este parámetro y su relación con la contaminación que pueden causar el aporte de residuos provenientes de la acuicultura.

# 7. CONCLUSIONES

## 7.1. Conclusiones

- La consideración de la memoria biocultural como base de investigaciones agroecológicas en acuicultura, contribuye a la recuperación de los conocimientos ancestrales previos y por lo tanto a fomentar procesos para la restauración de las relaciones comunidad-naturaleza, muy necesarias en nuestro actual contexto.
- La acuicultura genera ingresos económicos a la población aledaña al Lago Guamuez, propiciando que muchos campesinos e indígenas dejen de lado otras menos lucrativas, pero de mayor impacto en el ecosistema como la producción de carbón y leña ilegal.
- A diferencia de otras actividades como la agricultura, la producción acuícola aún no es vista como un agroecosistema sostenible y sustentable, sin embargo, al ser una de las actividades agropecuarias más amigables con el ambiente, se convierte en un gran potencial de inclusión social agroecológica.
- El término agroecología aplicada a la acuicultura es poco conocido por los productores, trabajadores, campesinos e indígenas asentados en el Lago Guamuez, sin embargo, se habla de acuicultura ecológica, terminología que al ser profundizada por expertos agroecólogos puede influenciar la sostenibilidad ambiental y mejorar la economía del sector y de sus pobladores.
- La producción acuícola desarrollada en el Lago Guamuez, a contribuido a generar fuentes de empleo formal e informal, desplazando otras actividades de mayor riesgo como el mototaxismo, el desplazamiento de los jóvenes campesinos e indígenas pertenecientes al Resguardo Indígena Refugio del Sol a las ciudades y otros municipios en busca de empleo o el ingreso a las fuerzas militares perdiendo su arraigo, costumbre y tradiciones ancestrales.
- El encuentro social con productores, trabajadores, ancianos sabedores, campesinos, indígenas y comunidad en general, mediante el diagnóstico rural

participativo permitió determinar qué aspectos como la falta de ayuda gubernamental, carencia de extensión rural eficiente y necesidades básicas insatisfechas, son factores influyentes en el inadecuado manejo de las producciones, el desconocimiento agroecológico de las mismas y el poco desarrollo del sector, de las familias y de la región.

- A diferencia de otras actividades como la agricultura, la producción acuícola aún no es vista como un agroecosistema sostenible y sustentable, sin embargo, al ser una de las actividades agropecuarias más amigables con el ambiente, se convierte en un gran potencial de inclusión social agroecológica.
- El término agroecología aplicada a la acuicultura es poco conocido por los productores, trabajadores, campesinos e indígenas asentados en el Lago Guamuez, sin embargo, se habla de acuicultura ecológica, terminología que al ser profundizada por expertos agroecólogos puede influenciar la sostenibilidad ambiental y mejorar la economía del sector y de sus pobladores.
- La vivencia, desarrollo y sistematización de esta tesis aporta una semilla en el desarrollo de la naciente agroecología acuícola o acuicultura ecológica para nuestro país y su literatura académica y científica y por supuesto para las comunidades rurales que se espera sean sus principales beneficiarias.
- Los parámetros fisicoquímicos del agua como indicadores ambientales presentaron valores menos favorables en las empresas de cultivo a diferencia de los puntos control, por lo que se demuestra que los procesos acuícolas alteran la calidad del agua; sin embargo, los valores de los parámetros aquí analizados se encuentran dentro de los rangos aceptables tanto para la acuicultura como para la ecología del lago.
- Los sedimentos como depósito de los residuos acuícolas presentaron alteración en los parámetros fisicoquímicos y nutrientes medidos en las empresas de cultivo, principalmente el fósforo total y nitrógeno total, Si bien es cierto sus valores

presentan rangos aceptables su incremento podría causar problemas de eutrofización en el lago.

- Los nutrientes fósforo total y nitrógeno total al igual que la DBO<sub>5</sub> y DQO medidos en el agua no demuestran grandes cantidades contaminantes, estando dentro de los valores aceptables de calidad de agua, sin embargo, los valores se tornan mayores en las zonas de cultivo y a mayor profundidad principalmente para el nitrógeno y fósforo, lo que puede ocasionar acumulación en el fondo, creando zonas de proliferación algal y bacteriana.
- Las zonas de cultivo A, B y C, presentaron las familias de macroinvertebrados *Chironomidae*, *Thiaridae*, *Ampullariidae*, *Planaridae*, quienes indican cierto grado de contaminación mientras que en los puntos control A1, B1 y C1, se encontraron las familias menos tolerantes como *Libellulidae*, *hydrobiosidae* e *Hydrachnidae*, lo que demuestra que los residuos provenientes de los cultivos acuícolas alteran la calidad del agua en las zonas circundantes a los mismos.
- Las zonas de cultivo muestran menores diversidades de familias de macroinvertebrados y mayores dominancias de las mismas, comportamientos de indicadores biológicos poco favorables para los ecosistemas lacustres, puesto que bajas diversidades y riquezas en presencia de familias tolerantes a cierto grado de contaminación demuestran alteración antrópica en este caso asociada a la acuicultura en jaulas flotantes.
- El bajo grado de escolaridad influye en la falta de aplicación de buenas prácticas de producción acuícola por parte de los operarios de las empresas analizadas, al igual que muchos de ellos tienen pequeños cultivos los cuales no tienen ningún tipo de asesoría y control ambiental.
- El cultivo de trucha arcoíris en jaulas flotantes impacta de forma negativa al ecosistema lacustre del Lago Guamuez, sin embargo, los valores de parámetros fisicoquímicos y nutrientes tanto del agua como de los sedimentos analizados en este estudio, se encuentran en rangos aceptables de calidad de agua tanto para el ecosistema como para los peces de cultivo.



## 7.2. Recomendaciones

- Esta investigación debe ser socializada tanto en las entidades gubernamentales como a la comunidad, con el fin de crear conciencia sobre los posibles efectos negativos de contaminación ecológica y ambiental que causan las malas prácticas de producción acuícola.
- Se debe enfatizar tanto en el campo académico, como en el productivo y gubernamental que la agroecología debe ser aplicada en la acuicultura y puede ser vista como una solución factible a la mitigación de los impactos ambientales a los ecosistemas, a la inclusión e interacción social de las comunidades que se involucran directa e indirectamente de la actividad y generar un desarrollo económico sustentable basado no solo en el comercio del producto sino en el bienestar de los productores y las comunidades.
- Las entidades Gubernamentales en cabeza de la AUNAP, ICA, CORPONARIÑO, Alcaldía de Nariño y Gobernación de Nariño, no solo deben realizar procesos y procedimientos relacionados a la aplicación de sanciones, control y seguimiento a los productores de trucha del Encano, por el contrario, se debe brindar apoyo y extensión rural que permita la sostenibilidad del sector acuícola y el desarrollo económico local.
- Se deben realizar este tipo de estudios analizando no solo un mayor número de empresas acuícolas, sino también, el desarrollo de otro tipo de actividades de mayor impacto como la ganadería, la porcicultura y la agricultura principalmente cultivos de papa y cebolla que se encuentran en las veredas circundantes al lago y donde frecuentemente se utilizan agroquímicos y fertilizantes para su producción, los cuales finalmente son recepcionados por las microcuencas y quebradas que desembocan en el Lago Guamuez.

- Se requiere el apoyo económico y logístico de todas las partes involucradas e interesadas en el desarrollo de la acuicultura, con el fin de analizar un mayor número de variables físicas, químicas, productivas y sociales, que puedan generar resultados que identifiquen con mayor precisión las causas y efectos tanto positivos como negativos en la producción de trucha arcoíris en jaulas flotantes ubicadas en el Humedal RAMSAR Lago Guamuez.

## Referencias Bibliográficas

Acosta, D. (2016). Impactos ambientales de la minería de carbón y su relación con los problemas de salud de la población del municipio de Samacá (Boyacá), según reportes ASIS 2005-2011. (Especialización). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Adema, W; Clarke, C y Frey, V. (2015), "Paid Parental Leave: Lessons from OECD Countries" y Ajiaco, R., et al. (2012), Diagnóstico de la pesca ornamental de Colombia, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá.

AECID – Oficina Técnica de Cooperación. (2015). Manual de alimento balanceado para truchas. Alimento balanceado – elaboración y formulación. Puno, Perú. 30.

Aguilar, J; Soto, D. y Brummett, R. (2017). Aquaculture zoning, site selection and area management under the ecosystem approach to aquaculture. A handbook. Report ACS18071. Rome, FAO, and World Bank Group, Washington DC. 62.

Aguilera, C; Gairin, I y Estevez, A. (2012). Una Aproximación a la Acuicultura Ecológica. Estudios Sociedade e Agricultura. 7: 26.

Aksu, M. and Kocatas, A. (2007). Environmental effects of the three fish farms in Izmir Bay (Aegean Sea—Turkey) on water column and sediment. 38° Congress of the report of the International Commission for the Scientific Exploration of the Mediterranean Sea. 38

Alba-tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. Alemania. 210.

Alcaldía de Pasto. (2015). Plan de ordenamiento territorial y económico, Pasto, territorio con sentido. 287.

Alcaldía de Pasto. (2020). Listado instituciones educativas oficiales. Secretaria de Educación Municipal. Recuperado de <http://www.pasto.gov.co/sispasto/directorios/ieducativasof.php>.

Altieri, M. (1999). Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Montevideo. Nordan Comunidad. 325.

Altieri, M; Nicholls, C and Montalba, R. (2017). Technological Approaches to Sustainable Agriculture at a Crossroads: An Agroecological Perspective. Sustainability. 9(3), 349.

Altieri, M y Nicholls, C. (2018). Agroecología y cambio climático: ¿adaptación o transformación? Revista de Ciencias Ambientales. 52(2). DOI: <https://doi.org/10.15359/rca.52-2.13>

Álvarez, M. y Pérez, L. (2007). Evaluación de la calidad de agua mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca de Yeguaré, Honduras. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero en desarrollo socioeconómico y ambiente con el grado académico de licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras. 69.

Alves, J. (2018). Short Stories in Ethnobiology as a Strategy for Valorization and Rescue of Biocultural Memory. Ethnobotany Research & Applications 17(4). 1-3.

Allan, J. (2004). Landscape and Riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. Annual Reviews Ecological Systems. 35. 257-284.

Allan, J and Castillo, M. (2007). Stream Ecology: structure and function of running waters. Springer, Holanda.

Allison, E; Delaporte, A. & Hellebrandt, D. (2013). Integrating fisheries management and aquaculture development with food security and livelihoods for the poor. Report submitted to the Rockefeller Foundation, School of International Development, University of East Anglia Norwich, UK. 124.

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), & Water Environment Federation (WEF). (2012). Standard Methods for examination of water and wastewater (22nd edition). Washington, D.C.: APHA

Anderson, J; Valderrama, D and Jory, D. (2016). Shrimp Production Review. Presentation in Global Aquaculture Alliance GOAL Conference, Guangzhou 2016.

Andrade, G; Da Silva, H; Ferreira, C; Bellote, A y Moro, L. (1991). Contribución del agua de lluvia en la oferta de nutrientes minerales para *Eucalyptus grandis*. Bosque. 16(1). 47-51.

Andrade, M. (2011). Estado del conocimiento de la biodiversidad en Colombia y sus amenazas. Consideraciones para fortalecer la interacción ambiente-política. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 35. 137.

Angulo, G. (2015). Caracterización de la línea de base de la producción acuícola en tres veredas del corregimiento El Encano, municipio de Pasto, departamento de Nariño. Tesis de Grado. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. 54.

ANLA. (2019). Concesión de aguas superficiales. Bogotá, Colombia.: Agencia Nacional de Licencias Ambientales. Recuperado de <http://portal.anla.gov.co/concesion-aguas-superficiales>.

Aragón, José. (2014, marzo). Transparencia y colores de las aguas de la hulla blanca a las autopistas azules. *Boletín especial del Día Mundial del Agua*. p. 6.

Arias, J y Ramírez, J. (2009). Caracterización preliminar de los sedimentos de un embalse tropical: represa La Fe (El Retiro, Antioquia, Colombia). *Limnetica*. 28 (1). 65-78

Arocena, R. (2016)., Principios y Métodos de Limnología. Ejemplos de Uruguay. Montevideo, Uruguay. DIRAC.

Arreortúa, C y González, S. (2015). Evaluación respirométrica de la biodegradación de detergentes en sistemas de tratamiento de aguas. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. México DC. 4.

Arriaza, M. (2006). Guía Práctica de Análisis de Datos. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. 200.

Astudillo, M; Ramírez, A; Novelo, R y Vázquez, G. (2014). Descomposición de hojarasca en seis arroyos de Bosque Mesófilo de Montaña en la cuenca alta del río La Antigua, Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, 62 (2): 109-125.

AUNAP (2013). Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. Diagnóstico del estado de la Acuicultura en Colombia. Bogotá. 163.

AUNAP. (2013). Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. Consolidación del censo pesquero en Pasto. Edición No. 4. Cali, Colombia. 2

AUNAP. (2014). Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. La pesca y la Acuicultura en Colombia. Bogotá. 26

AUNAP. (2016). Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. Plan de ordenación pesquero y acuícola – Popa de la laguna de la Cocha. San Juan de Pasto, Colombia. 23.

Ayala, S; Reinoso, W; Calderón, D; Jaramillo, A y Mesa, D. (2019). Determinación de la calidad del agua del río Frío (Cundinamarca, Colombia) a partir de macroinvertebrados bentónicos. *Avances Investigación en Ingeniería*. 16(1). 49-65.

Bartram, J. and Balance, R. (1996) *Water Quality Monitoring: A practical guide to the design of freshwater quality studies and monitoring programmes*. Chapman and Hall, London, Inglaterra. 383.

Barroso, N y Manzanares, F. (2012). *Agricultura y medio ambiente equilibrio territorial*. EXCMO Cabildo Insular de Tenerife. Servicio técnico de agroindustrias e infraestructura rural. Tenerife, España. 43

Bastidas, E. (2010). *Alternativas económicas de producción sostenible para las familias carboneras del corregimiento del Encano, municipio de pasto, departamento de Nariño, Colombia*. (Maestría). Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Beltrán, R; Ramírez, a, J; Sánchez, J. (2012). Comportamiento de la temperatura y el oxígeno disuelto en la presa Picachos, Sinaloa, México. *Hidrobiológica*. 22(1). 94-98.

Bené, C., et al. (2016). Contribution of Fisheries and Aquaculture to Food Security and Poverty Reduction: Assessing the Current Evidence. *World Development*. 79. 177-196.

Benjumea, C y Álvarez, G. (2017). Demanda de oxígeno por sedimentos en diferentes tramos del río Negro Rionegro, Antioquia, Colombia. *Producción + Limpia*. 12(2). 131-146.

Biolatina. (2014). Normas básicas para la acuicultura ecológica de Biolatina. GNP-AUC. Lima, Perú. 37.

Bisco, M; Ferreira, C; Massatoshi, C; Aiko, Y y Janson, T. (2015). Daily mass balance of phosphorus and nitrogen in effluents of production sectors of trout farming system. *Acta Limnologica Brasiliensia*. 27(3). 330-340

Bordehore, C. (2005) Problemas ambientales, problemas humanos. Capítulo, *Sociología Ambiental*. Grupo Editorial Universitario. Universidad de Alicante, España. 27

Bovarnick, A; Alpizar, F y Schnell, C. (2010). La Importancia de la Biodiversidad y de los Ecosistemas para el Crecimiento Económico y la Equidad en América Latina y el Caribe: Una Valoración Económica de los Ecosistemas, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 32

Boyd, C; Tucker, C y Somridhivej, B. (2016). Alkalinity and Hardness: Critical but elusive concepts in aquaculture. 47(1). 6-41.

Boyd, C. (2008). Ponds bottom soil analyses. *Global Aquaculture Advocate*, Vol. 11, pp 91-92.

Bravo, F y Grant, J. (2018). Modelling sediment assimilative capacity and organic carbon degradation efficiency at marine fish farms. *Aquaculture Environment Interactions*. 10. 309-328.

Burbano, E. (2018). Influencia de cultivos piscícolas en la calidad del agua y comunidades bacterianas en el sedimento del lago Guamez. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia.

Burbano, G; Duque, G; Imues, F; Gonzalez, E; Delgado, M y Pantoja, 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). 1581.

Burbano, E; Duque, G; Imués, M; González, E; Delgado, M y Mejía, D. (2019). Influencia de los cultivos piscícolas en la calidad del agua del Lago Guamuez, Nariño. 6(1). 17-26

Buschmann, A. (2001). Impacto Ambiental de La Acuicultura el Estado de la Investigación en Chile y el Mundo. Departamento de Acuicultura. Universidad de Los Lagos. Osorno, Chile. 67.

Caballero, G. (2016). Análisis multisensor para el estudio de los patrones de turbidez en el estuario del Guadalquivir. Revista de Teledetección. 46. 1-17.

Cabrera, W. La Cocha: "Un Lago Andino en el Sur de Colombia". Sociedad Geográfica De Colombia. 27(101). 1-13.

Calvachi, G y Sánchez, I. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. Universidad y Salud. 15(1). 72-88.

Calvo, I y Rey, L. (2015). Estudio de factibilidad para el montaje de un sistema de cultivos acuapónicos en la isla de providencia y Sta. Catalina – San Andrés Colombia. Tesis de Grado. Colombia. 212.

Cámara de Comercio de Pasto. (2019). Informe de Coyuntura Económica Municipio de Pasto, año 2018. Departamento de Planeación y Competitividad Regional. Pasto, Colombia. 69.

Campos, R; López, A; Avalos, D; De la Cruz, A y Reta, J. (2013). Caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de tilapia en acuaponia. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 5. 939-950.

CAR. (2019). Concesión de aguas superficiales. Bogotá, Colombia.: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Recuperado de: <https://www.car.gov.co/vercontenido/1162>



Cárdenas, G; Sánchez, I; Maya, J y Solarte, A. (2015). Remoción de sólidos en aguas residuales de producción intensiva de trucha en un sistema de recirculación cerrado. *Revista UNIMAR*. 33(1). 229-236.

Carrera, D; Guerrón, E; Cajas, L; González, T; Guaman, E y Velarde, P. (2018). Relación de temperatura, pH y CE en la variación de concentración de fosfatos en el Río Grande, Cantón Chone. *Revista Congreso de Ciencia y Tecnología*. 3(1). 37-40.

Catalán, J and Rondón, J. (2016). Perspectives for an integrated understanding of tropical and temperate high-mountain lakes. *Journal of Limnology*, 75: 215-234.

CIPCA - Centro de Investigación y Promoción del Campesinado. (2015). Seminario Agroecología, Agricultura familiar y Agrobiodiversidad, Santa Cruz 4 y 5 de septiembre de 2014. La Paz, Bolivia. 128.

Cochrane, K. (2009). Climate change implications for fisheries and aquaculture. Overview of current scientific knowledge. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. 218

Collazos, L y Arias, J. (2009). Estimulación a la maduración final y el desove de *Ancistrus triradiatus*. *Orinoquia*. 13(1). 14-19.

Contreras, E and Polo, M. (2012). Measurement frequency and sampling spatial domains required to characterize turbidity and salinity events in the Guadalquivir estuary (Spain). *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(8). 2581-2589.

Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas. Ramsar (Irán), 2 de febrero de 1971. Compilación de Tratados de las Naciones Unidas N° 14583. Modificada según el Protocolo de París, 3 de diciembre de 1982, y las Enmiendas de Regina, 28 de mayo de 1987

Coral, M. (2020). Efectos del cambio climático en el Lago Guamuez. En persona. Corregimiento del Encano, Pasto, Colombia.

Corponariño, & Corpoamazonia. (2002). Plan de manejo del corredor andino amazónico Páramo de Bordoncillo – Cerro de Patascoy - La Cocha, como Ecorregión estratégica. San Juan de Pasto. 205

Corporación Autónoma regional de Nariño – CORPONARIÑO. (2014). Capacidad de carga del Lago Guamués o Laguna de La Cocha del corregimiento del Encano Municipio de Pasto. Convenio interadministrativo de interés público No. 132711. Universidad Mariana, Universidad de Nariño y Corponariño. Colombia. 180

Corpoboyacá, (2016). Efecto de variabilidad climática de un ciclo anual sobre el flujo de nutrientes (C, N y P), fuentes y biocaptación en el Lago de Tota (Informe técnico). Tunja, Colombia: Centro de documentación de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá. Colombia. 57.

Correa, J; Iral, R. y Rojas, L. (2006). Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza. Revista Colombiana de Estadística. 29(1). 57-76.

CURRAS, A. (1990). Estudio de la fauna bentónica de la Ría de Eo (Lugo). Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela, 450.

Chapman, D. (1996). Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. London, Inglaterra. 626.

Chará, A; Chara, J; Giraldo, L; Zuñiga, M y Allan, J. (2015). Understanding the impacts of agriculture on Andean stream ecosystems of Colombia: a causal analysis using aquatic macroinvertebrates as indicators of biological integrity. Freshwater Science. 34(2), 727-740.

Chaux, G; Rosa, J y Fernández, J. (2013). Treatment of fish farm effluents (red tilapia) in ponds with *Azolla pinnata*. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 11(2). 46-56.

Chibras, G. (2015). Sustentabilidad de la acuicultura en México: perspectivas desde un caso de estudio en la Costa Chica de Oaxaca. Interdisciplina 3 (7): 161-191.

Chura, R; Cubillos, L; Tam, J; Segura, M y Villanueva, C. (2013). Relación entre el nivel del lago y la precipitación sobre los desembarques del Pejerrey *Odontesthes Bonariensis* (Valenciennes, 1835) en el sector peruano del lago Titicaca entre 1981 y 2010. Ecología aplicada. 12(1). 19-28.

DANE. (2020). Gran encuesta Integrada de Hogares 2019. Departamento Nacional de Estadística. Gobierno de Colombia. Disponible en <http://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/599/study-description>

David, C. y Castañeda, G. (2014). Sistemas de recirculación para la producción de peces comerciales. *Journal of Engineering and Technology*. 3(2). 62-78.

Damanik, M; Lock, K; Boets, P; Everaert, G; Nguyen, T; Forio, M and Goethals, P. (2016). Ecological water quality analysis of the Guayas river basin (Ecuador) based on macroinvertebrates indices. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*. 57: 27–59.

De Anda, J y Maniak, U. (2007). Modificaciones en el régimen hidrológico y sus efectos en la acumulación de fósforo y fosfatos en el Lago de Chapala, México. *Interciencia*. 32(2). 100-107.

Dean, W. (1974). Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. 44, 242–248.

Defensoría del Pueblo de Colombia. (2015). La minería sin control. Un enfoque desde la vulneración de los derechos humanos. Gobierno de Colombia. 246.

De Freitas, F. (2015). La calidad del agua y las buenas prácticas en acuicultura. *Divulgación Acuícola*. 23. 2-24.

Del Río, Martha; Martínez, Angel y Jara, Martín. (2016). La acuicultura y su impacto en la zona costera del golfo de california. *Biotecnia*. 18 (3): 37-46.

Díaz, B. (2015). Eco-Encano: Complejo Educacional Turístico para la potencialización y recuperación del patrimonio ambiental y cultural en la Laguna de La Cocha, Nariño. Tesis de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 59

Diemer, O; Neu, D; Feiden, A; Lorenz, E; Bittencourt, F. y Boscolo, R. (2010) Dinâmica nictimeral e vertical das características limnológicas em ambiente de criação de peixes em tanques-rede. *Ci.Anim. Bras.* 11(1), 24-31.

Domínguez, E y Fernández, H. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Tucuman, Argentina.

Escobar, A y Montoya, Y. (2019). Los macroinvertebrados acuáticos y la calidad biológica del agua en una quebrada Andina, Antioquia-Colombia. Revista Politécnica. 15(29). 65-81

Espinal, T; Sedeño, J y López, E. (2013). Evaluación de la calidad del agua en la laguna de Yuriria, Guanajuato, México, mediante técnicas multivariadas: un análisis de valoración para dos épocas 2005, 2009-2010. Revista internacional de contaminación ambiental. 29(3) 147-163.

FAO (2011). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Desarrollo de La Acuicultura. Enfoque ecosistémico a la acuicultura. Roma. 75

FAO (2012). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 561. Rome. 81.

FAO. (2014 a). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Manual práctico para el cultivo de trucha arcoíris. Guatemala. 44.

FAO. (2014 b). Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of World Fisheries and Aquaculture. Roma. 243.

FAO. (2014 c). El estado mundial de la acuicultura y pesca. Oportunidades y desafíos. Roma. 274

FAO. (2014 d). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Agroecology for food security and nutrition. Proceedings of the FAO international symposium. Roma, 466

FAO. (2014 e). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura. Contribución de la pesca y la acuicultura a la seguridad alimentaria y el ingreso familiar en Centroamérica. Panamá. 107.

FAO. (2016). El estado mundial de la pesca y acuicultura. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma. 226

FAO. (2015). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura para un mundo sin hambre. Departamento de Pesca y Acuicultura. Visión general del sector acuícola nacional. Colombia. 10.

FAO. (2020). Programa para la Formación de Acuicultores en el Centro Regional Latinoamericano de Acuicultura. Disponible en <http://www.fao.org/3/l8156s/l8156s00.htm#Contents>

FEDEACUA. (2015 a). Plan de Negocios Sectorial de la Piscicultura de Colombia. 414.

FEDEACUA. (2015 b). Piscicultura busca ingresos a las grandes ligas. Revista Acuicultores. 1. 15-19.

FEDEACUA. (2016). Avanza construcción del Plan de Ordenamiento para la Acuicultura y la pesca. Revista Acuicultores. 5: 8-10.

Fernández, R. Attayde, J. y Rivera, F. (2010). Effects of omnivorous filter-feeding fish and nutrient enrichment on the plankton community and water transparency of a tropical reservoir. *Freshwater Biology*. 55(4). 767-779.

Ferríol, M. y Merle, H. (2012). Los componentes alfa, beta y gamma de la biodiversidad. Aplicación al estudio de comunidades vegetales. Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. España. 10.

Figuroa, R. (2018). Macroinvertebrados bentónicos en Sistemas Fluviales Chilenos. [En línea]. Disponible en internet. <http://www2.udec.cl/~rfiguro/> [citado el 28 de octubre de 2020]

FOESA. (2013). Estrategia para el desarrollo sostenible de la acuicultura española. Fundación Observatorio Español de Acuicultura, Madrid, España. 88.

FOESA. (2013). Cambio climático y acuicultura. Fundación Observatorio Español de Acuicultura. Madrid, España. 210.

FONDEPEZ – Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero. (2014). Manual de crianza de trucha en ambientes convencionales. Lima, Perú. 88.

Forero, J. (2017). Macroinvertebrados bentónicos y su relación con la calidad del agua en la cuenca alta de del Río Frío (Tabio, Cundinamarca). Tesis de Grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

Forero, M; Ramírez, J y Chalar, G. (2014). Índice de calidad ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para la cuenca del río Negro (ICE RN-MAE), Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 62(2), 233–247.

Francis et al. (2001). Agroecology: the ecology of food systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22(3). 99-118.

Freitas, F. (2015). La calidad del agua y las buenas prácticas en acuicultura. *Divulgación Acuícola*. 2 (3). 10

Fuentes, J. (2014). Evolución del régimen ambiental de la acuicultura en Chile. *Revista de Derecho XLII*. 1. 41 – 477.

Fundación Biodiversa. (2015). Indicadores de seguimiento y sostenibilidad en acuicultura 2015. Observatorio Español de Acuicultura. España. 43.

Fundación Universitaria Iberoamericana. (2010). Gestión ambiental de la empresa. FUNIBER, Campus Virtual.

García, D; Gallego, I; Espinoza, A; García, A y Arriaga, C. (2013). Desarrollo de la producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en el Centro de México. *Revista AquaTIC*. 38. 46-56.

García, D; Remiro, J; Ojeda, F. Simard, A. y Simoes, S. (2011). Aproximación a la sostenibilidad acuícola del Mediterráneo mediante el uso de indicadores. *Revista AquaTIC*. 35. 1-8.

García, J; Garcia, B. y Rodríguez, L. (2008). Influencia de diversas variables productivas y análisis de la viabilidad económica del cultivo de Ostra Rizada (*Crassostrea gigas*) en batea. *Anales de Veterinaria de Murcia*. 24. 109-120.

García, R; Mora, A y Rodríguez, H. (2001). Evaluación de parámetros físico - químicos como indicadores del grado de eutrofización del lago Guamuez, municipio de Pasto, Nariño, Colombia. Universidad de Nariño. 108.

Gerard, G; Van, N and Thiery, W. (2018). Estimating the effect of rainfall on the surface temperature of a tropical lake. *Hydrology and Earth System Sciences*. 22(12). 6357-6369. *Revista Investigación Pecuaria*.

Giacometti, J. y Berbosa, F. (2006). Macroinvertebrados Acuáticos y su importancia como bioindicadores de la calidad del agua del río Alambi (Sangolqui, Ecuador). En: Boletín Técnico 6. Serie Zool. 2. Lugar: Carrera en ciencias Agropecuarias, IASA I. 17-32.

Giraldo, O. (2015). Agroecología y complejidad. Acoplamiento de la técnica a la organización ecosistémica. *Revista Latinoamericana*. 14 (41): 277-301

Giraldo, O y Rosset, P. (2016). La agroecología en una encrucijada: entre la institucionalidad y los movimientos sociales. *Guaju, Matinhos*, 2 (1): 14-37.

Giraldo, O and Rosset, P. (2017). Agroecology as a territory in dispute: between institutionality and social movements. *Journal of Peasant Studies*. doi:10.1080/03066150.2017.1353496.

Giraldo, O. (2018). ECOLOGÍA POLÍTICA DE LA AGRICULTURA Agroecología y posdesarrollo. Chiapas, México. Editorial El Colegio de la Frontera Sur.

Gnohossou, P; Laleye, P; Atachi, P. y Moreau, J. (2009). The role of macroinvertebrates in the diets of the dominant fish species in Lake Nokoué, Benin. *African Journal of Aquatic Science*. 34(2). 189-194.

Gobernación de Nariño (2010 a). Acuerdo de Competitividad de la Cadena Piscícola en el Departamento de Nariño. Pasto. 123.

Gobernación de Nariño. (2010 b). Desarrollo piscícola en el departamento de Nariño. Disponible en: ([http://xn--nario-rta.gov.co/2008-2011/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2199:desarrollo-piscicola-en-el-departamento-de-narino&catid=1&Itemid=633](http://xn--nario-rta.gov.co/2008-2011/index.php?option=com_content&view=article&id=2199:desarrollo-piscicola-en-el-departamento-de-narino&catid=1&Itemid=633)). Fecha de Consulta: 16 de mayo de 2018.

Gobernación de Nariño (2015). Avances del encadenamiento piscícola del departamento de Nariño. Pasto. 14.

Gobierno de Colombia. Honorable Congreso de la Republica. LEY No. 13 DEL 15 DE ENERO DE 1990. Por la cual se dicta el Estatuto General de Pesca.

Gobierno de Colombia. (2015). Inversión en el sector de la acuicultura. PROCOLOMBIA. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/pasante/inversin-en-el-sector-acucola-en-colombia>.

Gómez, S y Salazar, C. (2015). Abundancia y producción de macroinvertebrados en función de cuatro tipos de sustratos y de variables fisicoquímicas en la laguna la Virginia, páramo de Sumapaz. Tesis de Grado. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá Colombia.

González, A. (2015). Caracterización de sedimentos producidos en una explotación intensiva de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792), como un medio para definir estrategias de uso y manejo sostenible de lagunas de oxidación en piscicultura. Tesis de Maestría. Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia

González, J. (2015). Caracterización de sedimentos producidos en una explotación intensiva de trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792, como un medio para definir estrategias de uso y manejo sostenible de lagunas de oxidación en piscicultura. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/maest\\_agrociencias/3](https://ciencia.lasalle.edu.co/maest_agrociencias/3).

González, M. y Cobo, F. (2006). Macroinvertebrados de las aguas dulces de Galicia. Hércules Editores. España. 176.

González, E. (2017). Impacto ambiental de la acuicultura intensiva en los componentes agua y sedimento en el Lago Guamuez, Nariño. (Maestría). Universidad Nacional de Colombia.

González, E; Imuez, M; Duque, G; Burbano, E y Guerrero, C. (2018a). Impacto ambiental de la acuicultura intensiva en el Lago Guamuez, Colombia. Revista de Investigación Pecuaria. 5 (1): 33-43.



González, E; Burbano, E; Aparicio, R; Duque, G y Imuez, M. (2018b). Impactos de la acuicultura en los nutrientes del agua y macroinvertebrados bentónicos del lago Guamuez. *Revista Medicina Veterinaria y Zootecnia*. 23. 0122-0268.

Grant, W. (2001). *Ecología y manejo de recursos naturales: Análisis de sistemas y simulación*. Editorial Agroamérica. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura (IICA). Costa Rica. 340.

Greig, S. (1983). *Quantitative Plant Ecology*. Editorial University of California Press. 1983. 359.

Groot, R; Stuij, M; Finlayson, M. y Davidson, N. (2007). Valoración de humedales. Lineamientos para valorar los beneficios derivados de los servicios de los ecosistemas de humedales. Informe Técnico de Ramsar núm. 3, Núm. 27 de la serie de publicaciones técnicas del CDB. Suiza. 58.

Guiñez, M; Valdés, J y Sifeddine, A. (2010). Variabilidad espacial y temporal de la materia orgánica sedimentaria, asociada a la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO), en un ambiente costero del norte de la corriente de Humboldt, bahía de Mejillones, Chile. *Latin american journal of aquatic research*. 38(2). 242-253.

Gunard, J. Ríos, T. y Bernal, J. (2013). Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua de las cuencas alta y baja del río Gariché, provincia de Chiriquí, Panamá. *Revista Gestión y Ambiente*. 16(2). 61-70

Gustav, C. (2016). "Low-carbon food supply: The ecological geography of Cuban urban agriculture and agroecological theory". *Agriculture and Human*. 33 (4): 771-784.

Gutiérrez, N. (2014). Calidad del agua en la acuicultura. *Agricultura y Desarrollo Rural*. Disponible en: <https://sader.jalisco.gob.mx/fomento-acuicola-y-pesquero-e-inocuidad/519>. Fecha de Consulta: 25 de marzo de 2020.

Guzmán, L. (2014). Cultura, sociedad y medio ambiente en la Laguna de La Cocha. *Boletín Semillas Ambientales*, 8(1). 20-23.

Hahn, C; Toro, A; Grajales, A; Duque, G. y Uribe, L. (2009). Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en La Estación Piscícola, Universidad de Caldas, Palestina, Colombia. Boletín Científico Centro de Museos. Museo de Historia Natural. 13 (2). 89 – 105.

Hahn, C; Grajales, A. y Grajales, S. (2018). Breve compendio de parámetros de producción para una piscicultura campesina sostenible de zona andina. Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural. 22 (1). 86 – 94.

Halffter, G. (2009). “La memoria biocultural”. Cuadernos de biodiversidad. 30. 19-22.

Hanson, P; Springer, M y Ramirez, A. (2010). Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. Revista de Biología Tropical. 58(4). 3-37.

Hernández, G; Yossa, M y Vásquez, W. (2009). Composición del sedimento en estanques piscícolas. Memorias XV Jornada de Acuicultura. Instituto de acuicultura de Los Llanos IALL, pp 82-86.

Hernández, M y Aquino, G. (2008). Manual básico para el cultivo de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). GEM, TIES Cuencas Sanas y Modos de Vida Sustentable Series de Manuales de Capacitación. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/320934783\\_Manual\\_basico\\_para\\_el\\_cultivo\\_de\\_trucha\\_arco\\_iris\\_Oncorhynchus\\_mykiss\\_GEM\\_TIES\\_Cuencas\\_Sanas\\_y\\_Modos\\_de\\_Vida\\_Sustentable\\_Series\\_de\\_Manuales\\_de\\_Capacitacion](https://www.researchgate.net/publication/320934783_Manual_basico_para_el_cultivo_de_trucha_arco_iris_Oncorhynchus_mykiss_GEM_TIES_Cuencas_Sanas_y_Modos_de_Vida_Sustentable_Series_de_Manuales_de_Capacitacion)

Hernández, P; Giménez, M. and Gerez, R. (2008) Vegetal biodiversity present situation of Salado-Dulce watershed, Santiago del Estero, Argentina. In: Quebracho 16 (20-31). 12

HLPE. (2014). La pesca y la acuicultura sostenibles para la seguridad alimentaria y la nutrición. Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial. Roma. 133

Holmer, M; Duarte, M; Heilskov, A; Olesen, B and Terrados, J. (2003). Biogeochemical conditions in sediments enriched by organic matter from net-pen fish farms in the Bolinao area, Philippines. Marine Pollution Bulletin. 46. 1470-1479.

Hoyos, D. (2011). Evaluación del impacto de la retención de sólidos suspendidos en los estanques de cultivo de trucha sobre la calidad fisicoquímica del agua para la producción de peces. Tesis de maestría. Universidad del Valle. Cali, Colombia.

Huanaco, J; Montoya, H; Castellanos, P y Quiroz, R. (2018). Evaluación de la diversidad del fitoplancton de la laguna La Viuda (Lima, Perú) en agosto-noviembre 2016. 25(3). 1027-1040.

Hurtado, S; García, F. y Gutiérrez, P. (2003). Importancia ecológica de macroinvertebrados bentónicos de la subcuenca del río San Juan de Queretano. Revista de ciencias de América latina, el Caribe, España y Portugal. 4 (3). 271- 286.

IDEAM. (2007). Demanda bioquímica de oxígeno 5 días, incubación y electrometría. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Colombia.

IPAC-Acuicultura. (2017). El turismo de acuicultura y pesca como oportunidad de desarrollo social y económico. Disponible en: [http://www.ipacuicultura.com/noticias/en\\_portada/55658/el\\_turismo\\_de\\_acuicultura\\_y\\_pesc\\_a\\_como\\_oportunidad\\_de\\_desarrollo\\_social\\_y\\_economico\\_.html](http://www.ipacuicultura.com/noticias/en_portada/55658/el_turismo_de_acuicultura_y_pesc_a_como_oportunidad_de_desarrollo_social_y_economico_.html)

IPAC-Acuicultura. (2020). Agroecología como vía para enfrentar el desafío de la acuicultura sostenible. Disponible en: [http://www.ipacuicultura.com/noticias/ultima\\_hora/64256/agroecologia\\_como\\_via\\_para\\_enfr\\_entar\\_el\\_desafio\\_de\\_la\\_acuicultura\\_sostenible.html](http://www.ipacuicultura.com/noticias/ultima_hora/64256/agroecologia_como_via_para_enfr_entar_el_desafio_de_la_acuicultura_sostenible.html). Fecha de Consulta: 24 de marzo de 2020.

Jaya, F. (2017). Estudio de los sólidos suspendidos en el agua del río Tabacay y su vinculación con la cobertura vegetal y usos del suelo en la microcuenca. Tesis de Ingeniería Civil. Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.

Jiménez, J. (2019). Europa publica los medicamentos veterinarios permitidos en acuicultura. *Animal's Health*. Recuperado de <https://www.animalshealth.es/profesionales/europa-publica-los-medicamentos-veterinarios-permitidos-en-acuicultura>.

Jiménez, M. (2008). Transferencia de nutrientes entre la columna de agua y el sedimento bajo condiciones anaerobias en el embalse de Baniarrés (Alicante). Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.

Jojoa, P. (2020). Introducción de la trucha arcoíris en la Laguna de La Cocha. En persona. Corregimiento del Encano, Pasto, Colombia.

Kasozi, N; Degu, G; Opie, H; Peace, E; Atibuni, K and Mukalazi, J. (2014). Assessment of the Socio- Economic Value of Aquaculture in the West-Nile Agro Ecological Zone of Uganda. *World Journal of Fish and Marine Sciences*. 6 (3): 245-251.

Kaushik, J. (2001). Factores que afectan la excreción nitrogenada en teleósteos y crustáceos. 2000. En: Civera-Cerecedo R, Pérez-Estrada CJ, Ricque-Marie D, Cruz-Suárez LE (Editores). *Avances en nutrición acuícola memorias del IV Simposium internacional de nutrición acuícola*. Monterrey, México, p.237-250.

Khan, W; Vahab, A; Masood, A y Hasan, N. (2017). Water Quality Requeriments and Management Strategies for Fish Farming (A Case Study of Ponds, around Gurgaon Canal Nuh Palwal. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*. 2(1). 388-393.

Klontz, G. (1991). Producción de trucha arcoíris en granjas familiares. *Alimentos de Alta Calidad El Pedregal, S.A. de C.V. México*.

Kumar B, Shah, R y Mukherjee, D. (2011). Geochemical distribution of heavy metals in sediments from sewage fed fish ponds from Kolkata Wetlands, India. *Chem Spec Bioavailab*. 23. 24- 32.

Kumar, D; Karthik, M and Rajakumar, R. (2017). Study of seasonal water quality assessment and fish pond conservation in Thanjavur, Tamil Nadu, India. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 5. 1232–1238.

Ladrera, R. (2012). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. *Páginas de Información Ambiental*. 39. 24-29.

Laino, R; Bello, R; González, M; Ramírez, N; Jiménez, F y Musálen, K. (2015). Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(4). 61-74.

Lazard, J., et al. (2010). Aquaculture system diversity and sustainable development: fish farms and their representation. *Aquat Living Resour.* 23. 187–198.

Lazzari, R y Baldisserotto, B. (2008). Nitrogen and phosphorus waste in fish farming. *Boletim do Instituto de Pesca Sao Paulo.* 34 (4). 591-600

Lefebvre, S; Bacher, C; Meuret, A and Hussenot, J. (2001). Modeling approach of nitrogen and phosphorus exchanges at the sediment-water interface of an intensive fishpond system. *Aquaculture.* 195. 279-297.

Liu, J & Yang, H. (2016). Assessing water scarcity by simultaneously considering environmental flow requirements, water quantity, and water quality. *Ecological Indicators.* 60(4). 34-41.

López, D. (2014). Metodologías participativas, agroecología y sostenibilidad rural. Centro Nacional de Educación Ambiental. Sevilla, España. 29

López, J. (2014). Nutrición y Alimentación Piscícola. Colombia: Editorial Universidad de Nariño. 144.

López, J y Salas, J. (2013). Caracterización Comparativa de la Condición Limnológica del Lago Guamuéz en Relación con la Producción de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Jaulas Flotantes. *Revista ENTORNOS.* Universidad Sur Colombiana. 26(2). 181-194.

López, M; Jurado, G; Páez, I y Madroñero, S. (2017). Estructura térmica del lago Guamués, un lago tropical de alta montaña. *Revista Científica Luna azul.* 44. 94-119.

López, M. (2014 b). Evaluación de la calidad del agua a través del estado trófico y la estratificación térmica, en la Laguna de la Cocha Municipio de Pasto. Universidad Mariana. Pasto, Colombia. 96.

López, M y 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.

López, Y; Trujillo, E; Fonseca, G y Martínez, V. (2005). Identificación de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua, que se alteran por uso acuícola. Centro Interamericano de Recursos del Agua. 105-132.

Luna, M. (2005). La acuicultura, alternativas para las familias nativas de la amazonia. *Revista Agroecología LEISA*. 21(3). 26-28.

Luna, M; Campos, F y Medina, O. (2016). Evaluación de las aguas residuales del lavado de estanques multipropósito con cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 17(2). 191-202.

Luna, S y Madroñero, S. (2016). Importancia del componente social en el manejo del recurso hídrico, río el Encano, Humedal Ramsar La Cocha (Nariño, Colombia). *Luna Azul*. 42. 200-216.

Maldonado, M; Carmona, M; Echeverría, Y. and Riesgo, A. (2005). The environmental impact of Mediterranean cage fish farms at semiexposed locations: does it need a re-assessment? *Helgol Mar Res. España*. 121-135.

Marcó, L; Azario, R; Metzler, C y García, M. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). *Higiene y sanidad ambiental*. 4. 72-82.

Mariano, M; Huaman, P; Mayta, E; Montoya, H y Chanco, M. (2010). Contaminación producida por piscicultura intensiva en lagunas andinas de Junín, Perú. *Revista Peruana de Biología*. 17(1). 137-140.

Margalef, R. (1958). Information Theory in Ecology. *General Systematics*. 3. 36-71

Margalef, R. (1969). Diversity and stability: a practical proposal and a model of interdependence. *Brookhaven Symp. Biology*. 22. 25-37.

Martinez, M. (2018). Sistemas de producción acuícola de fase terrestre recirculación y flujo continuo. *Punto Ganadero*. 3(8). 11-17.

Magurran, A. (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement*. Ediciones Vedral, Barcelona, España. 192.

Méndez, C. (2018). Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. 39(3). 97-107

Méndez, E; Bacon, Ch and Cohen, R. (2013). Agroecology: a transdisciplinary, participatory and action-oriented approach. *Agroecology*. 8 (2). 9-18.

Merino, M. (2018). *Acuicultura en Colombia*. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). Dirección Técnica de Administración y Fomento. Ministerio de Agricultura de Colombia. Bogotá, Colombia. 63.

Meza, A; Rubio, J; Días, L y Walteros, J. (2012). Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la Subcuenca alta del río Chinchiná. *Caldasias*. 34(2). 443-456.

Meza, S y Sepúlveda, S. (2012). Efecto de la conductividad eléctrica y nivel del agua sobre la reproducción de la cucha xenocara (*Ancistrus triradiatus*, Eigenmann 1918) bajo condiciones experimentales. *Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia*. 6(1). 37-46.

McKindsey, C; Thetmeyer, H; Landry, T. and Silvert, W. (2006). Review of recent carrying capacity models for bivalve culture and recommendations for research and management. *Aquaculture*. 261(2). 451-462.

Mier, M., et al. (2018) Bringing agroecology to scale: key drivers and emblematic cases. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 42. 637-665.

Ministerio de ambiente de Colombia. (2014). VI Reunión Regional Panamericana de la Convención sobre los Humedales, del 26 al 31 de octubre de 2014. Bogotá Colombia. 5

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). Plan de Acción Institucional Vigencia 2019. Campo con progreso: una alianza para dinamizar el desarrollo y la productividad de la Colombia rural. Gobierno de Colombia. Bogotá, Colombia. 95

Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino – MARM. (2001). Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Junta Asesora Nacional de Cultivos Marinos. España. Boletín informativo. 3

Ministerio de la producción; Sierra Exportadora y AECID. (2011). Cartilla de difusión de buenas prácticas en acuicultura de trucha en jaulas flotantes. Lima, Perú. 14.

Mirzoyan, N; Parnes, S; Singer, A; Tal, Y; Sowers, K & Gross, A. (2008). Quality of brackish aquaculture sludge and its suitability for anaerobic digestion and methane production in an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *Aquaculture*, 279. 35–41.

Mockshell, J and Villarino, M. (2019). *Agroecological Intensification: Potential and Limitations to Achieving Food Security and Sustainability*. International Center for Tropical Agriculture (CIAT). 7

Morelli, E y Verdi, A. (2014). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en cursos de agua dulce con vegetación ribereña nativa de Uruguay. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85 (4): 1160– 1170.

Moreno, A. Memoria biocultural del conocimiento ancestral del agua para la resiliencia comunitaria casos de estudio Embera-Katios Y Zenúes (Colombia). Universidad Politécnica de Cataluña. Tesis Doctoral. 273.

Moreno, C. (2004). Proyecto de incentivos para la Laguna de la Cocha como sitio RAMSAR. Instituto Alexander Von Humboldt – IAvH, World Wildlife Fund – WWF Colombia, Asociación para el Desarrollo Campesino – ADC. Pasto, Nariño. 89.

Mosquera, Z y Mosquera, M. (2017). Diversidad de la entomofauna acuática y calidad de agua en quebradas del río San Juan, Chocó – Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20 (1): 149-161.

Motta, A; Longo, M y Aranguren, N. (2017). Variación temporal de la diversidad taxonómica y rasgos funcionales de los macroinvertebrados acuáticos en ríos temporales en la isla de Providencia, Colombia. *Actualidades Biológicas*. 39(107). 82-100.

Mundy, B. (2005). "Checklist of the fishes of the Hawaiian Archipelago". *Bishop Museum Bulletins in Zoology*. Bishop Mus. Bull. Zool. 6. 1-704.

Muñoz, C; Aranguren, N y Duquez, S. (2017). Morfología funcional del fitoplancton en un lago de alta montaña tropical: Lago de Tota (Boyacá-Colombia). *Revista de Biología Tropical*. 65 (2): 669-683.



Muñoz, H; Suarez, J; Vera, A; Orozco, S; Batlle, J; Ortiz, A. Mediola, J. (2012). Demanda bioquímica de oxígeno y población en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 28(1). 27-38

Muñoz, N. (2018). La disputa por el territorio en el posconflicto rural en Colombia: el caso del territorio campesino agroalimentario del norte de Nariño y el sur del Cauca. *Análisis Político*. 92. 52-68.

Muñoz, S., y Obando, M. (2000). Clasificación taxonómica, densidad y diversidad del plancton existente en el lago Guamuez. Tesis de grado. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. 162.

Nicovita. (18 de 08 de 2017). Industria acuicola. Obtenido Manual de crianza de tilapia: <http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf> consultado el 6 de octubre de 2020.

Nicholls, C y Altieri, M. (2018). Caminos para la amplificación de la agroecología. *Boletín científico 1*. CELIA Ediciones. Medellín, Colombia.

Nieto, M; Guzmán, M y Steinaker, D. Emisiones de gases de efecto invernadero: simulación de un sistema ganadero de carne típico de la región central Argentina. *RIA*. 40 (1): 92-101.

Nirmalraj, J. and Malliga, P. (2003) Airline Emission Forecast Through Empirical Analysis of Its Contributing Factors. *International Journal of Environmental Science and Development*. 2(1). 12-16.

Norris R & Hawkins, C. (2000). Monitoring river health. *Hydrobiologia* 435: 5-17

Nuñez, J y Fragoso, P. (2019). Uso de Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación del Agua de la Ciénaga Mata de Palma (Colombia). *Información Tecnológica*. 30(5). 319-330.

OCDE. (2012). *Rebuilding Fisheries: The Way Forward*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Recuperado de [https://read.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/rebuilding-fisheries\\_9789264176935-en#page3](https://read.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/rebuilding-fisheries_9789264176935-en#page3)

OCDE. (2016). Pesca y Acuicultura en Colombia. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Bogotá, Colombia. 30

OLDEPESCA. (2011). Organización Latinoamericana de Desarrollo Pesquero –. La Acuicultura y sus Desafíos. Sociedad Latinoamericana. 26

Ospina, O; Garcia, G; Gordillo, J y Tovar, K. (2016). Evaluación de la turbiedad y la conductividad ocurrida en temporada seca y de lluvia en el río Combeima (Ibagué, Colombia). Ingeniería Solidaria. 12(19). 19-36

Obando, A. (8 de febrero de 2010). Lago Guamués “Humedal Internacional RAMSAR. [Mensaje en un blog]. Arturobando.blogspot.com. Recuperado de <http://arturobando.blogspot.com.co/2010/02/lago-guamues-humedal-internacional.html>

Ovando, M. (2014). La Acuicultura y sus efectos en el medio ambiente. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Disponible en: [http://www.espacioimasd.unach.mx/articulos/num3/pdf/articulo\\_acuicultura.pdf](http://www.espacioimasd.unach.mx/articulos/num3/pdf/articulo_acuicultura.pdf). Fecha de Consulta: 08 de septiembre de 2015.

Pantoja, F y Pantoja, C. (2003) Hábitos alimentarios de *Grundulus* sp. (Pisces: Characidae) en el lago Guamuéz, Departamento de Nariño, Colombia. *Dahlia*. 6. 113-115.

Pardo, S; Suárez, H y Pertuz, V. (2009). Interacción de los suelos sulfatados ácidos con el agua y sus efectos en la sobrevivencia del bocachico (*Prochilodus magdalenae*) en cultivo. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 22. 619-631.

Paredes, J; Arias, M; Flowers, W; Medina, M; Herrera, P. & Peralta, E. (2011). Medición de la Biodiversidad Alfa de Insectos en el Bosque “Cruz del Hueso” de Bucay, Guayas-Ecuador. Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador. 5

Parmita, S and Dhruva, D. (2015). Application of Shannon's Index to study Diversity with Reference to Census Data of Assam. Asian Journal of management Research. 5(4). 635-643.

Patiño, G. (2015). Evaluación de la calidad del agua por medio de bioindicadores macroinvertebrados acuáticos en la quebrada La Vieja. Tesis de Grado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. 89

Perdomo, D; Castellanos, K; González, M y Perea, F. (2013). Efecto de la estrategia alimenticia en el desempeño productivo de la trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*). Revista Científica, 23 (4): 341-349.

Peralta, P y León, J. (2006). Estudios de caracterización limnológica de los embalses de la provincia de Mendoza. Departamento General de Irrigación, Argentina. 148

Pérez, J. (1996). La acuicultura y la conservación de la biodiversidad. Interciencia. Revista de Ciencia y Tecnología de América. 21 (3). 1-9.

Pérez, C; León, F y Delgadillo, G. (2013). Tratamiento de aguas manual de laboratorio. Universidad Nacional Autónoma de México. México DC. 130.

Pérez, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. Tecnología en Marcha. 29 (3): 3-14.

Pérez, E y Pérez, M. (2002). El Sector Rural en Colombia y su crisis actual. Cuadernos de Desarrollo Rural, 48. 35-58.

Pérez, J; Martínez, L; Castellano, L; Mora, A y Rocha, Z. (2020). Macroinvertebrados bioindicadores de calidad de agua en sistemas hídricos artificiales del Departamento de Boyacá, Colombia. Revista Producción + Limpia. 15(1). 35-48.

PNUD. (2010). Nariño y región, Análisis de la conflictividad. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. Área de paz, desarrollo y reconciliación. Colombia.

Pepinosa, H. (2012). Una mirada al concepto de justicia desde la cosmovisión indígena de los Pastos. Revista Facultad de Derecho y Ciencias Políticas. 42(117). 481- 514.

PICES. Partnerships Involving Stakeholders in the Celtic Sea Ecosystem. (2013). Hacia la sostenibilidad en el Mar Céltico. Guía para aplicar el enfoque ecosistémico a través de la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina. 25

Portilla, N. (2015). Distribución espacial y temporal de macroinvertebrados acuáticos en la quebrada La Cascajosa - Garzón Huila). ENTORNOS, 28 (1): 56–75

PRAT, N. (1999). Bioindicadores de calidad de aguas. *Revista académica colombiana de ciencias*. 23 (88). 375-387.

Quiroz, A; Ramírez, P y Lot, A. (2014). Variación anual de la biomasa de *Nymphoides fallax* Ornduff en la laguna de Tecocomulco, Hidalgo, México. *Polibotánica*. 37. 93–108.

Quiroz, A; Miranda, M; Ramírez, A y Lot-Helgueras, A. (2018). Acumulación de fósforo en sedimentos por comunidades de hidrófitas en el lago Tochac, Hidalgo, México. *Polibotánica*. 46. 233-240.

Ramírez, A y Gutiérrez, P. (2014). Estudios sobre macroinvertebrados acuáticos en América Latina: avances recientes y direcciones futuras. *Rev. Biol. Trop.* 62 (2): 9-20.

Ramírez, H; Luna, V y Arredondo, J. (2009). Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la acuicultura. *Revista Mexicana de Ingeniería*. 8(1). 93-99.

Ramos, D y Terry, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*. 35(4). 52-59

Ramsar, S. de la C. (2013). *Manual de la Convención de Ramsar*, 6a edición. (S. de la C. de Ramsar, Ed.) (6a ed., p. 116). Gland, Suiza: Secretaria de la Convención Ramsar.

Resolución No. 1006 (2015). Por medio de la cual se establecen unas acciones, medidas y/o restricciones para los proyectos piscícolas o acuícolas en jaulas flotantes ubicadas en el lago Guamues o Laguna de La Cocha del corregimiento El Encano, Municipio de Pasto, departamento de Nariño. Corporación Autónoma Regional de Nariño, CORPONARIÑO. República de Colombia

Resolución No. 020186 (2016). Por medio del cual se establecen las condiciones sanitarias y de bioseguridad en la producción primaria de animales acuáticos, para obtener el certificado como Establecimiento de Acuicultura Bioseguro. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). República de Colombia

Riedel, J y Frasinelli, C. (2013). Los sistemas de producción bovina de la provincia de San Luis, Argentina. Oportunidades y desafíos. En: 3er Simposio Internacional sobre producción animal. Utilización de forrajes en la nutrición de rumiantes. Temascaltepec de Gonzáles. México. 6, 7 y 8 de mayo de 2013.

Rivera, J; Pinilla, G y Camacho D. (2013). Macroinvertebrate Trophic Groups in an Andean Wetland of Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 18 (2): 279–292.

Rodríguez, R; Larreal, M y Moreno, J. (2012). Comportamiento de la conductividad eléctrica en dos series de suelo del sector caño San Miguel, municipio Mara, estado Zulia, Venezuela durante un periodo de tres años. *Revista Científica UDO Agrícola*. 12 (4): 881-889.

Rojas, Ch. (1998). Análisis físico-químico del agua en métodos normalizados. Programa Nacional de Calidad de aguas. Universidad de, Valle. Cali, Colombia. 117.

Roldan, G. (1988). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia. Bogotá, Colombia. 216

Roldan, G. (1992). Fundamentos de Limnología Neotropical. Primera edición. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 529.

Roldán, G. (1996). Guía para el estudio de macro-invertebrados acuáticos del Departamento de Antioquía. Primera reimpresión. Editorial Universidad de Antioquia, Bogotá, Colombia, 217.

Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad de agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 12.

Roldán, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 40 (155): 254-274.

Rosenberg, D. and Resh, V. (1993). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman y Hall. Nueva York. 488

Rozo, A y Salinas, L. (2016). Inventario del orden Ephemeroptera (Insecta) en la quebrada Coquital, Serranía de Tripogadí, Departamento del Chocó, Colombia. *Entomotropica*. 31(1): 1-13.

Sabogal, J. (2015). El modo de producción capitalista, su actual crisis sistémica y una alternativa posible. *Revista Sociedad y Economía*. 28. 75-94

Salameh, E y Harahsheh, S. (2011). Eutrophication Processes in Arid Climates. En *Eutrophication: Causes, Consequences and Control*. (A.A. Ansari, S. Singh Gill, G.R. Lanza y W. Rast, Eds.). Springer, New York, 69-90.

Salas, J; López, J; Ortega, L y Gómez, V. (2014). Caracterización parasitaria de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y su efecto en la producción de la estación piscícola flotante Intiyaco, en el lago Guamuez (Nariño). *Veterinaria y Zootecnia*. 8 (2). 87-101, 2014.

Saldaña, D. (2013). Los conflictos por el agua en Boyacá. El caso de la laguna de Tota. *Historia y Memoria*. 6. 256-257.

Sande, P; Mirás y Páz, A. (2005). Formas de fósforo y su relación con la erosión en aguas superficiales bajo clima atlántico. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo*. 7. 125-130.

Sánchez, I y Salazar, R. (2007). Infraestructura Hidráulica Para Acuicultura. Un aporte en la compilación y adaptación del conocimiento ingenieril a la Acuicultura. *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola*. 2(2). 246-297.

Sánchez, J. (2011). Características biológicas y ecológicas de los macroinvertebrados en un sector del hiporitron en el río Tormes (España Central). *Zool. baetica*. 22. 51– 67.

Sánchez, L; Vidal, E; Lado, M; Bandeira, D; Paz, A y Hernandez, Z. (junio de 2018). Caracterización de la materia orgánica de suelos y sedimentos sometidos a lluvia simulada por FTIR. En Grupo agua y suelo, AQUATERRA (Presidencia), VIII Conference on Soil Use and Management. Congreso llevado a cabo en Coruña, España.

Sanz, C; Belando, M; Marín, L, Navarrete, F and Marín, A. (2011). Relationship between sedimentation rates and benthic impact on Maërl beds derived from fish farming in the Mediterranean. *Mar Environ Res.* 71(1): 22-30

Saremi, A; Saremi, K; Saremi, A; Sadeghi, M and Sedghi, H. (2013). The effect of aquaculture effluents on water quality parameters of Haraz River. *Iranian Journal of Fisheries Sciences.* 12(2). 445-453.

Sidoruk, M and Cymes, I. (2018). Effect of Water Management Technology Used in Trout Culture on Water Quality in Fish Ponds. *Journal Watwer.* 10. 2-14.

Solano, J. (2005). Determinación de fósforo Total, Nitrógeno y Carbono orgánico en sedimentos del Lago de Tota Boyacá, Colombia. Tesis de Grado. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.

Solar, N. (2017). Efectos de la turbidez sobre el crecimiento de tres especies de moluscos con perspectiva de utilizarlas en el tratamiento de efluentes camaroneros. Tesis de Maestría. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

Solís, M. (2013). La acuicultura y sus efectos en el medio ambiente. *Revista Espacio Innovación más desarrollo.* 2. 61-80.

Somarriba, E. Diversidad de Shannon. *Revista Agroforestería en las Américas.* [En línea]. Disponible en internet, URL:[http://web.catie.ac.cr/informacion/rafa/rev23/nsoma\\_1.htm#mide](http://web.catie.ac.cr/informacion/rafa/rev23/nsoma_1.htm#mide) [Citado en 15 de agosto de 2016]

Sotelo, D. Las comunidades rurales y su significado de progreso. Casos de la Laguna de La Cocha y el Lago de Tota. (Doctorado). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Soto, D. (2009). Integrated mariculture: a global review. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper.* No. 529. Rome. 185

Soto, D. (2017). Implementando el Enfoque Ecosistémico a la Acuicultura para abordar los objetivos socioeconómicos ambientales y de gobernanza. Institute for multidisciplinary research in aquaculture INCAR. 34.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (2012). Rice, E; Baird, R; Eaton, A. and Clesceri, L. Editors. Edition 22. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 1496

Steinman, A., et al. (2017). Ecosystem services in the Great Lakes. J. Great Lakes Res. 2. 1-8.

Studer, E. (2007). Evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos: Indicadores del estado trófico del Lago de Yojoa, Honduras. (Tesis de Maestría). École Polytechnique fédérale de Lausanne. Lausanne, Suiza.

Surriba, C. (2010). H<sub>2</sub>O Elixir de vida. Elemental Watson La Revista. 1 (1). 5-7.

Tacon, A. (2003). Aquaculture Production Trends Analysis. FAO Fisheries. Circular N° 886 (revisión 2). Roma.

The Economist. (2003). Special Report: The promise of a blue revolution - Fish farming. The Economist, 368(8336): 20-23.

Toledo, V y Barrera, N. (2014). La memoria Biocultural. La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. Editorial UC.

Toro, D; Jaramillo, M; Ocampo, D; Correa R y Salgado, P. Estudio limnológico de la laguna negra. Zona amortiguadora del P.N.N. los nevados. bol.cient.mus.hist.nat. 16 (2): 23 - 38

Torralba, A.; Dugnot, J. y Ocharan, F. (2006). Efectos de tres piscifactorías de salmónidos sobre las comunidades de macroinvertebrados bentónicos de los ríos donde se ubican. Universidad de Zaragoza. 12. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10651/19476>.



Torres, A; Tovar, M; Hurtado, H y Gómez, E. (2015). Excreción de nitrógeno amoniacal total a diferentes densidades de siembra de *Cyprinus carpio* en condiciones de laboratorio. *Orinoquia*. 19(1). 19-26.

Torres, C; Landassuri, V; Carbajal, J y Flores, J. (2016). Predicción de oxígeno disuelto en acuicultura semi-intensiva con redes neuronales artificiales. *Research in Computing Science*. 120. 159-168.

Torres, G y Lozano, E. (2017). Disminución de sólidos de aguas grises mediante un proceso de aireación. *Ra Ximhai*. 13(3). 393-404.

Torres, N y Granda, I. (2017). Estimación de los desperdicios generados por la producción de trucha arcoíris en el lago de Tota, Colombia. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 18(2). 247-255.

UPRA. (2015). Planificación para el desarrollo rural agropecuario. Plan de Desarrollo Departamental. Guía para la incorporación del componente rural agropecuario. Unidad de Planificación Rural Agropecuario. Bogotá, Colombia. 169.

Valenzuela, R; Martínez, P y Arevalo, J. (2017). Evaluación preliminar de un sistema de recirculación de aguas para un prototipo implementado en la producción de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). *Ingeniería y Región*. 18. 27-37

Vázquez G; Castro G; González I; Pérez R. y Castro T. (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua, *Revista ContactoS*. 60. 41- 48.

Vásquez, R; Pupo, A y Jiménez, H. (2014). An Energy Efficient and Low Cost System, to Control the Temperature and the Oxygen Increase, in the Red Tilapia Fingerling Cultivation's Tanks. *Faculty of Engineering Journal*. 23(36). 9-23.

Vásquez, W; Talavera, M y Inga, M. (2016). Evaluación del impacto en la calidad de agua debido a la producción semi intensiva de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes en la laguna Arapa – Puno. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 8(1). 15-28.

Velasco, A; Calvario, M; Pulido, F; Acevedo, S; Castro, R. y Román, G. (2012). Problemática Ambiental de la Actividad Piscícola en el Estado de Hidalgo, México. En: Revista Académica. Ingeniería, México. 16 (3), 165-174.

Velasco, P; Pulido, G; Acevedo, O; Castro, J y Román, A. (2015). Diagnóstico y valoración del desempeño ambiental de la piscicultura en el estado de Hidalgo, México. RelbCi. 2 (6): 47-53

Vera, R. y Vergara, A. (2016). Efectos del lavado in situ de redes en sedimentos asociados a la acuicultura en el sur de Chile. Revista de Biología y Oceanografía. 51(3). 505-514.

Villamarín, C; Rieradevall, M; Paul, M; Barbour, M PRAT, N. (2013). A tool to assess the ecological condition of tropical high Andean streams in Ecuador and Peru: The IMEERA index. Ecological indicators 29: 79-92

Vive Nariño un paraíso lleno de sorpresas. (2014). Lago Guamués o Laguna de La Cocha. Retrieved from <http://www.vivenarino.com/es/cocha>.

Wagner, B & Young, J. (2009). Sea bass and sea bream farmed in the Mediterranean: swimming against the tide of market orientation. *Supply Chain Manage.* 14. 435–446.

Walbaum, J. (1792). Petri Artedi sueci genera piscium in quibus systema totum ichthyologiae proponitur cum classibus, ordinibus, generum characteribus, specierum differentiis, observationibus plurimis: redactis speciebus 242 ad genera 52: Ichthyologiae pars 3. Ant. Ferdin. Röse: Grypeswaldiae. 723, 3.

Walteros, J. Castaño, M y Marulanda, J. (2016). Ensamble de macroinvertebrados acuáticos y estado ecológico de la microcuenca Dalí-Otún, Departamento de Risaralda, Colombia. Hidrobiológica 26 (3): 359-371

Wallace, J. and Webster, J. (1996). The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics. 41. 115-139.

Weissingner, R; Pekins, D and Dinger, E. (2012). Biodiversity, water chemistry, physical characteristics and anthropogenic disturbance gradients of sandstone springs on the Colorado plateau. Western North American Naturalist. 72(3). 393–406

Wheaton, F. (1982). Acuicultura: Diseño y construcción de sistemas. AGT Ediciones. 704

Windsor, F; Tilley, R; Tyler, Ch y Ormerod. (2019). Ingestión microplástica por macroinvertebrados fluviales. *Science of The Total Environment*. 646. 68-74.

Wurts, W. (2002). Alkalinity and hardness in production ponds. *World Aquaculture* 33(1). 16-17.

WWAP. (2017). Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París, UNESCO. 202.

Yapo, M; Yalamoussa, T; Mouhamadou, K; Atsé, B; and Kouassi, P. (2017). Can use the Biotic Index as an indication of fish farm pond water quality? *Journal Advances in Zoology and Botany*. 4. 39-46.

Yépez, A; Yopez, B; Urdánigo, J; Morales, D; Guerrero, N y TayHing, C. (2017). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*. 10 (1): 27-34.

Yossa, M; Hernández, G; Vásquez, W; Ortega, J y Vinatea, L. (2014). Composición y dinámica de los sedimentos en estanques de cachama blanca y tilapia roja. *Orinoquia*. 18(1). 15-25.

Yossa, M; Hernández, G y Vásquez, W. (2012). Composición nutricional del sedimento en estanques con tilapia roja. *Orinoquia Suplemento*. 16(2). 218-224.

Zamora, H. (2015). Macroinvertebrados acuáticos registrados durante la época de lluvias en tres ríos del piedemonte llanero de Colombia. *Rev. Colombiana Cienc. Anim.* 7 (2): 139-147.

Zhou, L and Boyd, C. (2015). Ammonia nitrogen management in aquaculture ponds. *Aquaculture Magazine*. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/284447968>

Zúñiga, M; Chará, J; Giraldo, A. Chará, S y Pedraza, G. (2013). Composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en pequeñas quebradas de la región andina colombiana, con énfasis en la entomofauna. *Dugesiana* 20 (2): 263-277.



# ANEXOS

## Anexo A. Medición de parámetros fisicoquímicos medidos en el agua de las áreas y puntos de muestreo.

FECHA	Mes de septiembre de 2018																										
Epoca de Lluvias	ALTAS																										
Ubicación	Zona A -Vereda El Motilón																										
	Estación 1									Estación 2									Estación 3								
	0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
OD (mg/l)	7,30	7,30	7,20	6,90	6,80	6,80	5,60	5,60	5,60	7,28	7,30	7,30	6,92	6,94	6,89	5,65	5,66	5,66	7,01	7,10	7,20	6,77	6,79	6,78	6,00	5,97	5,97
Tº (°c)	14,50	14,50	14,51	14,05	14,10	14,10	13,80	13,83	13,84	14,51	14,52	14,52	14,00	14,00	14,00	13,79	13,80	13,82	14,53	14,53	14,54	14,10	14,11	14,10	13,71	13,78	13,79
CE (µS/cm)	99,25	99,25	99,25	100,15	100,00	101,00	120,15	120,08	121,00	99,24	99,23	99,25	100,10	100,12	100,10	121,00	122,05	121,90	98,90	99,00	98,95	100,00	101,00	100,00	122,00	121,08	121,10
PH	6,49	6,50	6,50	6,32	6,33	6,30	6,12	6,10	6,08	6,48	6,49	6,48	6,34	6,33	6,33	6,10	6,10	6,10	6,51	6,58	6,54	6,40	6,39	6,42	6,15	6,15	6,18
DUREZA (mg/L)	25,00	25,00	25,00	25,50	25,51	25,51	26,00	26,00	26,00	25,02	25,02	25,02	25,53	25,52	25,53	26,01	26,02	26,03	25,02	25,00	25,01	25,50	25,52	25,5	26,00	26,01	26,00
ALCALINIDAD (mg/L)	16,50	16,50	16,51	16,11	16,12	16,11	16,00	15,90	15,93	16,51	16,51	15,52	16,12	16,13	16,13	15,99	15,98	15,99	16,52	16,51	16,50	16,10	16,10	16,10	15,95	15,97	15,96
TURBIDEZ (UNT)	1,92	1,93	1,92	1,96	1,96	1,96	2,00	2,01	2,00	1,92	1,94	1,94	1,97	1,97	1,97	2,01	2,02	2,02	1,93	1,93	1,93	1,98	1,98	1,98	2,03	2,03	2,02
TRANSPARENCIA (m)	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,51	3,51	3,51	3,51	3,51	3,51	3,51	3,51	3,51	3,51	3,51	3,51	3,50	3,50	3,50	3,51	3,51	3,51	3,51	3,52	3,53

FECHA	Mes de septiembre de 2018																										
Epoca de Lluvias	ALTAS																										
Ubicación	Zona A1 - Punto Control Vereda El Motilón																										
	Estación 1									Estación 2									Estación 3								
	0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
OD (mg/l)	8,00	8,00	7,99	7,42	7,41	7,40	6,18	6,20	6,23	8,10	8,10	8,10	7,40	7,41	7,40	6,17	6,15	6,18	8,23	8,18	8,09	7,41	7,43	7,39	6,01	6,15	6,20
Tº (°c)	14,47	14,48	14,47	14,00	14,00	14,00	13,66	13,70	13,69	14,46	14,45	14,47	14,05	14,10	14,08	13,50	13,50	13,50	14,43	14,45	14,45	14,00	14,00	14,10	13,50	13,51	13,50
CE (µS/cm)	87,30	86,18	86,21	95,15	95,20	96,00	101,37	103,14	102,40	88,00	88,00	86,90	96,00	96,00	96,00	103,00	101,00	100,00	85,00	87,00	86,02	96,14	95,92	96,13	103,00	103,00	102,80
PH	7,00	7,00	7,00	6,85	6,87	6,88	6,30	6,34	6,40	7,10	7,11	7,08	6,79	6,81	6,84	6,33	6,32	6,31	7,10	7,15	7,20	6,83	6,83	6,85	6,33	6,33	6,33
DUREZA (mg/L)	24,00	24,00	24,00	24,50	24,50	24,55	25,00	25,05	25,05	24,00	24,03	24,03	24,54	24,54	24,55	25,05	25,05	25,05	24,04	24,02	24,03	24,54	24,53	24,53	25,06	25,05	25,06
ALCALINIDAD (mg/L)	17,42	17,42	17,42	17,10	17,11	17,12	17,00	16,99	16,95	17,43	17,41	17,41	17,13	17,13	17,13	16,94	16,94	16,94	17,40	17,41	17,41	17,13	17,10	17,12	16,95	17,00	17,00
TURBIDEZ (UNT)	1,67	1,67	1,67	1,71	1,70	1,71	1,75	1,76	1,77	1,68	1,67	1,67	1,72	1,71	1,71	1,77	1,77	1,76	1,66	1,66	1,66	1,70	1,70	1,70	1,77	1,75	1,76
TRANSPARENCIA (m)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

## Continuación anexo A.

FECHA	Mes de septiembre de 2018																										
Epoca de Lluvias	ALTAS																										
Ubicación	Zona B - Vereda Santa Teresita																										
	Estación 1									Estación 2									Estación 3								
	0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
OD (mg/l)	7,21	7,22	7,18	6,19	6,19	6,30	5,14	5,21	5,25	7,00	7,09	7,11	6,32	6,34	6,39	5,98	5,77	5,81	7,29	7,10	7,04	6,42	6,40	6,43	6,00	6,00	5,98
Tº (°c)	14,60	14,59	14,56	14,10	14,10	14,10	13,79	13,79	13,80	14,55	14,56	14,58	14,00	13,99	14,00	13,70	13,75	13,70	14,59	15,00	14,57	14,11	14,11	14,12	13,70	13,71	13,72
CE (µS/cm)	80,25	80,25	80,25	87,00	87,00	86,00	92,40	92,30	92,20	80,00	80,00	80,00	87,20	87,30	87,26	93,00	93,20	93,20	80,35	80,20	80,31	86,90	87,00	87,12	93,00	93,40	93,40
PH	6,58	6,59	5,59	6,50	6,49	6,48	6,39	6,40	6,40	6,58	6,58	6,59	6,49	6,50	6,49	6,38	6,38	6,37	6,57	6,58	6,56	6,50	6,5	6,49	6,38	6,37	6,38
DUREZA (mg/L)	24,56	24,57	24,57	24,62	24,62	24,62	24,90	24,90	24,90	24,57	24,55	24,56	24,61	24,61	24,61	24,92	24,91	24,92	24,56	24,55	24,55	24,63	24,6	24,6	25,00	24,98	25,00
ALCALINIDAD (mg/L)	17,05	17,07	17,06	16,50	16,51	16,49	16,30	16,33	16,33	17,06	17,06	17,08	16,48	16,49	16,49	16,32	16,32	16,32	17,08	17,08	17,08	16,50	16,51	16,49	16,31	16,33	16,30
TURBIDEZ (UNT)	1,83	1,84	1,84	1,90	1,89	1,89	1,93	1,92	1,94	1,82	1,82	1,83	1,88	1,90	1,89	1,94	1,94	1,94	1,83	1,81	1,82	1,89	1,88	1,88	1,94	1,94	1,93
TRANSPARENCIA (m)	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,65	3,65	3,65	3,61	3,61	3,61	3,63	3,63	3,63	3,65	3,65	3,65	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60

FECHA	Mes de septiembre de 2018																										
Epoca de Lluvias	ALTAS																										
Ubicación	Zona B1 - Punto Control Vereda Santa Teresita																										
	Estación 1									Estación 2									Estación 3								
	0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
OD (mg/l)	8,85	8,90	8,62	7,70	7,70	7,72	6,52	6,53	6,48	8,11	8,11	8,27	7,69	7,70	7,65	6,34	6,52	6,49	8,15	8,25	8,41	7,36	7,33	7,29	6,49	6,50	6,55
Tº (°c)	14,58	14,56	14,55	14,05	14,04	14,08	13,70	13,72	13,71	14,45	14,46	14,45	14,97	13,99	13,98	13,50	13,50	13,50	14,57	14,57	14,54	14,10	14,07	14,00	13,65	13,65	13,65
CE (µS/cm)	68,10	68,10	69,00	75,47	75,47	75,47	78,3	78,30	78,3	67,80	67,90	67,95	74,80	74,90	75,00	79,00	80,00	79,60	68,12	68,11	68,80	75,30	75,35	76,03	77,05	78,01	79,00
PH	7,05	7,07	7,06	6,90	6,92	6,93	6,43	6,44	6,46	7,10	7,14	7,09	6,92	6,90	6,92	6,43	6,42	6,41	7,10	7,2	7,18	6,95	6,95	6,94	6,45	6,44	6,43
DUREZA (mg/L)	23,70	23,73	23,70	23,90	23,90	23,90	23,98	24,00	24,00	23,71	23,71	23,71	23,92	23,91	23,92	24,00	23,99	23,99	23,72	23,72	23,72	23,90	23,91	23,91	24,00	24,00	24,00
ALCALINIDAD (mg/L)	17,70	17,71	17,72	17,28	17,28	17,28	17,15	17,16	17,18	17,73	17,73	17,74	17,29	17,30	17,30	17,16	17,16	17,16	17,74	17,73	17,71	17,29	17,31	17,30	17,17	17,16	17,17
TURBIDEZ (UNT)	1,77	1,78	1,77	1,84	1,85	1,85	1,90	1,90	1,90	1,76	1,76	1,76	1,85	1,84	1,84	1,91	1,92	1,91	1,77	1,76	1,76	1,86	1,86	1,84	1,91	1,91	1,91
TRANSPARENCIA (m)	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,23	4,23	4,23	4,25	4,25	4,25	4,20	4,20	4,20	4,25	4,25	4,25	4,24	4,24	4,24	4,24	4,24	4,24	4,25	4,25	4,25

## Continuación anexo A.

FECHA	Mes de Octubre de 2018																										
Epoca de Lluvias	ALTAS																										
Ubicación	Zona C - Vereda Naranjal																										
	Estación 1									Estación 2									Estación 3								
	0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
OD (mg/l)	8,56	8,57	8,56	8,00	7,99	7,98	6,35	6,58	6,60	8,60	8,60	8,60	7,86	7,84	7,90	6,00	5,99	5,89	8,56	8,53	8,53	7,61	7,70	7,70	6,18	6,27	6,40
Tº (°c)	14,55	14,57	14,56	14,10	14,10	14,11	13,20	13,30	13,26	14,54	14,55	14,53	13,99	13,99	14,00	13,21	13,28	13,28	14,54	14,57	14,60	14,10	14,11	14,10	13,40	13,43	13,45
CE (µS/cm)	80,12	80,05	80,03	86,80	86,90	87,03	91,34	91,91	91,00	81,00	80,96	81,00	86,77	86,14	86,36	90,01	91,00	90,72	80,10	80,12	80,79	86,00	86,02	86,14	90,00	90,00	90,00
PH	7,00	7,00	7,02	6,55	6,57	6,56	6,44	6,46	6,45	7,02	7,02	7,01	6,56	6,56	6,56	6,43	6,44	6,44	7	7,03	7,03	6,54	6,55	6,55	6,43	6,43	6,45
DUREZA (mg/L)	24,00	24,10	24,09	24,40	24,43	24,40	24,78	24,75	24,78	24,02	24,02	24,02	24,42	24,43	24,43	24,76	24,76	24,77	24,10	24,08	24,08	24,41	24,41	24,41	24,80	24,80	24,79
ALCALINIDAD (mg/L)	17,48	17,48	17,49	17,22	17,22	17,22	17,04	17,06	17,05	17,47	17,47	17,47	17,23	17,24	17,24	17,04	17,04	17,05	17,48	17,48	17,48	17,23	17,24	17,21	17,05	17,05	17,05
TURBIDEZ (UNT)	1,70	1,71	1,70	1,75	1,75	1,74	1,80	1,80	1,80	1,71	1,71	1,71	1,74	1,76	1,75	1,79	1,79	1,80	1,70	1,71	1,71	1,76	1,76	1,75	1,81	1,79	1,80
TRANSPARENCIA (m)	3,70	3,70	3,70	3,74	3,74	3,74	3,73	3,73	3,73	3,74	3,74	3,74	3,73	3,73	3,73	3,73	3,73	3,73	3,70	3,70	3,70	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72

FECHA	Mes de octubre de 2018																										
Epoca de Lluvias	ALTAS																										
Ubicación	Zona C1 - Punto Control Vereda Naranjal																										
	Estación 1									Estación 2									Estación 3								
	0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
OD (mg/l)	9,05	9,00	9,00	8,46	8,47	8,48	7,00	6,99	7,00	8,99	8,88	8,93	8,00	8,00	8,07	6,99	7,01	7,03	9,10	9,08	9,04	8,20	8,20	8,23	6,99	7,03	7,00
Tº (°c)	14,50	14,51	14,53	13,80	13,80	13,90	13,00	13,10	13,10	14,52	14,50	14,50	13,45	13,43	13,45	13,00	13,00	13,00	14,53	14,53	14,53	14,00	13,90	13,95	13,01	13,02	13,00
CE (µS/cm)	65,40	65,11	65,09	70,41	70,39	70,51	76,70	75,80	75,98	64,98	64,99	65,00	69,78	70,00	70,00	74,70	75,00	74,68	65,40	65,30	65,32	70,12	70,10	69,90	75,14	75,14	75,09
PH	7,30	7,30	7,28	6,99	7,00	7,00	6,55	6,55	6,56	7,31	7,30	7,30	7,00	7,00	7,00	6,54	6,55	6,56	7,28	7,3	7,32	6,98	6,98	7,00	6,56	6,56	6,55
DUREZA (mg/L)	22,90	22,90	22,90	23,15	23,16	23,17	23,90	23,95	23,94	22,89	22,89	22,91	23,16	23,16	23,16	23,93	23,94	23,94	22,88	22,88	22,88	23,20	24,23	23,21	23,99	23,98	23,96
ALCALINIDAD (mg/L)	17,95	18,00	17,96	17,70	17,70	17,70	17,27	17,27	17,27	18,00	18,00	18,00	17,71	17,72	17,73	17,28	17,28	17,28	17,96	17,97	17,96	17,72	17,72	17,73	17,28	17,29	17,30
TURBIDEZ (UNT)	1,62	1,62	1,61	1,66	1,67	1,66	1,74	1,75	1,75	1,61	1,62	1,63	1,65	1,65	1,66	1,76	1,75	1,74	1,60	1,60	1,60	1,66	1,65	1,67	1,75	1,75	1,75
TRANSPARENCIA (m)	4,30	4,30	4,30	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,34	4,34	4,34	4,34	4,34	4,34	4,35	4,35	4,35	4,35	4,36	4,37	4,35	4,36	4,37

## Continuación anexo A.

FECHA	Mes de abril de 2019																										
Epoca de Lluvias	BAJAS																										
Ubicación	Zona A - Vereda El Motilón																										
	Estación 1									Estación 2									Estación 3								
	0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
OD (mg/l)	6,00	6,00	6,05	4,99	5,03	5,00	4,11	4,35	4,30	6,01	6,10	6,06	5,30	5,36	5,29	4,50	4,00	4,00	6,25	6,28	6,19	5,25	5,25	5,00	4,00	4,20	4,21
Tº (°c)	16,80	16,80	16,80	15,90	15,91	15,91	15,00	15,03	15,00	16,80	16,81	16,81	15,95	15,95	15,96	14,99	15,00	15,00	16,81	16,82	16,82	15,91	15,90	15,90	15,00	14,99	15,00
CE (µS/cm)	115,32	115,41	118,00	117,00	117,00	117,00	125,00	124,26	124,18	115,00	115,50	116,01	118,03	118,05	118,00	126,03	125,88	125,93	116,00	116,00	116,00	118,69	119,00	118,70	127,10	126,90	127,00
PH	7,55	7,55	7,54	7,50	7,51	7,51	7,36	7,30	7,34	7,56	7,56	7,55	7,52	7,51	7,51	7,28	7,30	7,30	7,56	7,55	7,55	7,50	7,49	7,50	7,32	7,30	7,28
DUREZA (mg/L)	27,02	27,05	27,05	27,50	27,51	27,50	28,00	28,00	28,00	27,04	27,04	27,04	27,52	27,52	27,52	28,00	28,00	28,00	27,05	27,03	27,05	27,51	27,51	27,51	28,00	28,00	28,00
ALCALINIDAD (mg/L)	17,80	17,82	17,83	17,55	17,54	17,53	17,30	17,30	17,30	17,83	17,84	17,84	17,52	17,51	17,50	17,32	17,32	17,32	17,82	17,84	17,83	17,50	17,51	17,51	17,31	17,31	17,31
TURBIDEZ (UNT)	1,60	1,59	1,59	1,66	1,66	1,66	1,80	1,81	1,81	1,58	1,59	1,58	1,66	1,65	1,65	1,82	1,82	1,81	1,60	1,60	1,59	1,66	1,65	1,66	1,81	1,80	1,82
TRANSPARENCIA (m)	3,80	3,80	3,80	3,80	3,80	3,80	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,8	3,8	3,8

FECHA	Mes de abril de 2019																										
Epoca de Lluvias	BAJAS																										
Ubicación	Zona A1 - Punto Control Vereda El Motilón																										
	Estación 1									Estación 2									Estación 3								
	0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
OD (mg/l)	7,52	7,51	7,50	6,24	6,25	6,23	5,19	5,30	5,33	7,62	7,65	7,53	6,20	6,20	6,26	5,54	5,81	5,70	7,51	7,49	7,50	6,18	6,29	6,28	5,01	5,10	5,02
Tº (°c)	16,75	16,76	16,76	15,88	15,89	15,89	14,95	14,96	14,96	16,74	16,74	16,74	15,86	15,85	15,87	14,95	14,96	14,95	16,76	16,74	16,75	15,83	15,87	15,85	14,93	14,93	14,95
CE (µS/cm)	100,14	99,90	100,08	110,00	109,86	111,16	120,09	120,10	120,21	101,02	101,00	100,43	108,76	109,00	110,06	119,92	120,10	120,10	100,20	100,10	99,95	108,00	110,30	111,30	121,00	121,00	120,90
PH	7,70	7,74	7,75	7,58	7,59	7,60	7,40	7,40	7,40	7,71	7,70	7,70	7,58	7,60	7,60	7,39	7,40	7,40	7,68	7,69	7,68	7,57	7,57	7,57	7,39	7,40	7,39
DUREZA (mg/L)	25,80	25,85	25,85	26,00	26,02	26,02	26,60	26,60	26,60	25,81	25,81	25,81	26,50	26,50	26,50	26,61	26,61	26,61	25,82	25,80	25,81	26,51	26,51	26,51	26,60	26,60	26,60
ALCALINIDAD (mg/L)	18,02	18,03	18,02	17,90	17,89	17,88	17,44	17,45	17,43	18,00	18,02	18,02	17,88	17,88	17,88	17,44	17,44	17,45	18,03	18,03	18,03	17,87	17,88	17,87	17,43	17,42	17,43
TURBIDEZ (UNT)	1,49	1,48	1,49	1,55	1,55	1,55	1,59	1,60	1,61	1,49	1,47	1,47	1,54	1,55	1,54	1,61	1,61	1,61	1,47	1,47	1,47	1,54	1,55	1,55	1,61	1,59	1,6
TRANSPARENCIA (m)	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40	4,45	4,45	4,45	4,45	4,45	4,45	4,35	4,35	4,35	4,50	4,50	4,50	4,45	4,45	4,45	4,5	4,5	4,5



## Continuación anexo A.

FECHA	Mes de abril de 2019																										
Epoca de Lluvias	ALTAS																										
Ubicación	Zona B - Vereda Santa Teresita																										
	Estación 1									Estación 2									Estación 3								
	0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
OD (mg/l)	6,20	6,30	6,17	5,11	5,12	5,11	5,00	4,90	4,89	6,00	6,00	6,00	5,21	5,25	5,28	4,08	4,10	4,11	6,42	6,45	6,21	5,50	5,50	5,50	4,79	4,86	4,90
Tº (°c)	17,00	17,00	16,90	16,89	16,77	16,90	15,20	15,22	15,22	17,01	17,00	16,99	16,80	16,80	16,80	15,00	15,00	15,00	17,00	17,02	17,03	16,78	16,80	16,80	15,05	15,00	15,03
CE (µS/cm)	90,24	90,32	90,15	98,89	99,00	98,70	105,65	105,63	105,64	91,06	90,90	90,51	97,20	97,30	97,26	104,99	107,43	105,00	90,00	90,00	90,00	99,00	99,76	99,03	105,65	103,91	103,54
PH	7,59	7,59	7,59	7,53	7,51	7,53	7,40	7,42	7,41	7,60	7,59	7,60	7,52	7,54	7,53	7,40	7,40	7,40	7,58	7,59	7,59	7,54	7,53	7,53	7,39	7,41	7,40
DUREZA (mg/L)	26,00	26,01	26,01	26,20	26,2	26,21	26,56	26,57	26,53	26,02	26,00	26,01	26,23	26,22	26,22	26,54	26,54	26,54	26,03	26,03	26,03	26,20	26,20	26,21	26,55	26,55	26,58
ALCALINIDAD (mg/L)	18,00	18,05	18,05	17,89	17,89	17,89	17,56	17,58	16,55	18,04	18,04	18,04	17,90	17,91	17,88	17,54	17,56	17,54	18,05	18,05	18,05	17,88	17,87	17,87	17,56	17,57	17,55
TURBIDEZ (m)	1,50	1,51	1,52	1,55	1,56	1,56	1,58	1,59	1,59	1,51	1,51	1,51	1,55	1,54	1,56	1,58	1,58	1,58	1,52	1,52	1,52	1,54	1,55	1,54	1,58	1,59	1,58
TRANSPARENCIA (m)	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	3,92	3,92	3,92	3,91	3,91	3,91	3,92	3,92	3,92	3,90	3,90	3,90	3,92	3,92	3,92	3,90	3,90	3,90

FECHA	Mes de abril de 2019																										
Epoca de Lluvias	ALTAS																										
Ubicación	Zona B1 - Punto Control Vereda Santa Teresita																										
	Estación 1									Estación 2									Estación 3								
	0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
OD (mg/l)	7,12	7,11	7,15	6,66	6,65	6,66	5,43	5,43	5,42	7,22	7,23	7,25	6,50	6,49	6,49	5,05	5,07	5,09	7,15	7,12	7,13	6,38	6,38	6,35	5,60	5,63	5,59
Tº (°c)	16,95	16,95	16,95	16,10	16,11	16,15	15,00	15,10	15,10	16,94	16,95	16,94	16,10	16,10	16,10	14,95	14,96	14,95	16,90	16,90	16,95	15,98	15,95	16,00	14,99	15,00	14,99
CE (µS/cm)	77,35	77,08	77,28	80,01	80,20	79,99	88,00	87,90	87,90	77,10	77,12	77,11	81,24	81,20	80,88	88,02	87,14	88,00	77,21	77,18	77,30	80,00	81,00	79,98	89,00	88,71	88,90
PH	7,85	7,84	7,84	7,65	7,65	7,65	7,44	7,46	7,46	7,83	7,84	7,83	7,7,65	7,64	7,64	7,45	7,44	7,45	7,84	7,84	7,84	7,65	7,64	7,64	7,45	7,45	7,46
DUREZA (mg/L)	25,00	25,00	25,10	25,40	25,40	25,41	25,96	26,00	25,83	25,11	25,05	25,08	25,41	25,41	25,40	26,00	26,00	26,00	25,10	25,07	25,07	25,42	25,40	25,41	25,90	25,99	25,97
ALCALINIDAD (mg/L)	18,60	18,63	18,65	18,33	18,33	18,33	18,08	18,05	18,05	18,66	18,66	18,65	18,34	18,33	18,32	18,07	18,08	18,09	18,64	18,64	18,64	18,33	18,34	18,31	18,06	18,06	18,06
TURBIDEZ (m)	1,40	1,40	1,40	1,44	1,45	1,46	1,49	1,50	1,51	1,42	1,40	1,40	1,46	1,45	1,44	1,49	1,49	1,49	1,41	1,41	1,40	1,46	1,44	1,45	1,50	1,49	1,51
TRANSPARENCIA (m)	4,50	4,50	4,50	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60	4,55	4,55	4,55	4,60	4,60	4,60	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60

## Continuación anexo A.

FECHA	Mes de mayo de 2019																										
Epoca de Lluvias	BAJAS																										
Ubicación	Zona C - Vereda Naranjal																										
	Estación 1									Estación 2									Estación 3								
	0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
OD (mg/l)	7,35	7,30	7,47	7,00	7,00	7,00	6,00	5,99	5,99	7,40	7,42	7,41	7,18	7,16	7,20	5,98	5,97	5,97	7,37	7,40	7,34	7,03	7,08	7,10	6,00	5,98	6,00
Tº (°c)	16,88	16,87	16,89	15,92	15,90	14,96	15,00	15,10	15,10	16,85	16,86	16,85	15,80	15,80	15,80	15,05	15,00	15,00	16,87	16,88	16,88	16,00	15,95	15,93	14,98	14,99	15,00
CE (µS/cm)	90,00	90,02	89,87	94,76	94,80	95,00	100,91	100,00	101,01	89,05	89,07	89,27	95,00	95,00	95,00	101,99	102,03	101,90	90,89	91,04	90,06	94,80	95,00	94,56	100,00	100,99	101,00
PH	7,70	7,70	7,71	7,60	7,61	7,61	7,49	7,50	7,49	7,72	7,71	7,70	7,62	7,62	7,61	7,48	7,50	7,49	7,71	7,70	7,70	7,60	7,61	7,61	7,49	7,50	7,50
DUREZA (mg/L)	25,50	25,51	25,50	25,70	25,7	25,71	26,00	25,90	25,95	25,49	25,52	25,52	25,70	25,70	25,70	26,00	26,00	25,99	25,48	25,49	25,49	25,72	25,72	25,70	25,98	26,00	25,99
ALCALINIDAD (mg/L)	18,49	18,50	18,49	18,33	18,30	18,30	18,00	18,00	18,02	18,50	18,51	18,50	18,29	18,28	18,30	18,02	18,03	18,02	18,51	18,51	18,51	18,31	18,29	18,30	18,00	18,03	18,03
TURBIDEZ (UNT)	1,42	1,43	1,42	1,46	1,47	1,48	1,52	1,53	1,53	1,42	1,43	1,43	1,47	1,47	1,48	1,54	1,53	1,55	1,42	1,42	1,43	1,46	1,47	1,47	1,55	1,55	1,55
TRANSPARENCIA (m)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,00	4,00	4,00	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

FECHA	Mes de mayo de 2019																										
Epoca de Lluvias	BAJAS																										
Ubicación	Zona C1 - Punto Control Vereda Naranjal																										
	Estación 1									Estación 2									Estación 3								
	0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
OD (mg/l)	8,26	8,25	8,25	7,64	7,66	7,65	6,51	6,60	6,60	8,30	8,31	8,30	7,60	7,62	7,68	6,59	6,59	6,57	8,32	8,26	8,28	7,64	7,66	7,69	6,60	6,58	6,58
Tº (°c)	16,77	16,78	16,78	15,20	15,25	15,30	14,90	14,90	14,93	16,70	16,72	16,72	15,21	15,21	15,20	14,80	14,80	14,80	16,75	16,76	16,75	15,22	15,22	15,22	14,90	14,86	14,81
CE (µS/cm)	76,15	76,49	76,49	79,50	80,00	79,12	87,00	87,24	87,00	76,24	76,12	76,15	80,00	79,90	80,00	86,99	87,00	87,03	76,32	76,34	76,30	78,10	79,01	78,70	86,00	86,10	86,33
PH	7,90	7,89	7,90	7,70	7,70	7,70	7,52	7,53	7,52	7,91	7,91	7,91	7,72	7,70	7,72	7,51	7,54	7,53	7,94	7,92	7,91	7,70	7,70	7,72	7,54	7,55	7,53
DUREZA (mg/L)	24,00	24,00	24,00	24,56	24,6	24,60	25,30	25,33	25,34	23,90	23,92	23,92	24,55	24,55	24,56	25,32	25,31	25,31	23,98	23,97	23,97	24,49	24,53	24,55	25,35	25,36	25,30
ALCALINIDAD (mg/L)	18,80	18,81	18,81	18,50	18,49	18,50	18,27	18,27	18,27	18,81	18,81	18,81	18,49	18,49	18,48	18,25	18,25	18,25	18,80	18,81	18,80	18,31	18,29	18,30	18,26	18,25	18,27
TURBIDEZ (UNT)	1,33	1,33	1,33	1,39	1,40	1,40	1,46	1,45	1,46	1,32	1,34	1,34	1,41	1,39	1,39	1,47	1,45	1,45	1,34	1,32	1,33	1,39	1,41	1,41	1,46	1,46	1,46
TRANSPARENCIA (m)	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64	4,65	4,65	4,65	4,64	4,64	4,64

## Anexo B. Análisis Estadístico para Oxígeno Disuelto (mg/L).

<b>Pruebas de Normalidad OD</b>		
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	116,284	1,17973E-10
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,965948	0,000055814
Valor-Z para asimetría	0,771013	0,440697

<b>Tabla ANOVA para oxígeno disuelto por estación de muestreo</b>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,10303	2	0,0515151	0,04	0,9620
Intra grupos	427,303	321	1,33116		
Total (Corr.)	427,406	323			

<b>Verificación de Varianza para OD</b>		
	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,527414	0,59064

<b>Análisis de Varianza para OD - Suma de Cuadrados Tipo III</b>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Época	75,063	1	75,063	19824,26	0,0000
Zona (Época)	159,509	10	15,9509	4212,67	0,0000
Estación (Zona Época)	2,69633	24	0,112347	29,67	0,0000
Profundidad (Estación Zona Época)	189,32	72	2,62944	694,44	0,0000
Residuo	0,817867	216	0,00378642		
Total (corregido)	427,406	323			
Estadístico Durbin-Watson	2,3608 (P=0,9995)				

<b>Pruebas de Múltiple Rangos para OD por Época</b>				
<i>Época</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	162	6,25944	0,020474	×
0	162	7,2221	0,020474	×

<b>Pruebas de Múltiple Rangos para OD por zona época 1</b>					<b>Pruebas de Múltiple Rangos para OD por zona época 0</b>				
<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	54	5,15111	0,0416042	×	3	54	5,8763	0,035462	×
3	54	5,36889	0,0416042	×	1	54	5,87722	0,035462	×
4	54	6,3463	0,0416042	×	2	54	6,79426	0,035462	×
2	54	6,36889	0,0416042	×	4	54	6,91815	0,035462	×
5	54	6,81815	0,0416042	×	5	54	7,18593	0,035462	×
6	54	6,91543	0,0416042	×	6	54	7,79278	0,035462	×

<b>Pruebas de Múltiple Rangos para OD por profundidad bloques época</b>				
<i>Profundidad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
20	108	5,78472	0,0250754	×
10	108	6,8463	0,0250754	×
0	108	7,5913	0,0250754	×

## Anexo C. Análisis Estadístico para Temperatura (C°).

<b>Pruebas de Normalidad T*</b>		
Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	480,333	0,0
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,898413	0,0
Valor-Z para asimetría	2,04175	0,0411761

<b>Tabla ANOVA para temperatura por estación de muestreo</b>					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,111893	2	0,0559466	0,04	0,9597
Intra grupos	436,944	321	1,3612		
Total (Corr.)	437,055	323			

<b>Verificación de Varianza para T*</b>		
	Prueba	Valor-P
Levene's	0,0455846	0,955445

<b>Análisis de Varianza para Temperatura - Suma de Cuadrados Tipo III</b>					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Época	294,542	1	294,542	42969,77	0,0000
Zona (Época)	9,46398	10	0,946398	138,07	0,0000
Estación (Zona Época)	0,412281	24	0,0171784	2,51	0,0003
Profundidad (Estación Zona Época)	131,157	72	1,82162	265,75	0,0000
Residuo	1,4806	216	0,00685463		
Total (corregido)	437,055	323			
Estadístico Durbin-Watson	2,36644 (P=0,9995)				

<b>Pruebas de Múltiple Rangos para Temperatura por Época</b>				
Época	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	162	14,0207	0,0205393	x
1	162	15,9277	0,0205393	x

<b>Pruebas de Múltiple Rangos para T* por zona época 1</b>					<b>Pruebas de Múltiple Rangos para T* por zona época 0</b>				
Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos	Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
6	54	14,6856	0,0355752	x	6	54	13,3615	0,0799319	x
5	54	14,9357	0,0355752	x	5	54	13,9681	0,0395184	x
2	54	14,9369	0,0355752	x	4	54	13,9958	0,0542166	x
1	54	15,0176	0,0355752	xx	2	54	14,065	0,068673	x
4	54	15,0491	0,0355752	x	1	54	14,3345	0,075397	x
3	54	15,2204	0,0355752	x	3	54	14,4648	0,0632704	x

<b>Pruebas de Múltiple Rangos para Temperatura por profundidad</b>				
Profundidad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
20	108	14,2475	0,0251554	x
10	108	14,9831	0,0251554	x
0	108	15,6919	0,0251554	x

## Anexo D. Análisis Estadístico para Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ ).

<i>Pruebas de Normalidad CE</i>		
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	235,21	0,0
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,93742	0,0
Valor-Z para asimetría	2,21944	0,0264568

<i>Tabla ANOVA para CE por estación de muestreo</i>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,32405	2	0,162025	0,00	0,9993
Intra grupos	77891,2	321	242,652		
Total (Corr.)	77891,5	323			

<i>Verificación de Varianza para CE</i>		
	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,0174381	0,982714

<i>Análisis de Varianza para CE - Suma de Cuadrados Tipo III</i>						
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>	
Época	10266,1	1	10266,1	49088,47	0,0000	
Zona (Época)	56512,3	10	5651,23	27022,01	0,0000	
Estación (Zona Época)	19,3984	24	0,808266	3,86	0,0000	
Profundidad (Estación Zona Época)	11048,6	72	153,453	733,75	0,0000	
Residuo	45,173	216	0,209134			
Total (corregido)	77891,5	323				
Estadístico Durbin-Watson	2,49331 (P=1,0000)					

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para CE por Época</i>				
<i>Época</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	162	86,4326	0,202075	x
1	162	97,6906	0,202075	x

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para CE por zona época 1</i>					<i>Pruebas de Múltiple Rangos para CE por zona época 0</i>				
<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
6	54	75,512	0,350005	x	6	54	70,2233	0,528108	x
4	54	78,0007	0,350005	x	4	54	74,0459	0,528108	x
5	54	90,5802	0,350005	x	5	54	85,8633	0,528108	x
3	54	92,3565	0,350005	x	3	54	86,6848	0,528108	x
2	54	102,547	0,350005	x	2	54	94,9207	0,528108	x
1	54	113,373	0,350005	x	1	54	106,857	0,528108	x

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para CE por profundidad</i>				
<i>Profundidad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	108	85,8243	0,247491	x
10	108	91,331	0,247491	x
20	108	99,0294	0,247491	x

## Anexo E. Análisis Estadístico para potencial de Hidrógeno (pH)

<b>Pruebas de Normalidad pH</b>		
Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	317,778	0,0
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,892689	0,0
Valor-Z para asimetría	2,01901	0,043486

<b>Tabla ANOVA para pH por estación de muestreo</b>					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0172574	2	0,0086287	0,03	0,9698
Intra grupos	90,3668	321	0,281517		
Total (Corr.)	90,3841	323			

<b>Verificación de Varianza para pH</b>		
	Prueba	Valor-P
Levene's	0,119747	0,887185

<b>Análisis de Varianza para pH - Suma de Cuadrados Tipo III</b>					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Época	68,5768	1	68,5768	21134,67	0,0000
Zona (Época)	8,60678	10	0,860678	265,25	0,0000
Estación (Zona Época)	0,108437	24	0,00451821	1,39	0,1123
Profundidad (Estación Zona Época)	12,3912	72	0,1721	53,04	0,0000
Residuo	0,700867	216	0,00324475		
Total (corregido)	90,3841	323			
Estadístico Durbin-Watson	2,36651 (P=0,9995)				

<b>Pruebas de Múltiple Rangos para pH por Época</b>				
Época	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	162	6,66142	0,0103323	x
1	162	7,58154	0,0103323	x

<b>Pruebas de Múltiple Rangos para pH por zona época 1</b>					<b>Pruebas de Múltiple Rangos para pH por zona época 0</b>				
Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos	Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	54	6,89093	0,017896	x	1	54	6,3263	0,0265273	x
3	54	6,97815	0,017896	x	3	54	6,44852	0,0265273	x
5	54	7,13667	0,017896	x	5	54	6,67037	0,0265273	x
2	54	7,15667	0,017896	x	2	54	6,75111	0,0265273	x
4	54	7,23426	0,017896	x	4	54	6,82333	0,0265273	x
6	54	7,33222	0,017896	x	6	54	6,94889	0,0265273	x

<b>Pruebas de Múltiple Rangos para pH por profundidad</b>				
Profundidad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
20	108	6,90398	0,0126544	x
10	108	7,145	0,0126544	x
0	108	7,31546	0,0126544	x

## Anexo F. Análisis Estadístico para dureza (mg/caCO3).

<i>Pruebas de Normalidad dureza</i>		
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	378,062	0,0
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,955619	3,20611E-9
Valor-Z para asimetría	1,54423	0,122531

<i>Tabla ANOVA para dureza por estación de muestreo</i>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,0591006	2	0,0295503	0,02	0,9787
Intra grupos	440,288	321	1,37161		
Total (Corr.)	440,347	323			

<i>Verificación de Varianza para dureza</i>		
	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,0264947	0,973855

<i>Análisis de Varianza para dureza - Suma de Cuadrados Tipo III</i>						
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>	
Época	200,474	1	200,474	56589,67	0,0000	
Zona (Época)	198,972	10	19,8972	5616,56	0,0000	
Estación (Zona Época)	0,293474	24	0,0122281	3,45	0,0000	
Profundidad (Estación Zona Época)	39,8426	72	0,55337	156,20	0,0000	
Residuo	0,7652	216	0,00354259			
Total (corregido)	440,347	323				
Estadístico Durbin-Watson						3,2944 (P=1,0000)

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para dureza por Época</i>				
<i>Época</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	162	24,402	0,0156178	×
1	162	25,9752	0,0156178	×

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Dureza por zona época 1</i>					<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Dureza por zona época 0</i>				
<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
6	54	23,995	0,0270509	×	6	54	23,3763	0,0307869	×
4	54	24,6748	0,0270509	×	4	54	23,8722	0,0307869	×
5	54	25,0726	0,0270509	×	5	54	24,4163	0,0307869	×
2	54	25,3928	0,0270509	×	2	54	24,5315	0,0307869	×
3	54	25,4824	0,0270509	×	3	54	24,7052	0,0307869	×
1	54	26,5139	0,0270509	×	1	54	25,5104	0,0307869	×

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para dureza por profundidad</i>				
<i>Profundidad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	108	24,8042	0,0191279	×
10	108	25,1674	0,0191279	×
20	108	25,5942	0,0191279	×

## Anexo G. Análisis Estadístico para alcalinidad (mg/caCO<sub>3</sub>).

<b>Pruebas de Normalidad alcalinidad</b>		
Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	242,716	0,0
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,950706	1,16269E-11
Valor-Z para asimetría	2,22811	0,025873

<b>Tabla ANOVA para alcalinidad por estación de muestreo</b>					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,00205247	2	0,00102623	0,00	0,9980
Intra grupos	160,772	321	0,500846		
Total (Corr.)	160,774	323			

<b>Verificación de Varianza para alcalinidad</b>		
	Prueba	Valor-P
Levene's	0,0459227	0,955122

<b>Análisis de Varianza para alcalinidad - Suma de Cuadrados Tipo III</b>					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Época	80,6204	1	80,6204	12675,19	0,0000
Zona (Época)	60,4625	10	6,04625	950,59	0,0000
Estación (Zona Época)	0,153452	24	0,00639383	1,01	0,4608
Profundidad (Estación Zona Época)	18,1633	72	0,252268	39,66	0,0000
Residuo	1,37387	216	0,00636049		
Total (corregido)	160,774	323			
Estadístico Durbin-Watson	2,34778 (P=0,9992)				

<b>Pruebas de Múltiple Rangos para alcalinidad por Época</b>				
Época	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	162	17,0423	0,0125969	x
1	162	18,04	0,0125969	x

<b>Pruebas de Múltiple Rangos para alcalinidad por zona época I</b>					<b>Pruebas de Múltiple Rangos para alcalinidad por zona época 0</b>				
Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos	Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	54	16,8552	0,0218184	x	1	54	16,1581	0,020013	x
3	54	17,2093	0,0218184	x	3	54	16,6274	0,020013	x
2	54	17,4735	0,0218184	x	2	54	17,167	0,020013	x
5	54	17,762	0,0218184	x	5	54	17,2511	0,020013	x
4	54	17,8693	0,0218184	x	4	54	17,393	0,020013	x
6	54	18,0778	0,0218184	x	6	54	17,6574	0,020013	x

<b>Pruebas de Múltiple Rangos para alcalinidad por profundidad</b>				
Profundidad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
20	108	17,273	0,015428	x
10	108	17,5255	0,015428	x
0	108	17,8251	0,015428	x



## Anexo H. Análisis Estadístico para turbidez (UNT).

<i>Pruebas de Normalidad turbidez</i>		
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	174,691	0,0
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,943432	9,99201E-16
Valor-Z para asimetría	0,793466	0,427504

<i>Tabla ANOVA para turbidez por estación de muestreo</i>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,0000561728	2	0,0000280864	0,00	0,9992
Intra grupos	10,7003	321	0,0333341		
Total (Corr.)	10,7003	323			

<i>Verificación de Varianza para turbidez</i>		
	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,0111522	0,98891

<i>Análisis de Varianza para turbidez - Suma de Cuadrados Tipo III</i>						
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>	
Época	6,74268	1	6,74268	144677,32	0,0000	
Zona (Época)	3,10226	10	0,310226	6656,50	0,0000	
Estación (Zona Época)	0,00308148	24	0,000128395	2,75	0,0001	
Profundidad (Estación Zona Época)	0,842222	72	0,0116975	250,99	0,0000	
Residuo	0,0100667	216	0,0000466049			
Total (corregido)	10,7003	323				
Estadístico Durbin-Watson	2,64128 (P=1,0000)					

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para turbidez por Época</i>				
<i>Época</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	162	1,51698	0,00305304	x
0	162	1,80549	0,00305304	x

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para turbidez por zona época 1</i>					<i>Pruebas de Múltiple Rangos para turbidez por zona época 0</i>				
<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
6	54	1,39593	0,0044233	x	6	54	1,53463	0,00528801	x
4	54	1,45037	0,0044233	x	5	54	1,61481	0,00528801	x
5	54	1,47778	0,0044233	x	2	54	1,62741	0,00528801	xx
2	54	1,54259	0,0044233	x	4	54	1,64537	0,00528801	x
3	54	1,54889	0,0044233	x	3	54	1,7163	0,00528801	x
1	54	1,6863	0,0044233	x	1	54	1,82889	0,00528801	x

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para turbidez por profundidad</i>				
<i>Profundidad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	108	1,60417	0,00373919	x
10	108	1,65796	0,00373919	x
20	108	1,72157	0,00373919	x

## Anexo I. Análisis Estadístico para Transparencia (Metros).

<b>Pruebas de Normalidad transparencia</b>		
Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	479,16	0,0
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,913854	0,0
Valor-Z para asimetría	0,332674	0,739376

<b>Tabla ANOVA para transparencia por estación de muestreo</b>					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,03815	2	0,019075	0,15	0,8645
Intra grupos	42,0212	321	0,130907		
Total (Corr.)	42,0593	323			

<b>Verificación de Varianza para transparencia</b>		
	Prueba	Valor-P
Levene's	0,156473	0,85522

<b>Análisis de Varianza para transparencia - Suma de Cuadrados Tipo III</b>					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Época	9,0601	1	9,0601	3261635,97	0,0000
Zona (Época)	32,611	10	3,2611	1173995,99	0,0000
Estación (Zona Época)	0,137	24	0,00570833	2055,00	0,0000
Profundidad (Estación Zona Época)	0,2506	72	0,00348056	1253,00	0,0000
Residuo	0,0006	216	0,0000027778		
Total (corregido)	42,0593	323			
Estadístico Durbin-Watson	2,33333 (P=0,9987)				

<b>Pruebas de Múltiple Rangos para transparencia por Época</b>				
Época	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	162	3,90889	0,00296522	x
1	162	4,24333	0,00296522	x

<b>Pruebas de Múltiple Rangos para transparencia por zona época 1</b>					<b>Pruebas de Múltiple Rangos para transparencia por zona época 0</b>				
Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos	Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	54	3,67056	0,00513591	x	1	54	3,50778	0,00423487	x
3	54	3,76167	0,00513591	x	3	54	3,61556	0,00423487	x
5	54	3,895	0,00513591	x	5	54	3,72333	0,00423487	x
2	54	4,23333	0,00513591	x	2	54	4,03333	0,00423487	x
4	54	4,40056	0,00513591	x	4	54	4,22889	0,00423487	x
6	54	4,49556	0,00513591	x	6	54	4,34444	0,00423487	x

<b>Pruebas de Múltiple Rangos para transparencia por profundidad</b>				
Puntos de medición	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	108	4,07194	0,00363164	x
2	108	4,07639	0,00363164	x
3	108	4,08	0,00363164	x

**Anexo j.** Medición de parámetros fisicoquímicos medidos en los sedimentos de las áreas y puntos de muestreo.

Fecha	Mes de septiembre 2018								
Epoca de Lluvias	ALTAS								
Ubicación	Zona A - Vereda Motilón								
Medición	Estación 1			Estación 2			Estación 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia Orgánica (%)	19,36	19,25	19,13	19,21	19,38	19,3	19,51	19,49	19,39
Fósforo Total	0,790	0,792	0,794	0,798	0,796	0,799	0,790	0,790	0,791
Nitrógeno Total	11,040	11,046	11,041	11,052	11,056	11,059	11,039	11,039	11,040
pH	6,60	6,61	6,61	6,63	6,63	6,63	6,64	6,62	6,61

Fecha	Mes de septiembre 2018								
Epoca de Lluvias	ALTAS								
Ubicación	Zona A1 - Punto Control Vereda Motilón								
Medición	Estación 1			Estación 2			Estación 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia Orgánica (%)	15,06	15,02	15,00	15,10	15,13	15,11	15,21	15,25	15,20
Fósforo Total	0,191	0,191	0,193	0,195	0,190	0,190	0,192	0,194	0,194
Nitrógeno Total	6,750	6,754	6,755	6,758	6,756	6,750	6,750	6,754	6,757
pH	7,10	7,12	7,11	7,13	7,10	7,10	7,13	7,12	7,11

Fecha	Mes de Septiembre 2018								
Epoca de Lluvias	ALTAS								
Ubicación	Zona B - Vereda Santa Teresita								
Medición	Estación 1			Estación 2			Estación 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia Orgánica (%)	16,23	16,30	16,31	16,54	16,41	16,50	16,48	16,33	16,39
Fósforo Total	0,710	0,715	0,719	0,720	0,718	0,718	0,708	0,710	0,707
Nitrógeno Total	10,695	10,697	10,699	10,700	10,702	10,705	10,710	10,699	10,698
pH	6,82	6,83	6,84	6,83	6,85	6,85	6,83	6,84	6,84

## Continuación anexo J.

Fecha	Mes de Septiembre 2018								
Epoca de Lluvias	ALTAS								
Ubicación	Zona B1 - Punto Control Vereda Santa Teresita								
Medición	Estación 1			Estación 2			Estación 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia Orgánica (%)	11,90	11,92	11,89	12,00	12	12,03	11,99	12,02	12,01
Fósforo Total	0,180	0,181	0,181	0,180	0,182	0,183	0,181	0,183	0,182
Nitrógeno Total	6,389	6,390	6,392	6,395	6,399	6,397	6,396	6,695	6,699
pH	7,33	7,35	7,33	7,32	7,34	7,35	7,33	7,32	7,34

Fecha	Mes de octubre de 2018								
Epoca de Lluvias	ALTAS								
Ubicación	Zona C - Vereda Naranjal								
Medición	Estación 1			Estación 2			Estación 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia Orgánica (%)	14,10	14,12	14,11	14,20	14,22	14,20	14,10	14,22	14,16
Fósforo Total	0,670	0,675	0,674	0,671	0,673	0,67	0,675	0,675	0,671
Nitrógeno Total	10,203	10,210	10,212	10,200	10,209	10,211	10,205	10,200	10,200
pH	6,90	6,91	6,9	6,89	6,9	6,9	6,91	6,91	6,91

Fecha	Mes de octubre de 2018								
Epoca de Lluvias	ALTAS								
Ubicación	Zona C1 - Punto Control Vereda Naranjal								
Medición	Estación 1			Estación 2			Estación 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia Orgánica (%)	10,30	10,00	9,95	9,99	10,05	10,00	10,25	10,23	10,20
Fósforo Total	0,169	0,170	0,173	0,171	0,172	0,172	0,170	0,169	0,168
Nitrógeno Total	6,050	6,000	6,100	6,099	6,100	6,098	6,048	6,050	6,046
pH	7,42	7,45	7,42	7,43	7,43	7,43	7,44	7,45	7,44

## Continuación anexo J.

Fecha	Mes de abril de 2019								
Epoca de Lluvias	BAJAS								
Ubicación	Zona A - Vereda Motilón								
Medición	Estación 1			Estación 2			Estación 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia Orgánica (%)	30,19	30,11	31,20	31,70	32,65	31,69	33,31	33,37	33,36
Fósforo Total	1,111	1,111	1,110	1,105	1,107	1,107	1,098	1,099	1,100
Nitrógeno Total	12,590	12,592	12,590	12,594	12,596	12,595	12,591	12,594	12,597
pH	6,00	6,00	6,00	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10

Fecha	Mes de abril de 2019								
Epoca de Lluvias	BAJAS								
Ubicación	Zona A1 - Punto Control Vereda Motilón								
Medición	Estación 1			Estación 2			Estación 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia Orgánica (%)	20,15	20,12	20,10	20,12	20,16	20,05	20,11	20,14	20,15
Fósforo Total	0,324	0,328	0,300	0,319	0,320	0,320	0,325	0,327	0,329
Nitrógeno Total	8,456	8,452	8,449	8,512	8,513	8,513	8,439	8,438	8,440
pH	6,85	6,87	6,87	6,88	6,88	6,90	6,86	6,88	6,87

Fecha	Mes de abril 2019								
Epoca de Lluvias	BAJAS								
Ubicación	Zona B - Vereda Santa Teresita								
Medición	Estación 1			Estación 2			Estación 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia Orgánica (%)	27,60	27,57	27,55	27,34	27,9	21,84	27,10	27,15	27,17
Fósforo Total (gP/Kg)	0,950	0,943	0,945	0,951	0,953	0,947	0,954	0,950	0,948
Nitrógeno Total (gN/Kg)	12,112	12,114	12,115	12,120	12,123	12,122	12,127	12,130	12,128
pH	6,21	6,23	6,22	6,20	6,21	6,22	6,24	6,25	6,23

## Continuación anexo J.

Fecha	Mes abril 2019								
Epoca de Lluvias	BAJAS								
Ubicación	Zona B1 - Punto Control Vereda Santa Teresita								
Medición	Estación 1			Estación 2			Estación 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia Orgánica (%)	17,86	17,55	17,29	17,46	17,50	17,52	17,74	17,54	17,62
Fósforo Total	0,267	0,265	0,265	0,270	0,263	0,268	0,270	0,269	0,264
Nitrógeno Total	8,123	8,120	8,120	8,121	8,125	8,120	8,126	8,124	8,120
pH	7,13	7,13	7,13	7,15	7,15	7,15	7,15	7,17	7,16

Fecha	Mes de Mayo 2019								
Epoca de Lluvias	BAJAS								
Ubicación	Zona C - Vereda Naranjal								
Medición	Estación 1			Estación 2			Estación 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia Orgánica (%)	23,90	23,92	23,95	23,42	23,48	23,51	23,10	23,15	23,20
Fósforo Total	0,839	0,840	0,843	0,838	0,838	0,836	0,837	0,841	0,844
Nitrógeno Total	11,890	11,895	11,876	11,854	11,834	11,880	11,877	11,875	11,860
pH	6,35	6,40	6,38	6,39	6,37	6,37	6,36	6,39	6,37

Fecha	Mes de Mayo 2019								
Epoca de Lluvias	BAJAS								
Ubicación	Zona C1 - Punto Control Vereda Naranjal								
Medición	Estación 1			Estación 2			Estación 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia Orgánica (%)	15,10	15,05	15,12	15,23	15,21	15,25	15,00	15,07	15,00
Fósforo Total	0,201	0,200	0,210	0,205	0,212	0,210	0,215	0,213	0,214
Nitrógeno Total	7,940	7,945	7,950	7,963	7,933	7,948	7,928	7,930	7,932
pH	7,29	7,30	7,31	7,3	7,3	7,3	7,31	7,3	7,3

## Anexo K. Análisis Estadístico para Materia Orgánica (%) en sedimentos

<i>Pruebas de Normalidad Materia Orgánica</i>		
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	107,278	3,36842E-13
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,901448	1,47981E-9
Valor-Z para asimetría	2,33815	0,0193796

<i>Tabla ANOVA para Materia Orgánica por estación de muestreo</i>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1,15774	2	0,578868	0,02	0,9849
Intra grupos	3988,67	105	37,9873		
Total (Corr.)	3989,83	107			

<i>Verificación de Varianza para Materia Orgánica</i>		
	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,0277272	0,972661

<i>Análisis de Varianza para Materia Orgánica - Suma de Cuadrados Tipo III</i>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Época	1727,12	1	1727,12	5148,55	0,0000
Zona (Época)	2219,26	10	221,926	661,56	0,0000
Estación (Zona Época)	19,2927	24	0,803861	2,40	0,0024
Residuo	24,1529	72	0,335457		
Total (corregido)	3989,83	107			
Estadístico Durbin-Watson	2,45687 (P=0,9916)				

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Materia Orgánica por Época</i>				
<i>Época</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	54	14,5139	0,228702	x
1	54	22,5119	0,228702	x

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para MO por zona época I</i>					<i>Pruebas de Múltiple Rangos para MO por zona época 0</i>				
<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
6	18	12,6111	0,396123	x	6	18	10,1078	0,0265892	x
4	18	14,7689	0,396123	x	4	18	11,9733	0,0265892	x
2	18	17,6211	0,396123	x	5	18	14,1589	0,0265892	x
5	18	18,8367	0,396123	x	2	18	15,12	0,0265892	x
3	18	21,595	0,396123	x	3	18	16,3878	0,0265892	x
1	18	25,6444	0,396123	x	1	18	19,3356	0,0265892	x

## Anexo L. Análisis Estadístico para Fósforo Total (gP/kg) en sedimentos

<b>Pruebas de Normalidad Fósforo total</b>		
Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	248,481	0,0
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,82169	0,0
Valor-Z para asimetría	0,838604	0,40169

<b>Tabla ANOVA para Fósforo total por estación de muestreo</b>					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0000309074	2	0,0000154537	0,00	0,9999
Intra grupos	11,7598	105	0,111998		
Total (Corr.)	11,7599	107			

<b>Verificación de Varianza para Fósforo total</b>		
	Prueba	Valor-P
Levene's	0,00733773	0,99269

<b>Análisis de Varianza para Fósforo total - Suma de Cuadrados Tipo III</b>						
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	
Época	0,701156	1	0,701156	60003,81	0,0000	
Zona (Época)	11,057	10	1,1057	94624,07	0,0000	
Estación (Zona Época)	0,000870222	24	0,0000362593	3,10	0,0001	
Residuo	0,000841333	72	0,0000116852			
Total (corregido)	11,7599	107				
Estadístico Durbin-Watson	2,458 (P=0,9917)					

<b>Pruebas de Múltiple Rangos para Fósforo total por Época</b>				
Época	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	54	0,454	0,0065175	×
1	54	0,615148	0,0065175	×

<b>Pruebas de Múltiple Rangos para Fósforo Total por zona época 1</b>					<b>Pruebas de Múltiple Rangos para Fósforo Total por zona época 0</b>				
Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos	Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
6	18	0,189667	0,0112886	×	6	18	0,170444	0,000920066	×
4	18	0,224111	0,0112886	XX	4	18	0,181444	0,000920066	×
2	18	0,256778	0,0112886	×	2	18	0,192222	0,000920066	×
5	18	0,756111	0,0112886	×	5	18	0,672667	0,000920066	×
3	18	0,831444	0,0112886	×	3	18	0,713889	0,000920066	×
1	18	0,949333	0,0112886	×	1	18	0,793333	0,000920066	×



## Anexo M. Análisis Estadístico para Nitrógeno Total (gN/kg) en sedimentos

<i>Pruebas de Normalidad Nitrógeno total</i>		
Chi-Cuadrado	116,131	8,77076E-15
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,871847	2,02616E-13
Valor-Z para asimetría	0,160364	0,872589
Chi-Cuadrado	116,131	8,77076E-15

<i>Tabla ANOVA para Nitrógeno total por estación de muestreo</i>					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0327223	2	0,0163611	0,00	0,9969
Intra grupos	540,419	104	5,19634		
Total (Corr.)	540,452	106			

<i>Verificación de Varianza para Nitrógeno total</i>		
	Prueba	Valor-P
Levene's	0,000948368	0,999052

<i>Análisis de Varianza para Nitrógeno total - Suma de Cuadrados Tipo III</i>						
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	
Época	72,2656	1	72,2656	75643,06	0,0000	
Zona (Época)	463,988	10	46,3988	48567,35	0,0000	
Estación (Zona Época)	0,0988053	24	0,00411689	4,31	0,0000	
Residuo	0,0678298	71	0,00095535			
Total (corregido)	540,452	106				
Estadístico Durbin-Watson						

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Nitrógeno total por Época</i>				
Época	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	54	8,53878	0,0114678	×
1	53	10,1862	0,011583	×

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Nitrógeno Total por zona época 1</i>					<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Nitrógeno Total por zona época 0</i>				
Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos	Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
6	18	7,00333	0,0198627	×	6	18	6,06567	0,0187544	×
4	18	7,29172	0,0198627	×	4	18	6,46133	0,0187544	×
2	18	7,61095	0,0204558	×	2	18	6,75378	0,0187544	×
5	18	11,0384	0,0198627	×	5	18	10,2056	0,0187544	×
3	18	11,4109	0,0198627	×	3	18	10,7006	0,0187544	×
1	18	11,8195	0,0198627	×	1	18	11,0458	0,0187544	×

## Anexo N. Análisis Estadístico para potencial de hidrógeno pH en sedimentos

<b>Pruebas de Normalidad pH</b>		
Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	175,333	0,0
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,899573	8,31038E-10
Valor-Z para asimetría	1,33417	0,182148

<b>Tabla ANOVA para pH por estación de muestreo</b>					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,00580185	2	0,00290093	0,02	0,9849
Intra grupos	20,052	105	0,190971		
Total (Corr.)	20,0578	107			

<b>Verificación de Varianza para pH</b>		
	Prueba	Valor-P
Levene's	0,017282	0,982869

<b>Análisis de Varianza para pH - Suma de Cuadrados Tipo III</b>					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Época	3,81565	1	3,81565	36148,25	0,0000
Zona (Época)	16,2088	10	1,62088	15355,68	0,0000
Estación (Zona Época)	0,0257556	24	0,00107315	10,17	0,0000
Residuo	0,0076	72	0,000105556		
Total (corregido)	20,0578	107			
Estadístico Durbin-Watson	2,62719 (P=0,9996)				

<b>Pruebas de Múltiple Rangos para pH por Época</b>				
Época	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	54	6,66444	0,0139064	x
0	54	7,04037	0,0139064	x

<b>Pruebas de Múltiple Rangos para pH por zona época 1</b>					<b>Pruebas de Múltiple Rangos para pH por zona época 0</b>				
Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos	Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	18	6,06667	0,00703925	x	1	18	6,34333	0,0240866	x
3	18	6,22333	0,00703925	x	3	18	6,53	0,0240866	x
5	18	6,37556	0,00703925	x	5	18	6,63944	0,0240866	x
2	18	6,87333	0,00703925	x	2	18	6,99333	0,0240866	x
4	18	7,14667	0,00703925	x	4	18	7,24056	0,0240866	x
6	18	7,30111	0,00703925	x	6	18	7,36778	0,0240866	x

**Anexo Ñ.** Medición de nitrógeno total, fósforo total, DBO5, DQO, sólidos suspendidos y sólidos disueltos, medidos en el agua de las áreas y puntos de muestreo.

Fecha	Mes de septiembre de 2018																	
Epoca de Lluvias	ALTAS									ALTAS								
Ubicación	Zona A - Vereda Motilon									Zona A1 - Punto Control Vereda Motilon								
Medición	Estación 1			Estación 2			Estación 3			Estación 1			Estación 2			Estación 3		
	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M
Nitrogeno Total (mgN/L)	0,20	0,20	0,21	0,20	0,20	0,21	0,20	0,20	0,21	0,17	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18
Fósforo Total (mgP/L)	0,060	0,065	0,070	0,060	0,065	0,070	0,060	0,065	0,070	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	7,25	7,50	7,70	7,26	7,53	7,70	7,26	7,52	7,70	6,30	6,50	6,59	6,30	6,51	6,60	6,30	6,49	6,60
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	10,30	11,50	12,10	10,35	11,50	12,20	10,20	11,50	12,05	7,90	9,00	9,52	7,95	9,10	9,53	7,90	9,10	9,50
Solidos Suspendidos (mg/L)	30,00	50,16	82,13	31,03	49,69	82,5	31,2	51,02	83,01	12,21	23,44	28,10	12,00	24,07	28,15	12,13	23,98	28,18
Solidos Disueltos (mg/L)	50,10	50,50	50,80	50,11	50,52	50,83	50,15	50,54	50,85	41,10	45,10	50,00	41,13	45,10	50,10	41,11	45,15	50,20

Fecha	Mes de Septiembre 2018																	
Epoca de Lluvias	ALTAS									ALTAS								
Ubicación	Zona B - Vereda Santa Teresita									Zona B1 - Punto Control Vereda Santa Teresita								
Medición	Estación 1			Estación 2			Estación 3			Estación 1			Estación 2			Estación 3		
	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M
Nitrogeno Total (mgN/L)	0,18	0,19	0,20	0,18	0,19	0,20	0,18	0,19	0,20	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16
Fósforo Total (mgP/L)	0,050	0,055	0,060	0,050	0,058	0,061	0,052	0,055	0,061	0,041	0,042	0,042	0,040	0,042	0,042	0,041	0,042	0,042
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	6,58	7,15	7,47	7,00	7,17	7,48	7,00	7,17	7,47	5,55	6,00	6,31	5,55	6,00	6,36	5,55	6,00	6,34
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	9,90	10,10	10,42	9,99	10,12	10,40	9,95	10,11	10,41	7,00	7,60	8,00	7,00	7,60	8,00	7,00	7,60	8,00
Solidos Suspendidos (mg/L)	25,65	43,91	70,41	26,10	46,73	70,60	25,18	40,04	69,97	11,00	16,32	20,10	11,05	16,28	20,15	11,1	16,74	20,18
Solidos Disueltos (mg/L)	48,00	48,98	49,50	48,10	48,97	49,50	48,15	48,96	49,50	38,86	39,20	40,13	38,82	39,13	40,10	38,85	39,17	40,12

Fecha	Mes de Octubre 2018																	
Epoca de Lluvias	ALTAS									ALTAS								
Ubicación	Zona C - Vereda El Naranjal									Zona C1 - Punto Control Vereda El Naranjal								
Medición	Estación 1			Estación 2			Estación 3			Estación 1			Estación 2			Estación 3		
	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M
Nitrogeno Total (mgN/L)	0,17	0,17	0,18	0,16	0,17	0,17	0,16	0,17	0,18	0,14	0,15	0,16	0,14	0,15	0,16	0,14	0,15	0,16
Fósforo Total (mgP/L)	0,041	0,046	0,050	0,041	0,046	0,051	0,041	0,046	0,051	0,030	0,040	0,045	0,030	0,04	0,045	0,030	0,039	0,046
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	6,00	6,52	7,00	6,00	6,53	7,00	6,00	6,52	7,10	5,00	5,10	5,50	5,55	5,00	5,10	5,00	5,10	5,50
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	9,00	9,50	9,82	8,93	9,50	9,80	9,50	8,95	9,83	7,00	7,10	7,15	7,05	7,12	7,15	7,00	7,11	7,14
Solidos Suspendidos (mg/L)	20,12	37,45	62,39	20,12	37,68	62,54	20,2	37,96	63,01	8,70	10,96	14,65	8,75	16,28	14,7	8,76	10,88	14,80
Solidos Disueltos (mg/L)	46,78	47,05	47,36	46,78	47,10	47,42	46,79	47,12	47,39	30,81	34,25	38,32	31,00	34,20	38,31	31,00	34,22	38,32

## Continuación Anexo Ñ.

Fecha	Mes de Abril 2019																	
Epoca de Lluvias	BAJAS									BAJAS								
Ubicación	Zona A - Vereda Motilon									Zona A1 - Punto Control Vereda Motilon								
Medición	Estación 1			Estación 2			Estación 3			Estación 1			Estación 2			Estación 3		
	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M
Nitrogeno Total (mgN/L)	0,18	0,18	0,19	0,17	0,18	0,19	0,17	0,17	0,18	0,15	0,16	0,17	0,15	0,16	0,17	0,15	0,16	0,17
Fósforo Total (mgP/L)	0,030	0,035	0,040	0,030	0,036	0,040	0,031	0,036	0,040	0,025	0,031	0,035	0,025	0,031	0,035	0,024	0,031	0,034
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	10,20	10,26	10,40	10,20	10,26	10,41	10,20	10,26	10,41	8,10	8,15	8,30	8,11	8,15	8,31	8,11	8,15	8,30
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	14,00	14,51	15,00	14,10	14,51	15,00	14,00	14,50	15,00	11,00	11,30	11,35	11,00	11,20	11,30	11,00	11,30	11,33
Solidos Suspendidos (mg/L)	26,26	40,72	55,93	26,2	40,34	55,98	26,05	41,01	56,00	10,01	19,54	22,87	9,99	19,49	22,7	9,68	19,68	23,15
Solidos Disueltos (mg/L)	31,14	35,20	39,50	31,16	35,24	39,53	31,18	35,25	39,54	19,35	21,21	25,10	19,30	21,20	25,15	19,32	21,23	25,12

Fecha	Mes de Abril 2019																	
Epoca de Lluvias	BAJAS									BAJAS								
Ubicación	Zona B - Vereda Santa Teresita									Zona B1 - Punto Control Vereda Santa Teresita								
Medición	Estación 1			Estación 2			Estación 3			Estación 1			Estación 2			Estación 3		
	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M
Nitrogeno Total (mgN/L)	0,16	0,16	0,17	0,16	0,17	0,17	0,16	0,16	0,17	0,13	0,14	0,15	0,13	0,13	0,15	0,13	0,14	0,15
Fósforo Total (mgP/L)	0,023	0,030	0,030	0,022	0,029	0,031	0,021	0,029	0,031	0,015	0,022	0,025	0,015	0,022	0,026	0,016	0,022	0,026
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	9,55	10,00	10,20	9,55	10,00	10,10	9,55	10,00	10,10	7,55	7,60	7,60	7,54	7,60	7,60	7,54	7,60	7,62
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	13,40	13,90	14,05	13,43	13,87	14,03	13,44	13,88	14,02	9,40	9,88	10,05	9,30	9,89	10,05	9,30	9,90	10,05
Solidos Suspendidos (mg/L)	21,00	35,99	50,12	21,03	35,78	50,14	21,12	35,61	50,32	10,05	14,02	17,08	9,99	14,63	17,05	10	14,1	17,1
Solidos Disueltos (mg/L)	28,78	29,10	32,66	28,75	29,12	32,66	28,77	29,12	32,66	19,00	19,54	20,28	19,08	19,56	20,29	19,04	19,55	20,31

Fecha	Mes de Mayo 2019																	
Epoca de Lluvias	BAJAS									BAJAS								
Ubicación	Zona C - Vereda El Naranjal									Zona C1 - Punto Control Vereda El Naranjal								
Medición	Estación 1			Estación 2			Estación 3			Estación 1			Estación 2			Estación 3		
	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M
Nitrogeno Total (mgN/L)	0,15	0,16	0,16	0,14	0,14	0,16	0,14	0,15	0,16	0,12	0,13	0,14	0,12	0,13	0,14	0,12	0,13	0,14
Fósforo Total (mgP/L)	0,015	0,020	0,026	0,015	0,021	0,026	0,014	0,020	0,025	0,010	0,010	0,014	0,010	0,010	0,016	0,010	0,011	0,015
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	9,00	9,00	9,20	9,00	9,10	9,20	9,00	9,10	9,20	7,10	7,20	7,30	7,12	7,22	7,31	7,11	7,21	7,31
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	12,55	13,00	13,30	12,50	13,00	13,20	12,50	13,00	13,20	8,23	8,60	9,00	8,24	8,54	9,10	8,65	9,90	9,10
Solidos Suspendidos (mg/L)	18,79	30,25	46,1	18,1	30,21	46,1	18,56	30,21	45,87	7,98	9,28	11,34	8,00	9,61	11,6	8,01	9,59	11,56
Solidos Disueltos (mg/L)	24,11	25,91	27,90	24,10	25,90	27,87	24,13	25,90	27,85	17,50	17,99	18,86	17,54	18,00	18,80	17,60	18,03	18,81

## Anexo O. Análisis Estadístico para Nitrógeno Total (mg/L).

<i>Pruebas de Normalidad Nitrógeno total</i>		
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	278,111	0,0
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,950165	0,00159803
Valor-Z para asimetría	0,195928	0,844662

<i>Tabla ANOVA para Nitrógeno total por estación de muestreo</i>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,00380185	2	0,00190093	4,51	0,0132
Intra grupos	0,044275	105	0,000421667		
Total (Corr.)	0,0480769	107			

<i>Verificación de Varianza para Nitrógeno total</i>		
	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,407672	0,666245

<i>Análisis de Varianza para Nitrógeno total - Suma de Cuadrados Tipo III</i>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Época	0,0122454	1	0,0122454	826,56	0,0000
Zona (Época)	0,0303204	10	0,00303204	204,66	0,0000
Profundidad (Zona Época)	0,00444444	24	0,000185185	12,50	0,0000
Residuo	0,00106667	72	0,0000148148		
Total (corregido)	0,0480769	107			
Estadístico Durbin-Watson	1,45833 (P=0,0022)				

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Nitrógeno total por Época</i>				
<i>Época</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	54	0,153889	0,000646744	×
0	54	0,175185	0,000646744	×

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para nitrógeno total por zona época 1</i>					<i>Pruebas de Múltiple Rangos para nitrógeno total por zona época 0</i>				
<i>zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
6	18	0,13	0,00135093	×	6	18	0,14	0,00112019	×
4	18	0,138889	0,00135093	×	4	18	0,151667	0,00112019	×
5	18	0,151111	0,00135093	×	5	18	0,160556	0,00112019	×
2	18	0,16	0,00135093	×	2	18	0,166667	0,00112019	×
3	18	0,164444	0,00135093	×	3	18	0,177222	0,00112019	×
1	18	0,178889	0,00135093	×	1	18	0,191111	0,00112019	×

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Nitrógeno total por profundidad</i>				
<i>Profundidad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	36	0,157778	0,000792096	×
10	36	0,163611	0,000792096	×
20	36	0,172222	0,000792096	×

## Anexo P. Análisis Estadístico para Fósforo Total (mg/L).

<i>Pruebas de Normalidad Fósforo total</i>		
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	107,741	2,78777E-13
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,950571	0,00176797
Valor-Z para asimetría	0,827977	0,407681

<i>Tabla ANOVA para Fósforo total por estación de muestreo</i>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,0012845	2	0,00064225	2,89	0,0601
Intra grupos	0,0233404	105	0,00022229		
Total (Corr.)	0,0246249	107			

<i>Verificación de Varianza para Fósforo total</i>		
	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,064453	0,937617

<i>Análisis de Varianza para Fósforo total - Suma de Cuadrados Tipo III</i>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Época	0,0148638	1	0,0148638	44591,36	0,0000
Zona (Época)	0,00811446	10	0,000811446	2434,34	0,0000
Profundidad (Zona Época)	0,00162267	24	0,0000676111	202,83	0,0000
Residuo	0,000024	72	3,33333E-7		
Total (corregido)	0,0246249	107			
Estadístico Durbin-Watson	2,02778 (P=0,5570)				

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Fósforo total por Época</i>				
<i>Época</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	54	0,0242963	0,000543489	×
0	54	0,0477593	0,000543489	×

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para fósforo total por zona época 1</i>					<i>Pruebas de Múltiple Rangos para fósforo total por zona época 0</i>				
<i>zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
6	18	0,0117778	0,000430228	×	6	18	0,0250556	0,00094135	×
5	18	0,0202222	0,000430228	×	4	18	0,0312778	0,00094135	×
4	18	0,021	0,000430228	×	5	18	0,0330556	0,00094135	×
3	18	0,0273333	0,000430228	×	2	18	0,0350556	0,00094135	×
2	18	0,0301111	0,000430228	×	3	18	0,0415556	0,00094135	×
1	18	0,0353333	0,000430228	×	1	18	0,0501667	0,00094135	×

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Fósforo total por profundidad</i>				
<i>Profundidad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	36	0,0316111	0,000665635	×
10	36	0,0364444	0,000665635	×
20	36	0,0400278	0,000665635	×

## Anexo Q. Análisis Estadístico para DB0<sub>5</sub> (mgO<sub>2</sub>/L).

<i>Pruebas de Normalidad DB0<sub>5</sub></i>		
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	49,8704	0,000610584
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,926032	0,00000229469
Valor-Z para asimetría	1,07447	0,282609

<i>Tabla ANOVA para DB0<sub>5</sub> por estación de muestreo</i>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2,88401	2	1,442	0,63	0,5321
Intra grupos	238,578	105	2,27217		
Total (Corr.)	241,462	107			

<i>Verificación de Varianza para DB0<sub>5</sub></i>		
	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,1392	0,870214

<i>Análisis de Varianza para DB0<sub>5</sub> - Suma de Cuadrados Tipo III</i>						
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>	
Época	135,52	1	135,52	21394,77	0,0000	
Zona (Época)	100,993	10	10,0993	1594,39	0,0000	
Estación (Zona Época)	4,49302	24	0,187209	29,56	0,0000	
Residuo	0,456067	72	0,00633426			
Total (corregido)	241,462	107				
Estadístico Durbin-Watson	1,64627 (P=0,0329)					

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para DB0<sub>5</sub> por Época</i>				
<i>Época</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	54	6,46815	0,0392074	×
1	54	8,70852	0,0392074	×

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para DB0<sub>5</sub> por zona época 1</i>					<i>Pruebas de Múltiple Rangos para DB0<sub>5</sub> por zona época 0</i>				
<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
6	18	6,20722	0,0679092	×	6	18	5,20556	0,0559689	×
4	18	6,77278	0,0679092	×	4	18	5,96222	0,0559689	×
2	18	7,32611	0,0679092	×	2	18	6,46556	0,0559689	×
5	18	7,80389	0,0679092	×	5	18	6,51889	0,0559689	×
3	18	8,53	0,0679092	×	3	18	7,16556	0,0559689	×
1	18	8,89	0,0679092	×	1	18	7,49111	0,0559689	×

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para DB0<sub>5</sub> por profundidad</i>				
<i>Profundidad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	36	7,38833	0,048019	×
10	36	7,58806	0,048019	×
20	36	7,78861	0,048019	×

## Anexo R. Análisis Estadístico para DQO (mgO<sub>2</sub>/L).

<i>Pruebas de Normalidad DQO</i>		
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	56,8148	0,0000652847
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,923013	9,56829E-7
Valor-Z para asimetría	1,00967	0,312652

<i>Tabla ANOVA para DQO por estación de muestreo</i>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	12,1662	2	6,08312	1,14	0,3243
Intra grupos	561,08	105	5,34362		
Total (Corr.)	573,246	107			

<i>Verificación de Varianza para DQO</i>		
	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,00202887	0,997973

<i>Análisis de Varianza para DQO - Suma de Cuadrados Tipo III</i>						
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>	
Época	207,778	1	207,778	8460,60	0,0000	
Zona (Época)	347,048	10	34,7048	1413,16	0,0000	
Profundidad (Zona Época)	16,6518	24	0,693825	28,25	0,0000	
Residuo	1,7682	72	0,0245583			
Total (corregido)	573,246	107				
Estadístico Durbin-Watson	1,75172 (P=0,0992)					

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para DQO por Época</i>				
<i>Época</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	54	9,05648	0,0607674	x
1	54	11,8306	0,0607674	x

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para DQO por zona época 1</i>					<i>Pruebas de Múltiple Rangos para DQO por zona época 0</i>				
<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
6	18	7,09111	0,0998818	x	6	18	7,95444	0,105252	x
4	18	7,53333	0,0998818	x	4	18	8,64556	0,105252	x
2	18	8,83333	0,0998818	x	2	18	10,0156	0,105252	x
5	18	9,42556	0,0998818	x	5	18	11,1711	0,105252	x
3	18	10,1556	0,0998818	x	3	18	11,9678	0,105252	x
1	18	11,3	0,0998818	x	1	18	12,9067	0,105252	x

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para DQO por profundidad</i>				
<i>Profundidad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	36	9,99889	0,0744245	x
10	36	10,5219	0,0744245	x
20	36	10,8097	0,0744245	x



## Anexo S. Análisis Estadístico para Sólidos Suspendidos (mg/L).

<i>Pruebas de Normalidad sólidos suspendidos</i>		
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	79,963	1,64309E-8
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,858899	2,22045E-15
Valor-Z para asimetría	3,03143	0,00243413

<i>Tabla ANOVA para sólidos suspendidos por estación de muestreo</i>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	9820,28	2	4910,14	18,70	0,0000
Intra grupos	27563,5	105	262,509		
Total (Corr.)	37383,7	107			

<i>Verificación de Varianza para sólidos suspendidos</i>		
	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	37,3826	0,0

<i>Análisis de Varianza para sólidos suspendidos - Suma de Cuadrados Tipo III</i>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Época	1285,26	1	1285,26	1993,97	0,0000
Zona (Época)	21460,4	10	2146,04	3329,38	0,0000
Profundidad (Zona Época)	14591,7	24	607,986	943,23	0,0000
Residuo	46,4095	72	0,644576		
Total (corregido)	37383,7	107			
Estadístico Durbin-Watson	1,73521 (P=0,0850)				

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para sólidos suspendidos por Época</i>				
<i>Época</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	54	24,8498	0,99913	x
0	54	31,7493	0,99913	x

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para SS por zona época 1</i>					<i>Pruebas de Múltiple Rangos para SS por zona época 0</i>				
<i>zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
6	18	9,66333	1,62473	x	6	18	10,8583	1,73054	x
4	18	13,78	1,62473	xx	4	18	14,83	1,73054	xx
2	18	17,4567	1,62473	x	2	18	19,4094	1,73054	x
5	18	31,5767	1,62473	x	5	18	35,87	1,73054	x
3	18	35,6789	1,62473	xx	3	18	41,0944	1,73054	xx
1	18	40,9433	1,62473	x	1	18	47,735	1,73054	x

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para sólidos suspendidos por profundidad</i>				
<i>Profundidad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	36	16,8367	1,22368	x
10	36	27,8792	1,22368	x
20	36	40,1828	1,22368	x

## Anexo T. Análisis Estadístico para Sólidos Disueltos (mg/L).

Prueba	Valor	P-valor
Chi-Cuadrado	130,426	0,0
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,882295	3,77476E-12
Valor-Z para asimetría	0,153157	0,87827
Chi-Cuadrado	130,426	0,0

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	252,729	2	126,364	0,97	0,3830
Intra grupos	13700,9	105	130,485		
Total (Corr.)	13953,6	107			

Prueba	Valor-P
Levene's	0,0234951

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Época	9858,66	1	9858,66	7749163,45	0,0000
Zona (Época)	3672,83	10	367,283	288694,11	0,0000
Profundidad (Zona Época)	422,065	24	17,586	13823,09	0,0000
Residuo	0,0916	72	0,00127222		
Total (corregido)	13953,6	107			
Estadístico Durbin-Watson	2,03445 (P=0,5705)				

Época	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	54	25,1813	0,267512	x
0	54	44,2898	0,267512	x

<b>Pruebas de Múltiple Rangos para SD por zona época 1</b>					<b>Pruebas de Múltiple Rangos para SD por zona época 0</b>				
zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos	Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
6	18	18,1256	0,380782	x	6	18	26,3089	0,463345	x
4	18	19,6278	0,380782	x	4	18	29,5017	0,463345	x
2	18	21,8867	0,380782	x	2	18	33,665	0,463345	x
5	18	25,9633	0,380782	x	5	18	36,5256	0,463345	x
3	18	30,18	0,380782	x	3	18	39,5156	0,463345	x
1	18	35,3044	0,380782	x	1	18	42,8967	0,463345	x

Profundidad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	36	32,9858	0,327634	x
10	36	34,5086	0,327634	x
20	36	36,7122	0,327634	x

**Anexo U. Familias de Macroinvertebrados bentónicos recolectados por época de lluvias y zonas de muestreo en el Lago Guamuez.**

TAXA			Zona A - vereda Motilón - Lluvias Altas												
			Estación 1				Estación 2				Estación 3				Total (ind/sp)
clase	Orden	Familia	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	
Insecta	Diptera	Chironomidae	10	6	14	30	11	9	9	29	7	10	7	24	83
Insecta	Odonata	Libellulidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gastropoda	Sorbeoconcha	Thiaridae	0	3	2	5	2	0	4	6	0	0	4	4	15
Tubellaria	Seriata	Planariidae	5	3	1	9	3	3	7	13	3	1	6	10	32
Gastropoda	Mesogastropoda	Ampullariidae	3	0	7	10	10	5	3	18	5	7	1	13	41
Insecta	Trichoptera	hydrobiosidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arachnida	Hydracarina	hydrachnidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL INDIVIDUOS</b>			<b>18</b>	<b>12</b>	<b>24</b>		<b>26</b>	<b>17</b>	<b>23</b>		<b>15</b>	<b>18</b>	<b>18</b>		<b>171</b>
<b>TOTAL TAXAS</b>															<b>4</b>

TAXA			Zona A1 - Punto control vereda Motilón - Lluvias Altas												
			Estación 1				Estación 2				Estación 3				Total (ind/sp)
clase	Orden	Familia	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	
Insecta	Diptera	Chironomidae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	3	3
Insecta	Odonata	Libellulidae	0	3	0	3	2	0	0	2	4	6	10	20	25
Gastropoda	Sorbeoconcha	Thiaridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tubellaria	Seriata	Planariidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gastropoda	Mesogastropoda	Ampullariidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Insecta	Trichoptera	hydrobiosidae	2	3	1	6	0	2	4	6	0	0	0	0	12
Arachnida	Hydracarina	hydrachnidae	0	3	2	5	4	4	1	9	2	5	1	8	22
<b>TOTAL INDIVIDUOS</b>			<b>2</b>	<b>9</b>	<b>3</b>		<b>6</b>	<b>6</b>	<b>5</b>		<b>7</b>	<b>11</b>	<b>13</b>		<b>62</b>
<b>TOTAL TAXAS</b>															<b>4</b>

Taxa			Zona B - Vereda Santa Teresita - Lluvias Altas												
			Estación 1				Estación 2				Estación 3				Total (ind/sp)
clase	Orden	Familia	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	
Insecta	Diptera	Chironomidae	8	11	7	26	3	10	7	20	5	13	14	32	78
Insecta	Odonata	Libellulidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gastropoda	Sorbeoconcha	Thiaridae	0	5	0	5	0	0	0	0	5	0	0	5	10
Tubellaria	Seriata	Planariidae	3	0	2	5	4	5	3	12	3	4	2	9	26
Gastropoda	Mesogastropoda	Ampullariidae	4	6	1	11	0	7	7	14	2	6	4	12	37
Insecta	Trichoptera	hydrobiosidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arachnida	Hydracarina	hydrachnidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL INDIVIDUOS</b>			<b>15</b>	<b>22</b>	<b>10</b>		<b>7</b>	<b>22</b>	<b>17</b>		<b>15</b>	<b>23</b>	<b>20</b>		<b>151</b>
<b>TOTAL TAXAS</b>															<b>4</b>

## Continuación Anexo U.

Taxa			Zona B1 - Punto control Vereda Santa Teresita - Lluvias Altas												Total (ind/sp)
			Estación 1				Estación 2				Estación 3				
clase	Orden	Familia	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	
Insecta	Diptera	Chironomidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Insecta	Odonata	Libellulidae	0	4	0	4	0	4	3	7	3	3	3	9	20
Gastropoda	Sorbeoconcha	Thiaridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tubellaria	Seriata	Planariidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gastropoda	Mesogastropod	Ampullariidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Insecta	Trichoptera	hydrobiosidae	0	0	0	0	6	7	5	18	0	0	0	0	18
Arachnida	Hydracarina	hydrachnidae	5	3	7	15	4	6	4	14	0	0	0	0	29
<b>TOTAL INDIVIDUOS</b>			<b>5</b>	<b>7</b>	<b>7</b>		<b>10</b>	<b>17</b>	<b>12</b>		<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>		<b>67</b>
<b>TOTAL TAXAS</b>															<b>3</b>

Taxa			Zona C - Vereda El Naranjal - Lluvias Altas												Total (ind/sp)
			Estación 1				Estación 2				Estación 3				
clase	Orden	Familia	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	
Insecta	Diptera	Chironomidae	4	8	8	20	12	7	11	30	8	8	10	26	76
Insecta	Odonata	Libellulidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2
Gastropoda	Sorbeoconcha	Thiaridae	0	6	0	6	0	4	1	5	0	0	0	0	11
Tubellaria	Seriata	Planariidae	0	2	2	4	5	0	0	5	0	5	5	10	19
Gastropoda	Mesogastropod	Ampullariidae	4	3	1	8	3	2	6	11	4	4	2	10	29
Insecta	Trichoptera	hydrobiosidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arachnida	Hydracarina	hydrachnidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL INDIVIDUOS</b>			<b>8</b>	<b>19</b>	<b>11</b>		<b>20</b>	<b>13</b>	<b>18</b>		<b>12</b>	<b>17</b>	<b>19</b>		<b>137</b>
<b>TOTAL TAXAS</b>															<b>5</b>

Taxa			Zona C - Punto control Vereda El Naranjal - Lluvias Altas												Total (ind/sp)
			Estación 1				Estación 2				Estación 3				
clase	Orden	Familia	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	
Insecta	Diptera	Chironomidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Insecta	Odonata	Libellulidae	2	2	3	7	6	3	0	9	0	5	6	11	27
Gastropoda	Sorbeoconcha	Thiaridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tubellaria	Seriata	Planariidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gastropoda	Mesogastropod	Ampullariidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Insecta	Trichoptera	hydrobiosidae	3	4	3	10	0	0	5	5	2	5	1	8	23
Arachnida	Hydracarina	hydrachnidae	3	4	4	11	5	5	5	15	7	11	2	20	46
<b>TOTAL INDIVIDUOS</b>			<b>8</b>	<b>10</b>	<b>10</b>		<b>11</b>	<b>8</b>	<b>10</b>		<b>9</b>	<b>21</b>	<b>9</b>		<b>96</b>
<b>TOTAL TAXAS</b>															<b>3</b>

## Continuación Anexo U.

TAXA			Zona A - vereda Motilón - Lluvias Bajas												Total (ind/sp)
			Estación 1				Estación 2				Estación 3				
clase	Orden	Familia	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	
Insecta	Diptera	Chironomidae	9	10	13	32	8	9	11	28	20	15	6	41	101
Insecta	Odonata	Libellulidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gastropoda	Sorbeoconcha	Thiaridae	0	5	0	5	4	8	5	17	0	4	4	8	30
Tubellaria	Seriata	Planariidae	4	3	5	12	2	0	7	9	6	7	1	14	35
Gastropoda	Mesogastropoda	Ampullariidae	9	9	14	32	8	5	6	19	0	2	0	2	53
Insecta	Trichoptera	hydrobiosidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arachnida	Hydracarina	hydrachnidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL INDIVIDUOS</b>			<b>22</b>	<b>27</b>	<b>32</b>		<b>22</b>	<b>22</b>	<b>29</b>		<b>26</b>	<b>28</b>	<b>11</b>		<b>219</b>
<b>TOTAL TAXAS</b>															<b>4</b>

TAXA			Zona A1 - Punto control vereda Motilón - Lluvias Bajas												Total (ind/sp)
			Estación 1				Estación 2				Estación 3				
clase	Orden	Familia	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	
Insecta	Diptera	Chironomidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	7	7
Insecta	Odonata	Libellulidae	0	0	0	0	4	6	10	20	4	7	7	18	38
Gastropoda	Sorbeoconcha	Thiaridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tubellaria	Seriata	Planariidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gastropoda	Mesogastropoda	Ampullariidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Insecta	Trichoptera	hydrobiosidae	6	4	5	15	0	5	4	9	0	0	0	0	24
Arachnida	Hydracarina	hydrachnidae	1	4	3	8	6	3	3	12	2	5	0	7	27
<b>TOTAL INDIVIDUOS</b>			<b>7</b>	<b>8</b>	<b>8</b>		<b>10</b>	<b>14</b>	<b>17</b>		<b>6</b>	<b>15</b>	<b>11</b>		<b>96</b>
<b>TOTAL TAXAS</b>															<b>4</b>

Taxa			Zona B - Vereda Santa Teresita - Lluvias Bajas												Total (ind/sp)
			Estación 1				Estación 2				Estación 3				
clase	Orden	Familia	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	
Insecta	Diptera	Chironomidae	10	21	10	41	5	12	5	22	16	13	0	29	92
Insecta	Odonata	Libellulidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gastropoda	Sorbeoconcha	Thiaridae	8	10	9	27	0	0	0	0	0	0	0	0	27
Tubellaria	Seriata	Planariidae	0	0	0	0	0	0	0	0	8	14	6	28	28
Gastropoda	Mesogastropoda	Ampullariidae	0	5	5	10	10	9	2	21	8	4	6	18	49
Insecta	Trichoptera	hydrobiosidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arachnida	Hydracarina	hydrachnidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL INDIVIDUOS</b>			<b>18</b>	<b>36</b>	<b>24</b>		<b>15</b>	<b>21</b>	<b>7</b>		<b>32</b>	<b>31</b>	<b>12</b>		<b>196</b>
<b>TOTAL TAXAS</b>															<b>4</b>

## Continuación Anexo U.

Taxa			Zona B1 - Punto control Vereda Santa Teresita - Lluvias Bajas												Total (ind/sp)
			Estación 1				Estación 2				Estación 3				
clase	Orden	Familia	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	
Insecta	Diptera	Chironomidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Insecta	Odonata	Libellulidae	10	10	15	35	11	8	9	28	11	15	7	33	96
Gastropoda	Sorbeoconcha	Thiaridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tubellaria	Seriata	Planariidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gastropoda	Mesogastropod	Ampullariidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Insecta	Trichoptera	hydrobiosidae	0	5	4	9	0	10	15	25	5	3	5	13	47
Arachnida	Hydracarina	hydrachnidae	10	4	6	20	3	5	7	15	6	10	10	26	61
<b>TOTAL INDIVIDUOS</b>			<b>20</b>	<b>19</b>	<b>25</b>		<b>14</b>	<b>23</b>	<b>31</b>		<b>22</b>	<b>28</b>	<b>22</b>		<b>204</b>
<b>TOTAL TAXAS</b>															<b>3</b>

Taxa			Zona C - Vereda El Naranjal - Lluvias Bajas												Total (ind/sp)
			Estación 1				Estación 2				Estación 3				
clase	Orden	Familia	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	
Insecta	Diptera	Chironomidae	7	12	16	35	5	25	9	39	4	8	2	14	88
Insecta	Odonata	Libellulidae	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Gastropoda	Sorbeoconcha	Thiaridae	0	0	0	0	0	6	4	10	2	6	3	11	21
Tubellaria	Seriata	Planariidae	0	5	5	10	3	7		10	0	0	0	0	20
Gastropoda	Mesogastropod	Ampullariidae	2	14	2	18	5	3	3	11	6	4	0	10	39
Insecta	Trichoptera	hydrobiosidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arachnida	Hydracarina	hydrachnidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL INDIVIDUOS</b>			<b>9</b>	<b>35</b>	<b>23</b>		<b>13</b>	<b>41</b>	<b>16</b>		<b>12</b>	<b>18</b>	<b>5</b>		<b>172</b>
<b>TOTAL TAXAS</b>															<b>5</b>

Taxa			Zona C1 - Punto control Vereda El Naranjal - Lluvias Bajas												Total (ind/sp)
			Estación 1				Estación 2				Estación 3				
clase	Orden	Familia	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	P1	P2	P3	Total	
Insecta	Diptera	Chironomidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Insecta	Odonata	Libellulidae	12	11	8	31	14	10	21	45	8	12	7	27	103
Gastropoda	Sorbeoconcha	Thiaridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tubellaria	Seriata	Planariidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gastropoda	Mesogastropod	Ampullariidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Insecta	Trichoptera	hydrobiosidae	5	5	10	20	6	8	1	15	9	3	7	19	54
Arachnida	Hydracarina	hydrachnidae	12	11	10	33	20	7	9	36	0	0	0	0	69
<b>TOTAL INDIVIDUOS</b>			<b>29</b>	<b>27</b>	<b>28</b>		<b>40</b>	<b>25</b>	<b>31</b>		<b>17</b>	<b>15</b>	<b>14</b>		<b>226</b>
<b>TOTAL TAXAS</b>															<b>3</b>

## Anexo V. Análisis Estadístico para Diversidad de Shannon (H').

<i>Pruebas de Normalidad Shannon</i>		
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	121,63	8,88178E-16
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,89936	7,78178E-10
Valor-Z para asimetría	0,786204	0,431746

<i>Tabla ANOVA para Shannon por estación de muestreo</i>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,0000467963	2	0,0000233981	0,01	0,9924
Intra grupos	0,323644	105	0,00308232		
Total (Corr.)	0,323691	107			

<i>Verificación de Varianza para Shannon</i>		
	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,0028292	0,997175

<i>Análisis de Varianza para Shannon - Suma de Cuadrados Tipo III</i>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Época	0,00127445	1	0,00127445	203,91	0,0000
Zona (Época)	0,321827	10	0,0321827	5149,22	0,0000
Estación (Zona Época)	0,000139778	24	0,00000582407	0,93	0,5610
Residuo	0,00045	72	0,00000625		
Total (corregido)	0,323691	107			
Estadístico Durbin-Watson	2,61852 (P=0,9995)				

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Shannon por Época</i>				
<i>Época</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	54	0,473111	0,00405993	×
0	54	0,479981	0,00405993	×

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Shannon por zona época 1</i>					<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Shannon por zona época 0</i>				
<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	18	0,402333	0,000987441	×	5	18	0,396722	0,00703201	×
5	18	0,412111	0,000987441	×	6	18	0,462222	0,00703201	×
6	18	0,462889	0,000987441	×	1	18	0,467	0,00703201	×
4	18	0,465	0,000987441	×	4	18	0,468667	0,00703201	×
3	18	0,541667	0,000987441	×	3	18	0,526889	0,00703201	×
2	18	0,554667	0,000987441	×	2	18	0,537778	0,00703201	×

## Anexo W. Análisis Estadístico para Equitatividad de Pielou (J').

<i>Pruebas de Normalidad Pielou</i>		
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	201,259	0,0
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,791065	0,0
Valor-Z para asimetría	2,66081	0,0077954

<i>Tabla ANOVA para Pielou por estación de muestreo</i>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,00000301852	2	0,00000150926	0,00	0,9992
Intra grupos	0,209765	105	0,00199776		
Total (Corr.)	0,209768	107			

<i>Verificación de Varianza para Pielou</i>		
	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,00109692	0,998904

<i>Análisis de Varianza para Pielou - Suma de Cuadrados Tipo III</i>						
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>	
Época	0,000158898	1	0,000158898	31,60	0,0000	
Zona (Época)	0,209111	10	0,0209111	4159,12	0,0000	
Estación (Zona Época)	0,000136222	24	0,00000567593	1,13	0,3369	
Residuo	0,000362	72	0,00000502778			
Total (corregido)	0,209768	107				
Estadístico Durbin-Watson	2,11725 (P=0,7276)					

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Pielou por Época</i>				
<i>Época</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	54	0,253444	0,00196907	×
0	54	0,25587	0,00196907	×

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Pielou por zona época 1</i>					<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Pielou por zona época 0</i>				
<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
5	18	0,172611	0,00341054	×	5	18	0,165778	0,000516675	×
1	18	0,235278	0,00341054	×	3	18	0,255333	0,000516675	×
3	18	0,263333	0,00341054	×	2	18	0,259667	0,000516675	×
2	18	0,268389	0,00341054	×	1	18	0,266	0,000516675	×
6	18	0,293778	0,00341054	×	6	18	0,292778	0,000516675	×
4	18	0,294556	0,00341054	×	4	18	0,295667	0,000516675	×



## Anexo X. Análisis Estadístico para Riqueza de Margalef (Dmg).

<i>Pruebas de Normalidad Margalef</i>		
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	176,722	0,0
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,904198	3,43821E-9
Valor-Z para asimetría	0,271611	0,785917

<i>Tabla ANOVA para Margalef por estación de muestreo</i>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,0000102407	2	0,00000512037	0,00	0,9997
Intra grupos	2,12644	105	0,0202518		
Total (Corr.)	2,12645	107			

<i>Verificación de Varianza para Margalef</i>		
	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,000228391	0,999772

<i>Análisis de Varianza para Margalef - Suma de Cuadrados Tipo III</i>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Época	0,0792729	1	0,0792729	17986,29	0,0000
Zona (Época)	2,04678	10	0,204678	46439,54	0,0000
Estación (Zona Época)	0,0000766667	24	0,00000319444	0,72	0,8100
Residuo	0,000317333	72	0,00000440741		
Total (corregido)	2,12645	107			
Estadístico Durbin-Watson	2,51471 (P=0,9965)				

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Margalef por Época</i>				
<i>Época</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	54	0,55037	0,00200998	×
0	54	0,604556	0,00200998	×

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Margalef por zona época 1</i>					<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Margalef por zona época 0</i>				
<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
6	18	0,369889	0,000620301	×	6	18	0,403722	0,00348139	×
4	18	0,374778	0,000620301	×	4	18	0,425889	0,00348139	×
1	18	0,552778	0,000620301	×	1	18	0,5685	0,00348139	×
3	18	0,567889	0,000620301	×	3	18	0,582278	0,00348139	×
2	18	0,657444	0,000620301	×	2	18	0,692222	0,00348139	×
5	18	0,779444	0,000620301	×	5	18	0,792167	0,00348139	×

## Anexo Y. Análisis Estadístico para Dominancia de Berger Parker (B).

<i>Pruebas de Normalidad Berger Parker</i>		
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	111,444	6,09512E-14
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,86821	4,30767E-14
Valor-Z para asimetría	4,21438	0,0000250628

<i>Tabla ANOVA para Berger Parker por estación de muestreo</i>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,00173702	2	0,000868509	0,30	0,7405
Intra grupos	0,302652	105	0,0028824		
Total (Corr.)	0,304389	107			

<i>Verificación de Varianza para Berger Parker</i>		
	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	0,54594	0,580932

<i>Análisis de Varianza para Berger Parker - Suma de Cuadrados Tipo III</i>						
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>	
Época	0,00286237	1	0,00286237	3,05	0,0850	
Zona (Época)	0,213082	10	0,0213082	22,70	0,0000	
Estación (Zona Época)	0,020868	24	0,0008695	0,93	0,5678	
Residuo	0,0675767	72	0,000938565			
Total (corregido)	0,304389	107				
Estadístico Durbin-Watson	2,31644 (P=0,9498)					

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Berger Parker por Época</i>				
<i>Época</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	54	0,468778	0,00495115	×
0	54	0,479074	0,00495115	×

<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Berger Parker por zona época 1</i>					<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Berger Parker por zona época 0</i>				
<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	<i>Zona</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	18	0,401167	0,00857564	×	2	18	0,397333	0,014314	×
6	18	0,467722	0,00857564	×	6	18	0,457667	0,014314	×
4	18	0,472944	0,00857564	×	1	18	0,463444	0,014314	×
1	18	0,473667	0,00857564	×	3	18	0,468778	0,014314	×
3	18	0,493722	0,00857564	×	4	18	0,510444	0,014314	×
5	18	0,534333	0,00857564	×	5	18	0,515	0,014314	×





**Anexo AA.** Encuesta caracterización socio-ambiental y económica (sistema cerrado) piscicultores corregimiento del Encano, municipio de Pasto, departamento de Nariño.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, FACULTAD DE CIENCIAS  
AGROPECUARIAS, PROGRAMA DE DOCTORADO EN AGROECOLOGÍA.**

**1. Piscicultores corregimiento de El Encano, Municipio de Pasto**

1.1. Nombre: \_\_\_\_\_

1.2. Vereda: \_\_\_\_\_

1.3. Número de personas que conforman el núcleo familiar: \_\_\_\_\_

**2 Localización geográfica del proyecto productivo.**

2.1 Coordenadas geográficas o planas: \_\_\_\_\_ N \_\_\_\_\_ E

2.2 Altitud: \_\_\_\_\_ m.s.n.m.

**3. Aspectos Legales de la Actividad Piscícola**

3.1 ¿Posee concesión de aguas? Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

3.2 ¿Posee el permiso de cultivo? Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

3.3 Describa su experiencia en piscicultura en años:

1-3\_\_\_\_ 3-6\_\_\_\_ 6-9\_\_\_\_ 9-12\_\_\_\_ 12-15\_\_\_\_ 15-18\_\_\_\_ 18-21\_\_\_\_ más de 20 años\_\_\_\_

3.4 Conoce y/o aplica los manuales de buenas prácticas de producción acuícola

Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

**4. Aspectos técnicos relativos a las Unidades de Cultivo**

4.1 Número de jaulas que posee la estación

1-5\_\_\_\_ 6-10\_\_\_\_ 11-15\_\_\_\_ 16-20\_\_\_\_ 21-25\_\_\_\_ 26-30\_\_\_\_ 31-35\_\_\_\_ más de 35\_\_\_\_

4.2 ¿Realiza registros productivos? Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

4.3 ¿Utiliza medicamentos o sustancias químicas en los procesos de cultivo? Sí \_\_\_\_\_  
No \_\_\_\_\_

¿Cuál? \_\_\_\_\_

4.4 ¿Qué sistema de cultivo presenta?

Extensivo \_\_\_\_\_ semiintensivo \_\_\_\_\_ intensivo \_\_\_\_\_

## 5. Aspectos relacionados a la calidad del agua

5.1 Realiza control de parámetros básicos de calidad de agua en el cultivo? ¿Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_  
Cuál? \_\_\_\_\_

5.2 Realiza control de parámetros especializados o de sedimentos en el cultivo? Sí \_\_\_\_\_  
No \_\_\_\_\_

## 6. Aspectos socioeconómicos

6.1 Grado de escolaridad

Primaria \_\_\_\_\_ Secundaria \_\_\_\_\_ Universitarios \_\_\_\_\_ Posgrado \_\_\_\_\_ Ninguno \_\_\_\_\_

6.2 Donde comercializa los productos?

Local \_\_\_\_\_ Municipal \_\_\_\_\_ Departamental \_\_\_\_\_ Nacional \_\_\_\_\_ exportación \_\_\_\_\_

6.2 Sus ingresos mensuales son mayores o menores antes de dedicarse a la actividad?

Mayores \_\_\_\_\_ Menores \_\_\_\_\_

6.4 Cuantas personas de núcleo familiar se benefician de los cultivos

1-3 \_\_\_\_\_ 4-6 \_\_\_\_\_ 7-9 \_\_\_\_\_ 10-12 \_\_\_\_\_ 13-15 \_\_\_\_\_

6.5 Qué actividad desarrollaba antes de dedicarse a la producción de trucha arcoíris

Agricultura \_\_\_\_\_ Extracción de carbón \_\_\_\_\_ Turismo \_\_\_\_\_ Transporte \_\_\_\_\_ Ganadería y/o  
producción de leche \_\_\_\_\_ pecuarias/especies menores \_\_\_\_\_

## 7. Planes de expansión y desarrollo

7.1. ¿Tiene previsto incrementar sus cultivos? Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

7.2. ¿Qué factores cree que es el más limitante?

Permisos y/o concesiones \_\_\_\_\_ Dinero para invertir \_\_\_\_\_ Capacitación y asistencia técnica \_\_\_\_\_  
Programas y proyectos acuícolas impartidos por el Gobierno \_\_\_\_\_

**DATOS DEL ENCUESTADOR**

**DATOS DEL ENCUESTADO**

Nombres-Apellidos: \_\_\_\_\_

Cédula Ciudadanía: \_\_\_\_\_

Fecha de realización de la encuesta \_\_\_\_\_

**Anexo AB.** Entrevistas conversacionales sobre conocimientos básicos y aplicación de la agroecología en la acuicultura por parte del productor.

<b>N° de pregunta</b>	<b>Contenido de la pregunta</b>	<b>Medio de comunicación Investigador/productor</b>	<b>Medio utilizado para recepción de la respuesta</b>
<b>Pregunta 1</b>	¿Usted ha escuchado sobre agroecología?	Conversación personal	Audio/Grabadora
<b>Pregunta 2</b>	¿Usted sabe cómo aplicar la agroecología a los cultivos de trucha?	Conversación personal	Audio/Grabadora
<b>Pregunta 3</b>	¿Para usted el realizar acuicultura es bueno o malo para el ambiente y la naturaleza?	Conversación personal	Audio/Grabadora
<b>Pregunta 4.</b>	¿Usted que entiende por progreso y desarrollo según la actividad acuícola?	Conversación personal	Audio/Grabadora