



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACUICULTURA INTENSIVA EN LOS COMPONENTES AGUA Y SEDIMENTO EN EL LAGO GUAMUEZ, NARIÑO**

**Edgar Andrés González Legarda**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería y Administración  
Palmira, Colombia

2017



# **IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACUICULTURA INTENSIVA EN LOS COMPONENTES AGUA Y SEDIMENTO EN EL LAGO GUAMUEZ, NARIÑO**

**Edgar Andrés González Legarda**

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Ingeniería Ambiental**

Director:

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

Codirector:

Marco Antonio Imués Figueroa, M.Sc.

Grupo de Investigación:

Ecología y Contaminación Acuática:

Línea de Investigación:

Monitoreo ambiental

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería y Administración  
Palmira, Colombia

2017



## *Dedicatoria*

*Dios por darme la vida y las facultades para poder estudiar y sacar adelante mi maestría 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 mi novia Elizabeth Burbano por estar siempre ahí a pesar de las dificultades y por brindarme su amor incondicional.*

*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.*

---

# 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

CAMILO LENIN GUERRERO

Ingeniero en Producción Acuícola. Laboratorios de Acuicultura, Universidad de Nariño

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

La acuicultura es una de las actividades agropecuarias que mayor crecimiento demuestra en los últimos años; pero así mismo crece la preocupación por los impactos ambientales que genera al ambiente. Se desarrolló el presente estudio, tendiente a determinar los impactos ambientales que genera la producción intensiva de trucha arcoíris (*Onchorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes a los componentes agua y sedimentos, en el Lago Guamuéz (Humedal RAMSAR), departamento de Nariño. El estudio se desarrolló entre agosto de 2016 y febrero de 2017, comparando tres áreas, donde se ubican las jaulas de alevinaje, jaulas de engorde y un punto control, en las cuales se tomó tres estaciones de muestreo (extremos, centro y punto control). Se midió las variables oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica, pH, dureza, alcalinidad y transparencia a tres profundidades (0, 10 y 20 metros). Se recolectó muestras de sedimento, mediante inmersiones con equipo de buceo profesional, identificando taxonómicamente la macrofauna bentónica estimando parámetros comunitarios índice de diversidad de Shannon, Equitabilidad de Pielou, Margalef para la riqueza de especies y dominancia de Berger–Parker y se analizó la materia orgánica y carbonatos. Además se midió la concentración de nitritos, nitratos, fosfatos y fósforo total a tres profundidades de la columna de agua (0, 10 y 20 metros). El impacto ambiental fue evaluado mediante la relación de las variables mencionadas, utilizando análisis discriminante y análisis de varianza, previo la verificación de los supuestos estadísticos. Los parámetros fisicoquímicos presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las tres áreas y sus profundidades demostrando que hay cambios en la calidad de agua en las áreas de cultivos. Los nutrientes presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) solo entre áreas lo que demuestra la contaminación causada principalmente por el concentrado comercial y las heces de los peces. Mediante la identificación taxonómica de la macrofauna bentónica se identificaron las familias de macroinvertebrados *Chironomidae*, *Thiaridae*, *Ampullariidae*, *Planariidae* y *Tubificidae* indicadoras de aguas contaminadas y medianamente contaminadas, las cuales estuvieron presentes en las áreas 1 y 2

---

correspondiente a los cultivos, mientras que en el punto control se identificaron las familias *hydrobiosidae* e *hydrachnidae* indicadoras de aguas claras y no contaminadas; de igual forma las mayores diversidades y equidades se presentaron en las áreas 1 y 2 lo que establece el grado de intervención ambiental en las jaulas de cultivo. Los mayores porcentajes de materia orgánica y carbonatos de los sedimentos fueron en las jaulas de alevinaje y levante y engorde creando zonas de degradación orgánica que deterioran su calidad y la del agua debajo y en el medio circundante a las jaulas. El análisis discriminante presento a las variables pH, oxígeno disuelto, nitritos, nitratos, diversidad de Shannon y equitatividad de Pielou como las de mayor influencia y que mayor grado de afectación reciben por parte de las producciones acuícolas presentando cambios ambientales importantes en el Lago Guamuez.

**Palabras clave:** Acuicultura intensiva, impacto ambiental, contaminación acuática, macrofauna bentónica, calidad del agua, sedimentos, trucha arcoíris.

---

## Abstract

Aquaculture is one of the agricultural activities that shows the greatest production growth in recent years; nevertheless, it also produces the greatest concern about generation of environmental impacts. The objective of the present study was to determine the environmental impacts that generate the intensive Rainbow Trout production (*Onchorhynchus mykiss*) in floating cages to the components water and sediments, in Lake Guamuéz (RAMSAR Wetland), department of Nariño. The study was carried out between May 2016 and January 2017, comparing three main areas. At the first area were located the nursery cages, the second area the adult growth cages and the last one a control point, in which three samples were taken (extremes, center and control point). Physico-chemical variables were measured at three depths (0, 10 and 20 meters) at each sample site, such as, dissolved oxygen, temperature, electrical conductivity, pH, hardness, alkalinity and transparency. Sediment samples were collected by Scuba diving; this samples were, taxonomically identified and the benthic macrofauna was analyzed by estimating the Shannon diversity index, Pielou equitability, Margalef species richness and Berger-Parker dominance, including also the organic matter and carbonates. In addition, the concentration of nitrites, nitrates, phosphates and total phosphorus at three depths of the water column (0, 10 and 20 meters) were measured. The environmental impact was evaluated by the relation of the mentioned variables, using discriminant analysis and analysis of variance, previous verification of the statistical assumptions. The physicochemical parameters showed significant differences ( $p < 0.05$ ) between the three areas and their depths, showing that there are changes in aguan water quality in crop areas. The nutrients presented significant differences ( $p < 0.05$ ) only between areas, which shows the contamination caused mainly by the commercial concentrate and the feces of the fish. The macroinvertebrate families Chironomidae, Thiaridae, Ampullariidae, Planariidae and Tubificidae were present in the benthic macrofauna, indicating contaminated and moderately contaminated sediments, which were present in areas 1 and 2 corresponding to the crop cages. At the control point were identified the families hydrobiosidae and hydrachnidae indicating clear and uncontaminated waters; In the same way the greater diversities and equities were presented in the areas 1 and 2, which establishes the degree of environmental intervention in the crop cages. The highest percentages of organic matter and carbonates of the sediments were in the cage of nursery and nursery and adult growth, creating zones of organic degradation that deteriorate its quality and the quality of the water

---

below and in the environment surrounding the cages. The discriminant analysis showed that the pH, dissolved oxygen, nitrite, nitrate, Shannon diversity and Pielou equitability had the greatest influence and the highest degree of affectation received by aquaculture productions presenting important environmental changes in Lake Guamuez.

**Keywords:** Intensive aquaculture, environmental impact, water pollution, benthic macrofauna, water quality, sediment, Rainbow trout.

---

# Contenido

## Pág.

RESUMEN .....	5
Lista de figuras .....	14
Lista de tablas .....	18
INTRODUCCIÓN .....	23
1. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	25
2. OBJETIVOS .....	28
2.1 Objetivo general.....	28
2.2 Objetivos específicos .....	28
3. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	29
3.1 ESTADO ACTUAL DE LA ACUICULTURA, TENDENCIAS Y DESAFÍOS.....	29
3.1.1 Estado Actual de la Acuicultura a nivel Mundial .....	30
3.1.2 Estado Actual de la Acuicultura Continental.....	30
3.1.3 Acuicultura Sostenible en Colombia.....	31
3.1.4 Cultivo de Trucha Arcoíris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) en el departamento de Nariño.....	32
3.2 NORMATIVIDAD AMBIENTAL COLOMBIANA PARA LA ACUICULTURA....	33
3.2.1 Política Nacional de Pesca y Acuicultura - PNPA .....	34
3.2.2 Plan Nacional de Desarrollo – PND 2014 - 2018 .....	34
3.3 IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACUICULTURA .....	34
3.3.1 Cultivo de trucha arcoíris en jaulas flotantes: Repercusiones en el ambiente .....	35
3.4 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE IMPORTANCIA PARA DETERMINAR EL IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACUICULTURA EN UN CUERPO DE AGUA ....	37
3.4.1. Oxígeno disuelto (mg/L).....	37
3.4.2. Potencial de Hidrógeno (pH).....	38
3.4.3. Conductividad eléctrica. (CE).....	38
3.4.4. Temperatura (°C).....	38

---

3.5	NITRITOS, NITRATOS Y FOSFATOS: SU ALTERACIÓN EN EL AMBIENTE POR ACTIVIDADES ACUÍCOLAS. ....	39
3.5.1.	Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) y Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	39
3.5.2.	Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) y fósforo total.....	39
3.6	APLICACIÓN DE PARÁMETROS COMUNITARIOS UTILIZANDO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA EN ACUICULTURA.....	40
3.6.1	Índice de diversidad de Shannon-Weaver .....	40
3.6.2	Equidad de Pielou (J').....	40
3.6.3	Índice de Riqueza de Margalef.....	41
3.6.4	Índice de dominancia de Berger-Parker.....	41
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	42
4.1.	ÁREA DE ESTUDIO.....	42
4.1.1	Áreas y estaciones de Muestreo.....	43
4.1.2	Monitoreo de parámetros fisicoquímicos .....	44
4.1.3	Análisis de nutrientes. ....	45
4.1.4	Sedimentos.....	46
4.2.	PARÁMETROS COMUNITARIOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	48
4.2.1	Cálculo de parámetros comunitarios .....	48
4.2.1.1	Índice de Shannon-Weaver (H') .....	48
4.2.1.2	Índice de Uniformidad o equitatividad de Pielou. (Pielou, E. C. 1975)...	49
4.2.1.3	Índice de riqueza de Margalef.....	49
4.2.1.4	Índice de dominancia de Berger-Parker.....	49
4.2.2	Análisis Estadístico.....	50
5.	RESULTADOS.....	51
5.1.	Parámetros fisicoquímicos.....	51
5.1.1	Oxígeno disuelto (mg/L). ....	52
5.1.2	Temperatura (°C).....	53
5.1.3	Conductividad Eléctrica (µS/cm).....	54
5.1.4	pH.....	55
5.1.5	Dureza mg/L.....	56
5.1.6	Alcalinidad mg/L.....	57
5.1.7	Transparencia (Metros).....	58
5.2.	Análisis de nutrientes. ....	59
5.2.1	Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ). ....	60
5.2.2	Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	61
5.2.3	Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ).....	62
5.2.4	Fósforo total. ....	63
5.3.	Análisis de sedimentos.....	64
5.3.1	Materia orgánica total.....	65
5.3.2	Carbonatos (CO <sub>3</sub> ) <sup>2-</sup> .....	66
5.3.3	Macrofauna bentónica.....	66
5.4.	Parámetros comunitarios .....	69
5.4.1	Diversidad H' de Shannon.....	70
5.4.2	Equitatividad J' de Pielou.....	70
5.4.3	Índice de Margalef ( D <sub>mg</sub> )(Riqueza de especies) .....	71

5.4.4 índice de dominancia de Berger–Parker (B) . . . . .	72
5.5. Análisis estadístico Multivariado (Análisis Discriminante) . . . . .	73
5.5.1 Análisis multivariado discriminante para parámetros fisicoquímicos. . . . .	74
5.5.2 Análisis multivariado discriminante para nutrientes . . . . .	77
5.5.2 Análisis multivariado discriminante para transparencia, carbonatos, materia orgánica y macrofauna bentónica. . . . .	80
6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS . . . . .	84
6.1 Determinación de los cambios ambientales a través de análisis de parámetros fisicoquímicos y parámetros comunitarios de diversidad biológica. . . . .	84
6.2 Determinación de la contaminación de las áreas de estudio mediante la cuantificación de los contenidos de nutrientes en el agua y la materia orgánica de los sedimentos, en relación con los procesos acuícolas. . . . .	90
6.3 Estado ambiental de la calidad del agua mediante la identificación taxonómica de macrofauna bentónica y su uso como indicadores biológicos. . . . .	94
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .	99
7.1 Conclusiones . . . . .	99
7.2 Recomendaciones . . . . .	101
A. Anexo: Medición de parámetros fisicoquímicos en las áreas y puntos de muestreo. . . . .	102
B. Anexo: Promedios, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de parámetros fisicoquímicos en las áreas y puntos de muestreo. . . . .	103
C. Anexo: Análisis Estadístico para Oxígeno Disuelto (mg/L). . . . .	1014
D. Anexo: Análisis Estadístico para Temperatura (°C). ¡Error! Marcador no definido. . . . .	105
E. Anexo: Análisis Estadístico para Conductividad Eléctrica (µS/cm). . . . .	1016
F. Anexo: Análisis Estadístico para pH. . . . . ¡Error! Marcador no definido. . . . .	107
G. Anexo: Análisis Estadístico para Transparencia (m). . . . .	108
H. Anexo: Análisis Estadístico para Dureza (CaCO <sub>3</sub> /L). ¡Error! Marcador no definido. . . . .	109
I. Anexo: Análisis Estadístico para Alcalinidad (CaCO <sub>3</sub> /L). . . . .	10110
J. Anexo: Medición de Nutrientes en las áreas y puntos de muestreo. . . . . ¡Error! Marcador no definido. . . . .	111
K. Anexo: Promedios, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de nutrientes en las áreas y puntos de muestreo. . . . .	1012

---

L. Anexo: Análisis Estadístico para Nitritos (mg/L). . .	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	113
M. Anexo: Análisis Estadístico para Nitratos (mg/L)....		10114
N. Anexo: Análisis Estadístico para Fosfatos (mg/L)...	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	115
O. Anexo: Análisis Estadístico para Fosforo Total (mg/L)....		10116
P. Anexo: Medición de Materia Orgánica y Carbonatos en las áreas y puntos de muestreo..	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	117
Q. Anexo: Promedios, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de Materia Orgánica y Carbonatos en las áreas y puntos de muestreo....		10118
R. Anexo: Análisis Estadístico para Materia Orgánica (mg/L)...	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	119
S. Anexo: Análisis Estadístico para Carbonatos (mg/L)....		10120
T. Anexo: Número de especies encontradas en las áreas y puntos de muestreo. .	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	121
U. Anexo: Análisis Estadístico para Diversidad de Shannon (H`)		10122
V. Anexo: Analisis Estadístico para Equitatividad de Pielou (J`)	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	123
W. Anexo: Análisis Estadístico para Riqueza de Margalef (Dmg)		10124
X. Anexo: Análisis Estadístico para Dominancia de Berger-Parker (B)	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	125
Y. Anexo: Análisis Estadístico Multivariado para parámetros Fisicoquímicos		126
Z. Anexo: Correlaciones lineales múltiples de parámetros Fisicoquímicos	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	127
AA. Anexo: Análisis Estadístico Multivariado para nutrientes		128
BB. Anexo: Correlaciones lineales múltiples de Nutrientes		129
CC. Anexo: Análisis Estadístico Multivariado para Transparencia, Materia Orgánica, Carbonatos e Índices comunitarios de diversidad Biológica	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	130

---

DD. Anexo: Correlaciones lineales múltiples de Transparencia, Materia Orgánica, Carbonatos e Índices comunitarios de diversidad Biológica.....**¡Error! Marcador no definido**.....131

BIBLIOGRAFÍA ..... 132

## Lista de figuras

Pág.

**Figura 1:** Producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura..... 27

**Figura 2:** Producción acícola mundial en aguas continentales y maricultura 1980-2012.29

**Figura 3:** Evolución histórica de la producción de acuicultura en Colombia entre 1986 y 2011 ..... 30

**Figura 4:** Análisis de Producción de Trucha en Nariño, año 2004 - 2009..... 31

**Figura 5:** Impactos ambientales de la acuicultura ..... 33

**Figura 6:** Cultivo de trucha arcoíris en jaulas flotantes, Lago Titicaca - Bolivia. .... 34

**Figura 7:** Lago Guamuez, Corregimiento del Encano, Municipio de Pasto, Departamento de Nariño..... 40

---

<b>Figura 8:</b> Empresa de producción intensiva de Trucha Arcoíris corregimiento del Encano, municipio de Pasto, Nariño...	41
<b>Figura 9:</b> Ubicación y distancia entre Áreas de muestreo.....	42
<b>Figura 10:</b> Monitoreo de parámetros fisicoquímicos. a) Área A, Jaulas de alevinaje. b) Área B, Jaulas de levante y engorde. c) Área C, Punto control. ....	43
<b>Figura 11:</b> Toma de muestras de agua para análisis de nutrientes.. ....	43
<b>Figura 12:</b> Análisis de nutrientes en laboratorio.....	44
<b>Figura 13:</b> Toma de muestras de sedimentos mediante inmersiones de buceo.. ....	44
<b>Figura 14:</b> Muestras de sedimentos recolectadas.. ....	45
<b>Figura 15:</b> Identificación taxonómica de la macrofauna bentónica.....	45
<b>Figura 16:</b> Determinación de materia orgánica y carbonatos de los sedimentos.. ....	46
<b>Figura 17:</b> Valores promedio de oxígeno disuelto (mg/L) de las áreas y profundidades de monitoreo .....	51
<b>Figura 18:</b> Valores promedio de temperatura (°C) en las áreas y profundidades de muestreo.....	52
<b>Figura 19:</b> Valores promedio de conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en las áreas y profundidades de muestreo.....	53
<b>Figura 20:</b> Valores promedio de pH en las áreas y profundidades de muestreo.....	54
<b>Figura 21:</b> Valores promedio de dureza (mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ) en las áreas y profundidades de muestreo.....	55

---

<b>Figura 22:</b> Valores promedio de alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L) en las áreas y profundidades de muestreo.....	56
<b>Figura 23:</b> Valores promedio de transparencia (m) en las áreas y profundidades de muestreo.....	57
<b>Figura 24:</b> Valores promedio de nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) en mg/L de las áreas y profundidades de monitoreo.....	59
<b>Figura 25:</b> Valores promedio de nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) en mg/L de las áreas y profundidades de monitoreo.....	60
<b>Figura 26:</b> Valores promedio de fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) en mg/L de las áreas y profundidades de monitoreo.....	61
<b>Figura 27:</b> Valores promedio de fósforo total en mg/L de las áreas y profundidades de monitoreo.....	62
<b>Figura 28:</b> Valores promedio del porcentaje (%) de materia orgánica de los sedimentos en las áreas de muestreo .....	63
<b>Figura 29:</b> Valores promedio del porcentaje (%) de carbonatos (CO <sub>3</sub> ) <sup>2-</sup> de los sedimentos en las áreas de muestreo .....	64
<b>Figura 30:</b> Porcentaje de individuos encontrados en las áreas de muestreo del Lago Guamuez .....	65
<b>Figura 31:</b> Porcentaje de individuos encontrados en las tres áreas de muestreo.....	65
<b>Figura 32:</b> Ejemplares de las familias de macrofauna encontradas en las áreas de muestreo en el Lago Guamuez. a) <i>Chironomidae</i> ; b) <i>Tubificidae</i> ; c) <i>Hydrachnidae</i> ; d) <i>Ampullariidae</i> ; e) <i>Planaridae</i> ; f) <i>Hydrobiosidae</i> ; g) <i>Thiaridae</i> .....	66
<b>Figura 33:</b> Comparación Índice de diversidad de Shannon-Weaver (H') entre las áreas de estudio.....	68

---

<b>Figura 34:</b> Comparación Índice de equitatividad de Pielou ( $J'$ ) entre las áreas de estudio.....	69
<b>Figura 35:</b> Comparación Índice de riqueza de Margalef ( $D_{mg}$ ) entre las áreas de estudio.....	70
<b>Figura 36:</b> Comparación Índice de dominancia de Berger-Parker ( $B$ ) entre las áreas de estudio.....	71
<b>Figura 37:</b> Representación gráfica del análisis discriminante para parámetros fisicoquímicos.....	73
<b>Figura 38:</b> Representación gráfica del análisis discriminante para nutrientes.....	76
<b>Figura 39:</b> Representación gráfica del análisis discriminante para transparencia, carbonatos, materia orgánica y macrofauna.....	80

---

## Lista de tablas

Pág.

<b>Tabla 1:</b>	Áreas de estudio en el Lago Guamùez .....	42
<b>Tabla 2:</b>	Valores promedio de los parámetros físico-químicos Oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica, pH, dureza y alcalinidad, evaluados por áreas y profundidades de muestreo.. .....	49
<b>Tabla 3:</b>	Valores promedio de nutrientes evaluados por áreas y profundidades de muestreo.....	58
<b>Tabla 4:</b>	Valores promedio de carbonatos y materia orgánica de los sedimentos evaluados por estaciones y áreas de muestreo .....	62
<b>Tabla 5:</b>	Número y abundancia de familias encontradas en las tres áreas de estudio del Humedal RAMNSAR, Lago Guamuez.....	67

---

<b>Tabla 6:</b> Valores de diversidad, equitatividad, riqueza y dominancia de las especies de macrofauna encontradas en las tres áreas de estudio del Lago Guamuez.....	67
<b>Tabla 7:</b> Nivel de significancia ( $p < 0,05$ ) de las funciones discriminantes para parámetros fisicoquímicos.....	72
<b>Tabla 8:</b> Coeficientes de la función discriminante entre áreas de muestreo para parámetros fisicoquímicos.....	72
<b>Tabla 9:</b> Clasificación en porcentaje de casos correctamente clasificados (100,00%) para parámetros fisicoquímicos .....	74
<b>Tabla 10:</b> Correlaciones entre pares de variables de parámetros fisicoquímicos.....	75
<b>Tabla 11:</b> Nivel de significancia ( $p < 0,05$ ) de las funciones discriminantes para nutrientes .....	75
<b>Tabla 12:</b> Coeficientes de la función discriminante entre áreas de muestreo para nutrientes .....	76
<b>Tabla 13:</b> . Clasificación en porcentaje de casos correctamente clasificados (100,00%) para nutrientes.....	77
<b>Tabla 14:</b> Correlaciones entre pares de variables de nutrientes .....	78
<b>Tabla 15:</b> . Nivel de significancia ( $p < 0,05$ ) de las funciones discriminantes para transparencia, carbonatos, materia orgánica y macrofauna.....	78
<b>Tabla 16:</b> . Coeficientes de la función discriminante entre áreas de muestreo para transparencia, carbonatos, materia orgánica y macrofauna.....	79
<b>Tabla 17:</b> Clasificación en porcentaje de casos correctamente clasificados (100,00%) para transparencia, carbonatos, materia orgánica y macrofauna. ....	81
<b>Tabla 18:</b> Correlaciones entre pares de variables de nutrientes transparencia, carbonatos, materia orgánica y macrofauna.....	81

---

.



# Introducción

La producción acuícola mundial sigue creciendo. Según las últimas estadísticas disponibles recopiladas por la FAO a nivel mundial, la producción acuícola mundial alcanzó otro máximo histórico de 90,4 millones de toneladas (equivalente en peso vivo) en 2012, de los que 66,6 millones de toneladas correspondieron a peces comestibles y 23,8 millones de toneladas a plantas acuáticas, principalmente algas marinas (FAO, 2014). Pero así como crece su producción, también crece el impacto ambiental que esta actividad genera, puesto que la acuicultura impacta en el ambiente a través de tres procesos: principales como el consumo de recursos, el proceso de transformación y la generación del producto final (Buschmann, 2001).

Colombia cuenta con múltiples sistemas hidrológicos diversificados en cuerpos de agua dulce, salobres y marinos, con una gran variedad de pisos térmicos, con características climáticas estables a lo largo del año, con terrenos con aptitud para realizar acuicultura, lo que ofrece un potencial amplio para el desarrollo de la actividad (AUNAP, 2014). La acuicultura en Colombia ha tenido un crecimiento equiparable al del crecimiento mundial, siendo en promedio el 13 % anual durante los últimos 27 años, crecimiento que se ha destacado especialmente en el campo de la mediana y pequeña acuicultura, lo cual posiciona al país en el sexto lugar en orden de importancia de la acuicultura en América Latina. Sin embargo, esta actividad se ha realizado de manera desordenada, sin planificación, sin previsión de las afectaciones que la acuicultura puede causar en el ambiente y sobre todo, sin una política gubernamental que sirva de apalancamiento y apoyo efectivo y eficiente a la actividad (AUNAP, 2013).

Estos procesos de producción, como todos con fines productivos, tienen diversos efectos sobre el ambiente, pero es quizás por su carácter pionero, su elevado volumen de producción y marcada tendencia expansiva, que ha concentrado las críticas ambientales. No obstante, la discusión generada hasta el momento no ha estado basada en argumentos sólidos, hecho que se ve agravado por la falta de información ambiental específica

existente en Colombia. Por otra parte, la discusión se centra en los argumentos de cuánto y cómo contamina esta actividad y no en cómo proceder para desarrollarla de manera ambientalmente sustentable. En los últimos años el departamento de Nariño ha venido ocupando entre el cuarto y el séptimo lugar a nivel nacional en producción piscícola gracias al Lago Guamuéz o Laguna de la Cocha, segundo cuerpo de agua natural más grande de Colombia ubicado en el Corregimiento del Encano Municipio de Pasto. Este ecosistema se ha elevado a la categoría de “humedal Ramsar”, clasificación otorgada por la Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional y donde la acuicultura juega un papel fundamental para el desarrollo de la región, presentando 822 jaulas flotantes instaladas para la producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), de las cuales 561 se encuentran en producción y 261 están fuera de funcionamiento (AUNAP, 2013).

Así como se demuestra la importancia del Lago Guamuéz en la producción acuícola para el cultivo de trucha arcoíris, también crece la preocupación por el impacto ambiental que estas producciones están causando al medio y al ecosistema del lago. La utilización de grandes cantidades de concentrado comercial para la alimentación de los peces, las heces de los mismos y otro tipos de sustancias causan un gran cambio ecológico-ambiental tanto en la columna de agua como en los sedimentos que están bajo la influencia de las jaulas e instalaciones acuícolas (Corponariño, 2008; 2014); por lo cual, con la realización de este estudio se pretende evaluar el impacto ambiental que ocasiona el cultivo intensivo de trucha arcoíris en jaulas flotantes, bajo el análisis de macrofauna bentónica, nutrientes y parámetros fisicoquímicos, tomando como sitio de estudio una de las empresas más representativas del sector.

# 1. Planteamiento y justificación del problema

El crecimiento exponencial de la acuicultura ha provocado serias preocupaciones entre los gobiernos, grupos de ambientalistas y la sociedad misma por los posibles daños e impacto ambiental que estuviera generando sobre el medio. Al ser considerada como una actividad en proceso de expansión se debe tener cautela en cómo y dónde se realiza, debido a que puede afectar la calidad del agua y los sedimentos, perturbando los ecosistemas de ríos, lagos y el mar, los cuales son fuertemente alterados por los desechos de los cultivos (Bordehore, 2005).

Los impactos potenciales de la acuicultura son muy diversos, yendo desde los aspectos estéticos y paisajísticos a los problemas de contaminación directa (Midlen y Redding, 1998). Entre los impactos más relevantes se incluyen la dispersión de la materia orgánica (restos de alimento y heces) y nutrientes, tanto en la columna de agua (Maldonado et al., 2005), como en los sedimentos subyacentes (Aksu y Kocatas 2007). La materia orgánica acumulada bajo las jaulas puede causar cambios importantes en la química de los sedimentos. La acuicultura también causa efectos sobre la fauna y flora, produciendo una disminución de diversidad, también puede afectar al plancton (Sanz-Lazaro y Marín, 2011). Además, hay otros impactos consecuencia de los escapes de los peces cultivados, introducción de especies foráneas, introducción potencial de enfermedades, y amenaza para las especies nativas al competir por el alimento y lugares para vivir (Johansen et al., 2011).

Otro de los grandes problemas ambientales que sufren los ecosistemas acuáticos donde se practica la acuicultura continental, es la eutrofización, factor que muestra sus inicios cuando el hombre contamina lagos y ríos con exceso de nutrientes que generan la aceleración del proceso y ocasiona el crecimiento acelerado de algas, la muerte de peces, la modificación de los micro ecosistemas acuáticos bentónicos y demás flora y fauna acuática, lo que conlleva a la generación de condiciones anaerobias. El proceso resulta de la utilización de concentrado comercial para la alimentación de los peces en las jaulas de cultivo generando una gran adición de fosfatos, nitratos y otros nutrientes cuyo impacto se puede ver reflejado notablemente en la sedimentación debajo y alrededor de las jaulas y cuyo estado de deterioro se puede comparar con lugares del mismo ecosistema que no

reciban ninguna clase de impacto por actividades acuícolas (FUNIBER, 2010; Velasco et al., 2012).

La actividad por sí misma representa un impacto negativo en los cuerpos de agua receptores, particularmente en donde la producción sea mayor a 10 toneladas por año, en este sentido se buscan las formas de reducirlos a través de la promulgación de leyes y normas ambientales que regulen la actividad del sector vía la gestión sostenible y de manera voluntaria, mediante la aplicación de herramientas básicas de gestión ambiental y de buenas prácticas de acuicultura y conservación del medio ambiente (Velasco et al., 2012).

Es esencial que se estudien los impactos ambientales que generan las explotaciones piscícolas en el medio acuático y se evalúen los diferentes parámetros afectados (López et al., 2008), ya que es de importancia tanto a nivel político, como social y ambiental, puesto que conlleva a realizar una correcta gestión de esta industria y a tomar decisiones adecuadas, como por ejemplo, evaluar la capacidad de carga en las diferentes zonas aptas para esta actividad en lo referente a número y/o tamaño de instalaciones, estudio que se realizó en el Lago Guamuez mediante la articulación con diferentes Universidades, la Gobernación de Nariño y la Corporación Autónoma Regional de Nariño (Corponariño, 2014).

Muchas de las empresas acuícolas en el departamento y más aún en el Lago Guamuez catalogado como la potencia truchicola de Nariño, aun no considera la variable ambiental en los procesos de producción, los daños ocasionados al medio no son tomados en cuenta y en consecuencia es evidente que el desarrollo se limita a un crecimiento en lo económico y social, pero no reflejado en el aspecto ambiental, esta despreocupación de las empresas por los impactos que su actividad viene generando en el entorno, ha evidenciado el nivel de degradación ambiental de los recursos naturales de tal forma que para el año 2015 se suspenden todas las concesiones de agua para nuevos cultivos de producción en el sector (Gobernación de Nariño, 2015).

Si bien es cierto, la acuicultura es catalogada como una de las actividades agropecuarias más amigables con el medioambiente, sin embargo, toda actividad productiva ocasiona un impacto ambiental considerable, el cual es más significativo en el recurso agua. En el

departamento de Nariño, más directamente en el Lago Guamuez los estudios de impacto ambiental por causa de la acuicultura son limitados y poco ha sido el interés de estudiar el estado de afectación ambiental en el lecho del lago por causa de esta actividad y que planes de mitigación se pueden realizar en base a los estudios con el fin de contribuir a la generación de buenas prácticas de producción acuícola para que estas sean sustentables y sostenibles (Gobernación de Nariño, 2010, AUNAP, 2013).

Por lo anterior, surge la necesidad de realizar el estudio sobre el impacto ambiental que ocasiona la producción de trucha arcoíris cultivada en jaulas flotantes en el Lago Guamuez, analizando la calidad del agua como de los sedimentos que están influenciados por una de las empresas de mayor producción en el sector; con el fin de brindar algunas bases para encontrar la manera de mitigar dicho impacto negativo a causa del cultivo en jaulas y comprender más a fondo la dinámica e interrelación entre los diferentes procesos físicos, químicos y biológicos del recurso hídrico.

## **Hipótesis**

La acuicultura intensiva de trucha arcoíris en el lago Guamuez causa un impacto ambiental en los componentes agua y sedimento.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo general

Determinar el nivel de impacto ambiental ocasionado por una estación acuícola de producción intensiva de trucha arcoíris (*Onchorhynchus mykiss*) en sistemas de jaulas flotantes en los componentes agua y sedimento en el Lago Guamuez, municipio de Pasto, departamento de Nariño.

### 2.2 Objetivos específicos

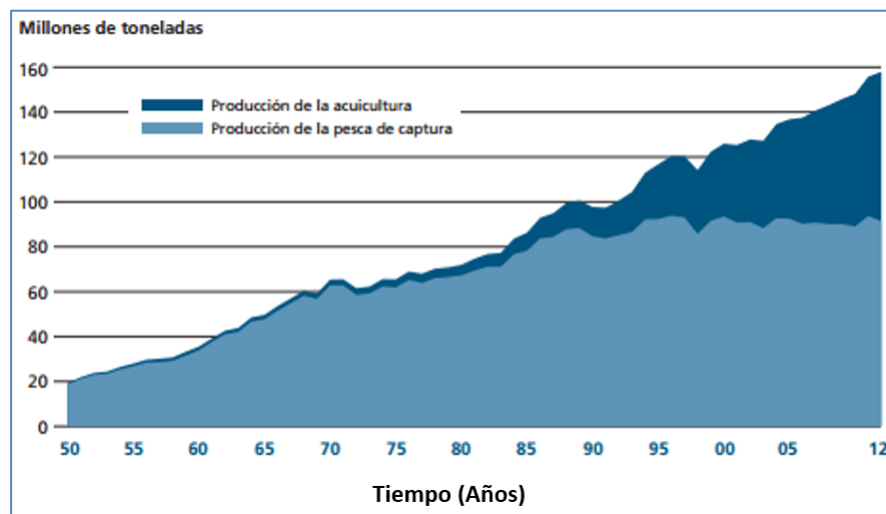
- Determinar los cambios ambientales a través de análisis de parámetros fisicoquímicos y parámetros comunitarios de diversidad biológica en la zona de estudio.
- Establecer el estado ambiental de la calidad del agua mediante la identificación taxonómica de macrofauna bentónica y su uso como indicadores biológicos.
- Determinar la contaminación de las áreas de estudio mediante la cuantificación de los contenidos de nutrientes en el agua y la materia orgánica de los sedimentos, en relación con los procesos acuícolas.

## 3. Marco teórico y estado del arte.

### 3.1. ESTADO ACTUAL DE LA ACUICULTURA, TENDENCIAS Y DESAFÍOS

La producción acuícola y pesquera mundial, ha aumentado de forma constante en las últimas cinco décadas (Figura 1) y el suministro de peces comestibles se ha incrementado a una tasa media anual del 3,2 %, superando así la tasa de crecimiento de la población mundial del 1,6 %. El consumo mundial de pescado per cápita aumentó de un promedio de 9,9 kg en el decenio de 1960 a 20 kg en 2012. Este incremento notable se ha debido a una combinación de crecimiento demográfico, aumento de los ingresos y urbanización y se ha visto propiciado por la fuerte expansión de la producción acuícola y pesquera y la mayor eficacia de los canales de distribución. (FAO, 2016).

**Figura 1.** Producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura



Fuente: Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO, 2014

Una parte considerable y cada vez mayor del pescado que se consume en los países desarrollados se abastece de las importaciones, debido a la firme demanda y la disminución de la producción pesquera nacional. En los países en desarrollo, el consumo de pescado suele basarse en los productos locales y de temporada disponibles, y la cadena de producción está impulsada por la oferta. Esta gran demanda para el consumo de pescado y su fuente de provisión como lo es la acuicultura también generan efectos negativos al ambiente, por lo que actualmente las entidades gubernamentales y privadas,

grupos de ambientalistas y ecologistas vienen desarrollando a nivel mundial determinadas normas y leyes para las buenas prácticas de producción acuícola. (Arnesen, 2012).

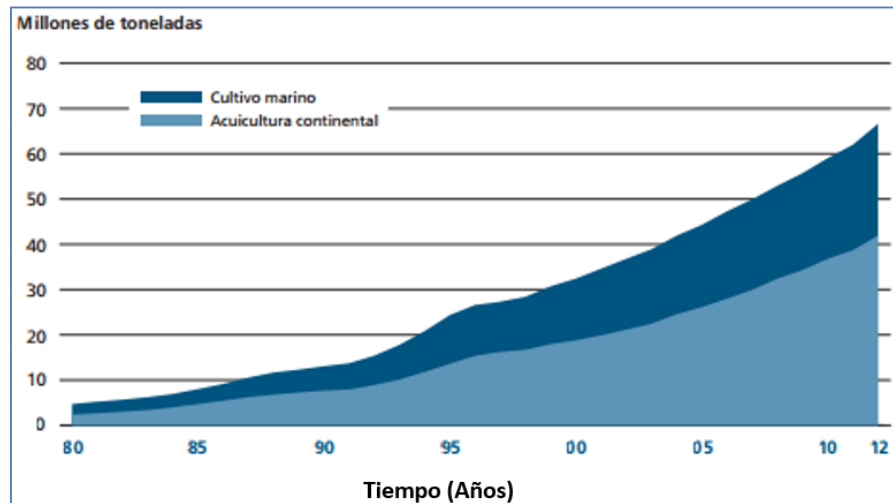
### **3.1.1. Estado Actual de la Acuicultura a nivel mundial**

La producción acuícola mundial sigue creciendo, aunque a menor ritmo. Según las últimas estadísticas disponibles recopiladas por la FAO, la producción acuícola mundial alcanzó otro máximo histórico de 90,4 millones de toneladas (equivalente en peso vivo) en 2012 (144.400 millones de USD), Siendo China el mayor productor a nivel mundial. El crecimiento general de la producción acuícola sigue siendo relativamente elevado gracias al aumento de la demanda de peces comestibles entre la mayoría de países productores. Sin embargo, la producción acuícola de algunos de los principales productores industrializados regionales, sobre todo los Estados Unidos, España, Francia, Italia, Chile Japón y Corea, ha disminuido en los últimos años. (FAO 2014)

### **3.1.2. Estado Actual de la Acuicultura Continental**

La producción acuícola mundial puede clasificarse en las categorías de acuicultura en aguas continentales y cultivo marino. La acuicultura continental utiliza generalmente agua dulce. La producción mundial de peces comestibles obtenida de la acuicultura continental y la procedente del cultivo marino presentaban el mismo volumen de 2,35 millones de toneladas en 1980. Sin embargo, el crecimiento de la acuicultura en la producción acuícola mundial en aguas continentales y maricultura entre las décadas de 1980-2012, las aguas continentales han sido superiores en comparación al crecimiento del cultivo marino como (Figura 2), con tasas medias de crecimiento anual del 9,2 % y el 7,6 %, respectivamente (FAO, 2014). En consecuencia, la acuicultura continental ha ido incrementando progresivamente su aportación a la producción total de peces comestibles cultivados del 50 % en 1980 al 63 % en 2012. (APROMAR, 2004).

**Figura 2.** Producción acuícola mundial en aguas continentales y maricultura 1980-2012



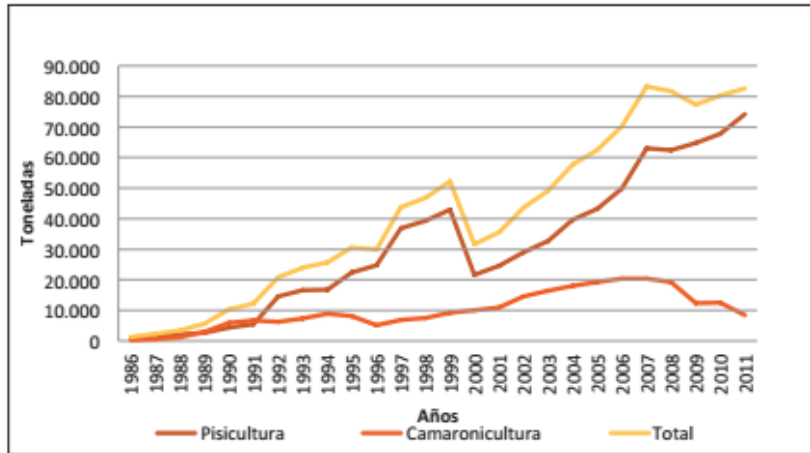
Fuente: Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO, 2014

### 3.1.3. Acuicultura Sostenible en Colombia

La acuicultura en Colombia se inició a finales de los años 30 del siglo XX con la introducción de la trucha arcoíris para repoblamiento en aguas de uso público en lagunas naturales ubicadas en altiplanicies de más de 2500 msnm en la Región Andina. Actualmente, la acuicultura colombiana se ha desarrollado de una manera sostenible con las principales especies de cultivo como el camarón marino (*Litopennaeus vannamei*), las tilapias (*Oreochromis niloticus* y *Oreochromis sp*) y la trucha arcoíris (*Onchorhynchus mykiss*) (Salazar, 2001).

Gracias al aprovechamiento de estas especies el crecimiento de la acuicultura en Colombia ha sido exponencial (Figura 3), pues se han creado estructuras empresariales relativamente grandes para la producción de camarón marino, tilapias y trucha arcoíris, con organizaciones sólidas y respaldo económico orientadas a la exportación, pero al mismo tiempo ha venido creciendo la preocupación por los impactos que esta actividad ocasiona al ambiente (AUNAP, 2014).

**Figura 3.** Evolución histórica de la producción de acuicultura en Colombia entre 1986 y 2011

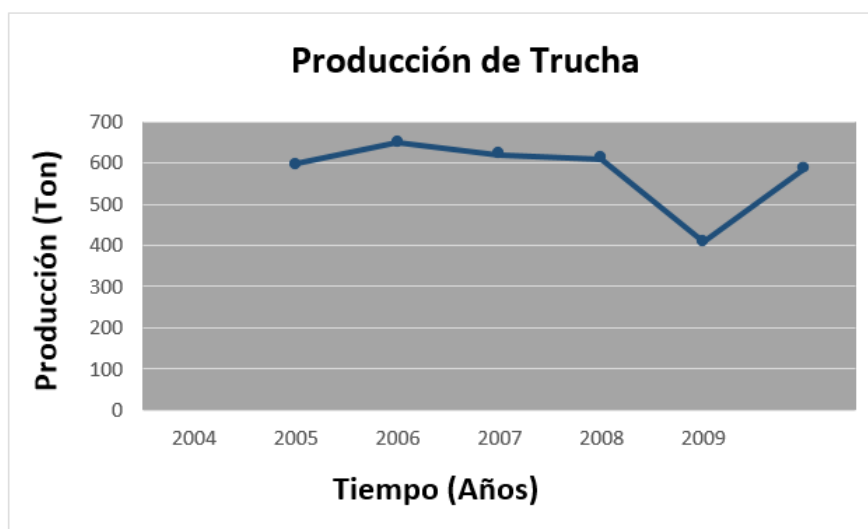


Fuente: MADR, CCI, Acuanal, AUNAP, Concejo Nacional de la Cadena de la Acuicultura

### 3.1.4. Cultivo de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en el departamento de Nariño.

El departamento de Nariño se destaca como uno de los mayores productores de trucha en el país, sin embargo, muestra un bajo nivel de industrialización, auspiciado por el mercado regional que no exige mayores técnicas de manejo y conservación del ambiente (Gobernación de Nariño, 2010). La zona de mayor producción se encuentra en el Lago Guamuez o laguna de la cocha siendo esta el segundo cuerpo de agua natural más grande del país y está clasificada dentro de la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional (RAMSAR), (AUNAP, 2013). Hasta el año 2009 su producción ha presentado altibajos pero se ha mantenido en promedio en 600 toneladas anuales, lo que también refleja un importante impacto ambiental en esta zona geográfica de producción (Figura 4).

**Figura 4.** Análisis de Producción de Trucha en Nariño, año 2004 – 2009



Fuente: Gobernación de Nariño, Secretaria de Agricultura y Medio Ambiente de Nariño, Organizaciones y Productores del Sector Piscícola del Departamento.

### **3.2. NORMATIVIDAD AMBIENTAL COLOMBIANA PARA LA ACUICULTURA**

Como ente rector de la política de pesca y acuicultura se encuentra el “Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural” (MADR), que a través del Artículo 16 del Decreto No. 1985 del 12 de septiembre 2013, se creó el “Viceministerio de Asuntos Agropecuarios” cuyas funciones en términos específicos del sector de pesca y acuicultura contienen entre otras: a) proponer e implementar las políticas para mejorar la productividad y la competitividad pesquera y acuícola; b) Proponer y diseñar instrumentos de política que promuevan la productividad y competitividad pesquera y acuícola; c) Proponer y hacer seguimiento a la implementación de las políticas sobre la productividad y la competitividad pesquera y acuícola (MADR, 2013).

A partir del Viceministerio de Asuntos Agropecuarios y bajo el Artículo 18 de este Decreto se creó la “Dirección de Cadenas Pecuarias, Pesqueras y Acuícolas”. Cuyas funciones son las siguientes: a) Diseñar y evaluar las políticas, planes, programas y proyectos para el fortalecimiento de las cadenas, pesqueras y acuícolas en los temas relacionados con la producción, la asistencia técnica, la comercialización, la asociatividad, las alianzas productivas, la formalización empresarial y laboral, la infraestructura productiva, la inserción en los mercados internacionales y la generación de valor agregado en los

productos agropecuarios; b) proponer normas, instrumentos y procedimientos que permitan el fortalecimiento de las cadenas pesqueras y acuícolas. Así mismo, mediante Decreto 4181 de 2011 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural se crea la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca- AUNAP. (MADR, 2013).

### **3.2.1 Política Nacional de Pesca y Acuicultura – PNPA**

Actualmente se adelanta la formulación de la “Política Nacional de Pesca y Acuicultura” a través del “Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural”. Dentro de esta formulación se destaca que la actividad de pesca y acuicultura en Colombia, constituyen un sector productivo que legalmente es de interés social y de utilidad pública, de acuerdo al Estatuto General de Pesca, Ley 13 de 1990, y su Decreto Reglamentario 2296 de 1991. El objeto de estos instrumentos es regular, ordenar, administrar, desarrollar y aprovechar en forma sostenible los recursos pesqueros y de acuicultura, y se complementa con lo establecido en la Ley 99 del 1993, la cual establece la importancia de proteger y aprovechar en forma sostenible la biodiversidad, y de promover el manejo integral del medio ambiente en su interrelación con los procesos de planificación económica, social y física (MADR, 2013).

### **3.2.2. Plan Nacional de Desarrollo – PND 2014 – 2018**

Dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2014 – 2018 – Prosperidad para Todos, el Capítulo VI sobre Sostenibilidad Ambiental y Prevención del Riesgo, se encuentra incluido el apoyo a la recuperación del sector pesca y acuicultura y correspondiente investigación y transferencia de tecnología, como parte de los lineamientos y acciones estratégicas del sector agropecuario con relación a la gestión ambiental integrada y compartida. (PND, 2014-2108).

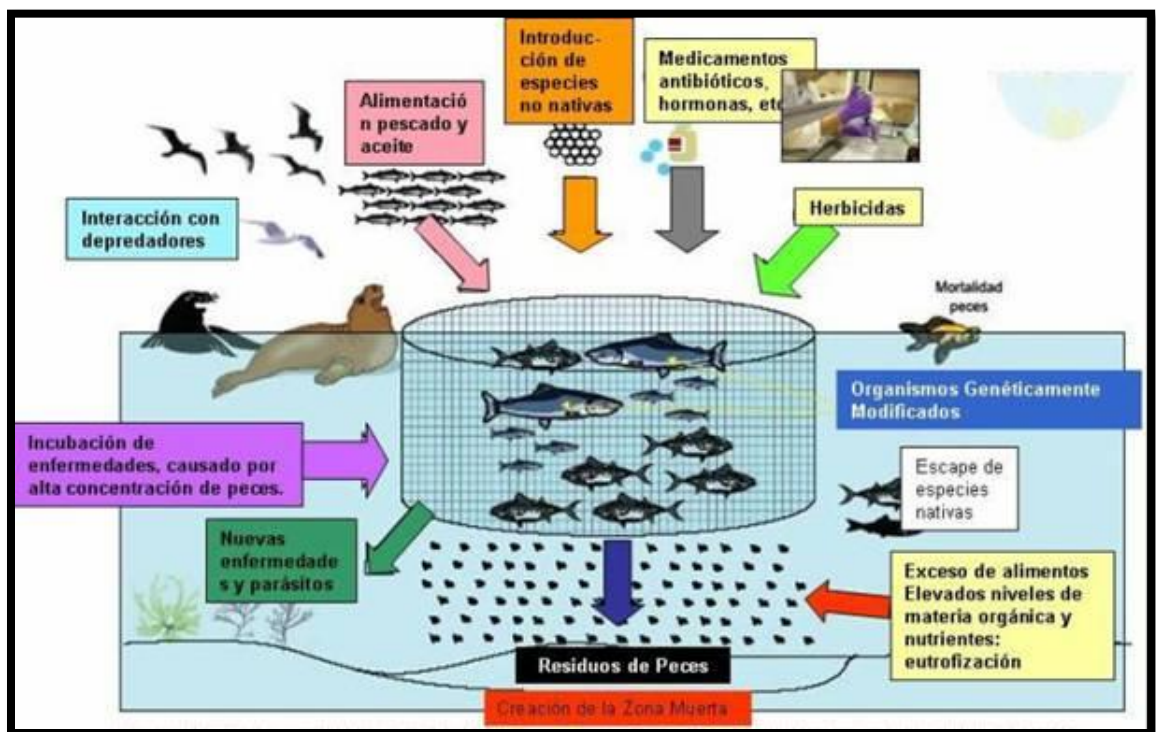
## **3.3. IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACUICULTURA**

Hoy en día la acuicultura se considera como una fuente muy importante en la producción de alimentos, sin embargo, la construcción de grandes estanques o jaulas acuícolas que demandan el uso de enormes cantidades de agua, pueden llegar a tener implicaciones reales e impactar los cuerpos receptores (ríos, lagos, presas, lagunas, entre otros) y afectar a los organismos que ahí viven por la adición de concentrado comercial, medicamentos para control de enfermedades y acumulación de materia orgánica en general, que proporcionan elevadas cargas de contaminantes ricas en fósforo, potasio y nitrógeno

ocasionando graves consecuencias por procesos de eutrofización (Figura 5). (Ovando, 2014; FUNIBER, 2010).

Las actividades acuícolas en granjas de jaulas flotantes atentan contra la biodiversidad cuya conservación es motivo de preocupación a nivel mundial ya que su pérdida disminuirá drásticamente la calidad del agua y los sedimentos de los ecosistemas acuáticos. (Pérez, 1996). La contaminación depende también de la cantidad producida siendo de mayor incidencia producciones mayores a 10 toneladas anuales. En este sentido se buscan las formas de reducir los impactos a través de la promulgación de leyes y normas ambientales que regulen la actividad del sector en base a una gestión sostenible y de manera consiente, mediante la aplicación de herramientas básicas de gestión ambiental y de buenas prácticas de acuicultura y medio ambiente. (Velazco et al., 2012).

**Figura 5.** Impactos ambientales de la acuicultura



Fuente: Modificado a partir de "The Fishprint of Aquaculture. Can the Blue Revolution be Sustainable?". K. Wolowicz

### 3.3.1. Cultivo de trucha arcoíris en jaulas flotantes: Repercusiones en el ambiente.

El cultivo de trucha en jaulas flotantes es una actividad que se viene desarrollando desde tiempos antiguos. Recientemente su desarrollo ha tomado auge debido a las ventajas

económicas que presenta. (Cedep, 2009). La trucha arcoíris, perteneciente a la familia Salmonidae, se caracteriza por ser un pez que alcanza los 350 gramos de 5 a 7 meses, lo que es recomendable para su comercialización. Su hábitat de desarrollo se encuentra en zonas de temperaturas entre 7 y 12 °C, lo cual su producción se limita a regiones que se encuentran entre 2000 y 3000 metros sobre el nivel del mar. (Adams, 2008).

Estas unidades de cultivo pueden afectar a los cuerpos de agua tanto por su presencia física (Figura 6), como por los cambios que pueden inducir en las características fisicoquímicas y biológicas del agua dependiendo del método de cultivo (extensivo, semi-intensivo o intensivo) (FAO, 2011). Entre los principales efectos del cultivo de peces en jaulas están la transformación natural del lugar donde se construyen, modifican el régimen de flujo del agua lo que afecta el transporte de oxígeno, sedimentos, plancton y larvas de otros peces y tienen repercusiones en el aspecto estético del lugar. (Karakassis et al., 2000).

**Figura 6.** Cultivo de trucha arcoíris en jaulas flotantes, Lago Titicaca - Bolivia.



Fuente: Proyecto Especial Truchas Titicaca (PETT)

El transporte de sedimentos en un sistema acuático léntico, depende sobre todo de la velocidad de las corrientes, aunque también influyen otros factores que causan la sedimentación de partículas mayores y más densas en el fondo de las jaulas (Grosman, 2002). Un aumento repentino de la sedimentación, trastornará los parámetros bióticos y abióticos de calidad de agua como oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica, pH, dureza, alcalinidad, transparencia, fósforo total, nitritos, nitratos, carbonatos, fosfatos,

materia orgánica total, entre otros, lo que se verá reflejado en las comunidades bentónicas y acelerará el envejecimiento de la masa de agua (Rodrigues et al., 2010).

Otros de los factores de contaminación al medio acuático aparte del suministro de alimentos, es la aplicación de una serie de antibióticos, como aureomicina, furazolidona, nitrofurazona, penicilina, oxitetraciclina, sulfamerazina y terramicina a pesar que las normas y leyes lo prohíben. (Bravo et al., 2005). Estudios de laboratorio realizados por Murphy y Lipper desde los años setenta, han demostrado que el cultivo intensivo de peces tenía como consecuencia la producción de grandes cantidades de desechos por unidad de peso vivo, mayor que en el caso de otros animales, como pollos, cerdos o vacunos. (Beveridge, 1986).

### **3.4. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE IMPORTANCIA PARA DETERMINAR EL IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACUICULTURA EN UN CUERPO DE AGUA.**

Los métodos fisicoquímicos ayudan a conocer con precisión el estado de contaminación vertido en un cuerpo de agua; aunque una de las desventajas de determinar la calidad de agua mediante el uso de métodos fisicoquímicos radica en parte en el costo elevado, pero al mismo tiempo la información proporcionada por estos análisis es puntual y transitoria. Los parámetros a los cuales son más sensibles los organismos son a menudo el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y la temperatura (Neumann *et al.*, 2003 citado por Leiva, 2004).

**3.4.1 Oxígeno disuelto (mg/L).** Después de la temperatura el oxígeno es uno de los factores más importantes que debe ser medido en el agua. Solo tiene valor si se mide con la temperatura, para así establecer el porcentaje de saturación. Las fuentes de oxígeno son la precipitación pluvial, la difusión del aire en el agua, la fotosíntesis, los afluentes y la agitación moderada. Su consumo ocurre por respiración de las plantas y animales, las demandas bioquímica (soluble, fina/particulada y suspendida), química y bentónica de oxígeno, los afluentes, la agitación excesiva (induce pérdida de oxígeno) y otros gases; en general, el principal factor de consumo de oxígeno libre es la oxidación de materia orgánica por respiración a causa de microorganismos descomponedores (bacterias heterotróficas aerobias) (Roldan, 2008).

**3.4.2 Potencial de Hidrógeno (pH).** El valor del pH en el agua es un indicador que nos determina la acidez o no acidez (basicidad o alcalinidad) del agua; el pH no mide el valor de la acidez o alcalinidad sino que la determinación de su valor en el agua es una medida de la tendencia de su acidez o su alcalinidad (Prieto 2004). En un agua pura la concentración de H<sup>+</sup> es igual a la de OH<sup>-</sup> y su valor de pH es de 7,0 las aguas en las cuales la concentración de H<sup>+</sup> es superior a la de OH<sup>-</sup> son aguas ácidas y el valor de su pH está por debajo de 7,0. Por el contrario aquellas cuya concentración de OH<sup>-</sup> es superior a la de H<sup>+</sup> son aguas básicas o alcalinas y su pH es superior a 7,0. La escala de valores de pH es totalmente abierta, no obstante podríamos considerar como límites prácticos en aguas ácidas los valores de ácidos fuertes disueltos en agua como el ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, entre otros, cuyo pH puede llegar incluso por debajo de menos dos; en aguas alcalinas, el pH de las disoluciones de bases fuertes como el hidróxido sódico o potásico puede superar el valor de 14. (Química del Agua, URL: <http://www.quimicadelagua.com/Conceptos.Analiticos.pH.html>).

**3.4.3 Conductividad eléctrica (CE).** Los sólidos se encuentran en la naturaleza en forma disuelta. Las sales disueltas en agua se descomponen en iones cargados positiva y negativamente. La conductividad se define como la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica a través de los iones disueltos. Los iones más positivos son sodio (Na<sup>+</sup>), calcio (Ca<sup>+2</sup>), potasio (K<sup>+</sup>) y magnesio (Mg<sup>+2</sup>). Los iones más negativos son cloruro (Cl<sup>-</sup>), sulfato (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), carbonato y bicarbonato. Los nitratos y fosfatos no contribuyen de forma apreciable a la conductividad aunque son muy importantes biológicamente. (California Environmental Protection Agency, URL:[http://www.waterboards.ca.gov/water\\_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130s.pdf](http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130s.pdf)).

**3.4.4 Temperatura (°C).** La temperatura es un factor abiótico que regula procesos vitales para los organismos vivos, así como también afecta las propiedades químicas y físicas de otros factores abióticos en un ecosistema. Jacobsen *et al.*, 1997, sugiere que la temperatura es el factor mayor para la riqueza y composición de especies de macroinvertebrados acuáticos. La relación entre la altura de una zona geográfica y la temperatura en condiciones normales varía la estructura de la comunidad del bentos,

donde un río o lago con adecuada auto-depuración puede registrar mejora de calidad en zonas más bajas pese a la influencia de una contaminación rutinaria.

### **3.5. NITRITOS, NITRATOS Y FOSFATOS: SU ALTERACIÓN EN EL AMBIENTE POR ACTIVIDADES ACUÍCOLAS.**

Los cuerpos de agua naturales ya sean lenticos o loticos presentan una mínima cantidad de nutrientes como nitritos, nitratos y fosfatos. Estos niveles de nutrientes tienden a incrementarse o disminuir dependiendo de la afectación que estén recibiendo como cuerpos receptores de contaminantes por diferentes fuentes antropogénicas como lo es la acuicultura. Factores como el alimento no consumido, las heces de los peces, la mortalidad y el residuo de diferentes compuestos de las jaulas de cultivo permiten que estos macronutrientes actúen en la eutrofización de los cuerpos de agua (López, 2008; Claros, 2012).

**3.5.1. Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ):** Los nitratos y nitritos son iones que existen de manera natural y que forman parte del ciclo del nitrógeno. Los niveles naturales de nitratos en aguas superficiales y subterráneas son generalmente de unos pocos miligramos por litro. La nitrificación es la oxidación de un compuesto de amonio a nitrito por la acción de las bacterias nitrificantes *Nitrosomas*, y estos a su vez son oxidados a nitratos por la acción de las bacterias *Nitrobacter*. La nitrificación es más rápida a un pH de 7 a 8 y a temperaturas de 25-30 °C. La nitrificación hace que el pH del agua baje (Claros, 2012).

El nitrato es menos tóxico que el nitrito y es usado como una fuente de alimento por las plantas. Niveles de nitrito superiores a 0,75 ppm en el agua pueden provocar estrés en peces y mayores de 5 ppm pueden ser tóxicos. Niveles de nitrato entre 0 y 40 ppm son generalmente seguros para los peces; cualquier valor superior a 80 puede causarles intoxicación. Así como afectan a los peces también su afectación es directa con el ambiente acuático eutrofizando las aguas y cambiando el comportamiento químico de los sedimentos (Bautista et al., 2011).

**3.5.2. Fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) y fósforo total:** Los fosfatos y compuestos de fósforo se encuentran en las aguas naturales en pequeñas concentraciones. Los compuestos de fósforo que se encuentran en los cuerpos de agua superficiales provienen de fertilizantes, desechos de actividades agropecuarias como la acuicultura y la ganadería, detergentes,

entre otros. La carga de fósforo total se compone de ortofosfato + polifosfato + compuestos de fósforo orgánico, siendo normalmente la proporción de ortofosfato la más elevada. (Solórzano and Sharp, 2003).

Los compuestos del fósforo (particularmente el ortofosfato) se consideran importantes nutrientes de las plantas, y conducen al crecimiento de algas en las aguas superficiales, pudiendo llegar a promover la eutrofización de las aguas. La concentración de fosfatos en un agua natural es fundamental para evaluar el riesgo de eutrofización. Así, Los fosfatos están directamente relacionados con la eutrofización de ríos, pero especialmente de lagos y embalses. Las concentraciones críticas para una eutrofización incipiente se encuentran entre 0,1-0,2 mg/l PO<sub>4</sub>-P en el agua corriente y entre 0,005-0,01 mg/l PO<sub>4</sub>-P en aguas tranquilas. (Solórzano and Sharp, 2003).

### **3.6. APLICACIÓN DE PARÁMETROS COMUNITARIOS UTILIZANDO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA EN ACUICULTURA.**

La presencia de la macrofauna bentónica en los sedimentos influenciados por jaulas de cultivos de peces son de vital importancia para determinar el estado de contaminación de un cuerpo de agua, puesto que muchas de las familias de especies que habitan en estos microecosistemas están adaptadas a ciertos niveles de contaminación, siendo algunas tolerables y otras sensibles a la presencia de nutrientes y materia orgánica. Por lo cual la aplicación de diferentes índices que determinan ciertos parámetros de las comunidades contribuye a la obtención de datos cuantitativos indicando un estado de contaminación (Roldan, 2008; Figueroa, 2007).

**3.6.1. Índice de diversidad de Shannon-Weaver:** Es un índice que expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Adquiere valores entre 0, cuando hay una sola especie, y logaritmo de S (número total de especies) cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Shannon and Weaver, 1949).

**3.6.2. Equidad de Pielou (E):** Mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada (su valor va de 0 a 1) de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes. (Magurran, 1988).

**3.6.3. Índice de Riqueza de Margalef:** El índice de Margalef, es una medida utilizada en ecología para estimar la biodiversidad de una Comunidad con base a la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada, esenciales para medir el número de especies en una unidad de muestra. Los Valores inferiores a 2,0 son considerados como relacionados con zonas de baja diversidad (en general resultado de efectos antropogénicos) y valores superiores a 5,0 son considerados como indicativos de alta biodiversidad (Margalef. 1969).

**3.6.4. Índice de dominancia de Berger–Parker:** El índice de Beger-Parker Mide la dominancia de la especie o taxón más abundante. Este índice adquiere valores comprendidos entre 0 y 1 (0 % y 100 %). Es indicador de los mismos impactos que el índice de Simpson, polución orgánica, degradación en la morfología y degradación general. Este índice expresa la importancia proporcional de las especies más abundantes, cuanto más se acerca a 1 significa que mayor es la dominancia y menor la diversidad (Newman, 2003).

## 4. Materiales y métodos

### 4.1. ÁREA DE ESTUDIO

En el departamento de Nariño a 25 kilómetros de la ciudad de Pasto en el corregimiento del Encano se encuentra ubicado el segundo cuerpo de agua natural más grande de Colombia, El Lago Guamuéz o Laguna de la Cocha (Figura 7) cuya ubicación geográfica se encuentra entre 1°06'00" Norte y 77°09'07" Oeste, presenta una altitud de 2800 msnm; temperatura promedio de 11°C , precipitación de 1,34 mm, con una longitud de 25 km, superficie de 41,5 km<sup>2</sup> de espejo de agua y una profundidad media de 75 metros. La laguna es alimentada por varias corrientes de agua, siendo la principal el río Encano y desagua por el río Guamuéz al río Putumayo. (Fondo de Prevención Turística de Colombia, 2013).

**Figura 7.** Lago Guamuéz, corregimiento del Encano, municipio de Pasto, departamento de Nariño.



Fuente: Lago Guamuéz o Laguna de La Cocha. Disponible en internet:  
<https://www.google.com.co/search?q=laguna+de+la+cocha&espv=2&biw=1366&bih>

El estudio de investigación se llevó a cabo en la estación acuícola productora de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en sistemas de jaulas flotantes de una de las empresas de mayor producción en el sector (Figura 8), ubicada al oriente de la Laguna de La Cocha en la vereda Mojondinoy. La empresa se conformó en el año 2006 y actualmente produce alrededor de 30 toneladas mensuales de trucha. Por motivo del otorgamiento de la concesión de agua sus instalaciones se encuentran ubicadas en dos lugares diferentes, la fase de alevinaje que consta de 24 jaulas flotantes con un volumen de 125 m<sup>3</sup> cada una; donde se mantienen alevinos con un tamaño promedio de 5 gramos hasta que alcanzan los 150 gramos de peso. A una distancia de 1,07 Kilómetros, se encuentra las instalaciones de la fase de levante y engorde con 21 jaulas de las mismas dimensiones que las de alevinaje donde se mantienen los animales desde 150 gramos hasta su peso de cosecha según el pedido del comprador que puede oscilar entre un rango promedio de 300 a 600 gramos de peso por individuo.

**Figura 8.** Empresa de Producción Intensiva de Trucha Arcoíris, corregimiento del Encano, municipio de Pasto, Nariño.



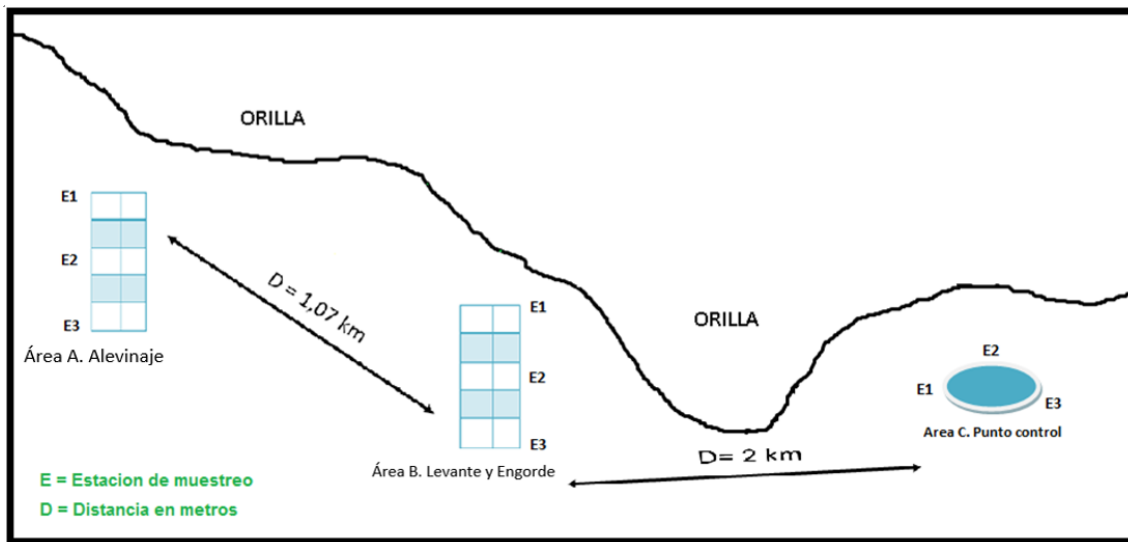
**4.1.1. Áreas y estaciones de Muestreo:** El estudio de investigación se desarrolló en tres áreas del Lago Guamuez, (Figura 9) entre los meses de agosto de 2016 a febrero de 2017; estas áreas fueron seleccionadas dependiendo de la ubicación de las jaulas como se muestra en la tabla 1. Dentro de cada área se tomó tres estaciones de

muestreo (los dos extremos y la mitad de las jaulas y tres puntos al azar en el área control que fue determinada bajo coordenadas geográficas con la ayuda de un GPS marca GARMIN), para un total de nueve estaciones de muestreo.

**Tabla 1.** Áreas de estudio en el Lago Guamuez

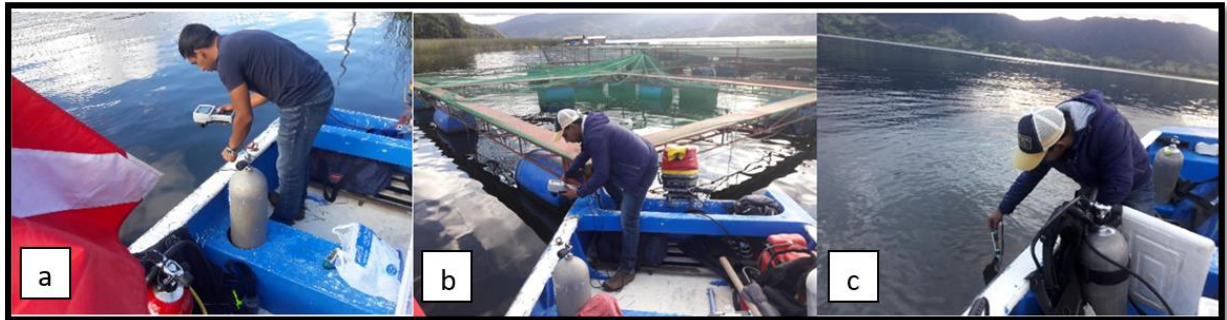
Áreas	Descripción de las Áreas
A	Jaulas de alevinaje
B	Jaulas de levante y engorde
C	Punto control

**Figura 9.** Ubicación y distancia entre Áreas de muestreo.



**4.1.2. Monitoreo de parámetros fisicoquímicos:** Para la medición de los parámetros fisicoquímicos, oxígeno disuelto, temperatura y conductividad eléctrica se utilizó una sonda multiparametros marca YSI modelo 85 y se determinó el pH mediante un pHmetro marca ALTRONIX TPA-V; los parámetros dureza y alcalinidad se determinaron por el método volumétrico y la transparencia se obtuvo empleando el disco Secchi. Estos parámetros se tomaron y analizaron en tres puntos diferentes y a tres profundidades de la columna de agua (0, 10 y 20 metros) en cada una de las nueve estaciones de muestreo (Figura 10), (Anexo A).

**Figura 10.** Monitoreo de parámetros fisicoquímicos. a) Área A, Jaulas de alevinaje. b) Área B, Jaulas de levante y engorde. c) Área C, Punto control



**4.1.3. Análisis de nutrientes:** Se tomó muestras de agua a tres profundidades diferentes en las nueve estaciones de muestreo (0, 10 y 20 metros), utilizando recipientes de dos litros para realizar las mediciones del fósforo total, nitritos, nitratos y fosfatos (Figura 11). Los análisis fueron realizados con la ayuda de un espectrofotómetro marca AUXILAB 4255/50 y fueron corroborados en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño (Figura 12) (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2012).

**Figura 11.** Toma de muestras de agua para análisis de nutrientes. a) Área A, Jaulas de alevinaje. b) Área B, Jaulas de levante y engorde. c) Área C, Punto control



**Figura 12.** Análisis de nutrientes en laboratorio

**4.1.4. Sedimentos:** se realizó inmersiones hasta el fondo cuya profundidad aproximada es de 20 metros, hasta alcanzar el sedimento bajo las tres áreas de estudio (jaulas de alevinaje, jaulas de levante y engorde y punto control); con la ayuda de un equipo de buceo profesional que consta de aletas, visor, esnórquel, cilindro de aire, chaleco hidrostático, regulador con profundímetro, manómetro, lastre, traje de neopreno, guantes y linterna (Figura 13).

**Figura 13.** Toma de muestras de sedimentos mediante inmersiones de buceo

La recolección de muestras de sedimentos para el estudio de la macrofauna bentónica, la materia orgánica total y los carbonatos se realizó de forma directa en el momento de la inmersión tomando las tres estaciones en cada área, utilizando un core manual de sección circular (10 x 35 cm). Independiente del tipo de sedimento existente, el core profundiza en éste como mínimo 10 cm (Estacio, 1996), franja de sedimento en la que se encuentra representada la mayor parte de la macrofauna (Curras, 1990). Una vez se situó el sedimento en la superficie, se depositó el material en recipientes adecuados para tal fin (Figura 14).

**Figura 14.** Muestras de sedimentos recolectadas



Una vez extraídas, cada muestra fue tamizada con mallas de 0,5 mm y conservadas en formol al 10% en recipientes plásticos para su posterior determinación taxonómica y análisis cualitativo y cuantitativo de la macrofauna bentónica bajo el estereoscopio en el laboratorio, con la ayuda de un biólogo experto en identificación (figura 15).

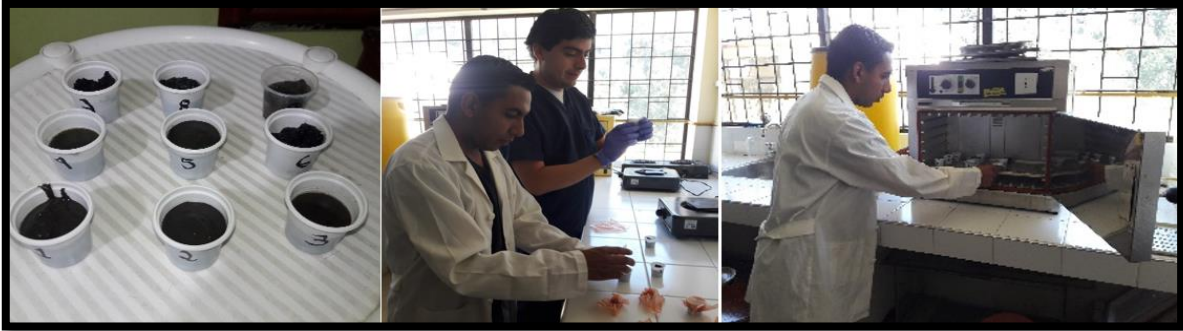
**Figura 15.** Identificación taxonómica de la macrofauna bentónica



Solo una de las réplicas de sedimento fue utilizada para determinar, la materia orgánica y los carbonatos, que fueron obtenidos por ignición y calcinación mediante el método

de Dean (1974). Estos análisis se efectuaron por triplicado para cada una de las nueve estaciones de muestreo (Figura 16).

**Figura 16.** Determinación de materia orgánica y carbonatos de los sedimentos



## 4.2. PARÁMETROS COMUNITARIOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se calculó los índices de diversidad  $H'$  de Shannon, equitabilidad  $J'$  de Pielou, el índice de Margalef para la riqueza de especies y el índice de dominancia de Berger–Parker.

**4.2.1 Cálculo de parámetros comunitarios.** Con las respectivas abundancias obtenidas para cada taxa por estación de muestreo, se conformó una matriz de datos, con la cual se realizó el análisis de variables comunitarias, determinando los siguientes índices.

**4.2.1.1 Índice de Shannon-Weaver ( $H'$ ).** Este índice fue desarrollado para medir la cantidad de información que se puede transmitir en un código (Somarriba, E. 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)). Los valores van de cero a cinco y se calcula a través de la siguiente fórmula.

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

$$P_i = \frac{n_i}{N}$$

Donde:

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

**4.2.1.2 Índice de Uniformidad o equitatividad de Pielou. (Pielou, E. C. 1975).** Este índice mide la uniformidad o equilibrio de un ecosistema, expresada como la diversidad observada respecto a la diversidad que se podría obtener en una comunidad con el mismo número de especies pero con una uniformidad máxima (Ferríol, M. & Merle, H. 2012). Oscila entre 0 y 1. Su cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

H' = Corresponde a los valores de diversidad obtenidos.

S = Número de especies recolectadas.

**4.2.1.3 Índice de riqueza de Margalef.** Permite estimar la biodiversidad de las unidades de muestreo, pero en base a la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada, este índice no considera el valor de importancia de las especies, solo se basa en el número de especies presentes. Valores inferiores a dos son considerados como zonas de baja biodiversidad y valores superiores a cinco son indicativos de alta biodiversidad (Paredes, et al., 2011) Su fórmula matemática corresponde a la siguiente:

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

Dónde:

S = número de especies.

N = número total de individuos.

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

En donde:

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

- $N_{\text{máx}}$ : 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).

**4.2.2. Análisis Estadístico:** Los datos recolectados fueron procesados para su presentación, utilizando métodos de estadística descriptiva, en tablas de frecuencia, medidas de tendencia central y de dispersión y gráficas estadísticas. En todos los casos se indica la media y el error estándar ( $\bar{Y} \pm EE$ ). Las pruebas inferenciales paramétricas se estimaron utilizando un  $\alpha = 0,05$ .

Dado que se aplicaron pruebas estadísticas paramétricas, es necesario que los datos cumplan con los supuestos estadísticos de Normalidad, mediante las pruebas de Chi-cuadrado, Shapiro-Wilk y Z para sesgo, de las cuales, por lo menos una debe verificar la hipótesis de que las muestras provienen de una población con distribución normal; el supuesto de Homogeneidad de varianzas (Homocedasticidad), mediante la prueba de Bartlett, asume una hipótesis, según la cual muestras provenientes de una misma población deben tener varianzas iguales; el supuesto de Independencia, a través de la prueba de Durbin-Watson consiste en detectar la autocorrelación serial de los residuos en un modelo lineal (Nirmalraj and Malliga, 2003; Correa et al., 2006; Arriaza, 2006). El cumplimiento de estos supuestos otorga confiabilidad a las pruebas, de lo contrario no sería posible formular conclusiones inferenciales.

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

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

## 5. Resultados

El lago Guamuez o laguna de la cocha fue catalogada dentro de los humedales RAMSAR de importancia a nivel mundial, pero pocos han sido los estudios de impacto ambiental que causan los cultivos de trucha arcoíris a los componentes agua y sedimento en el lugar donde se ubican. Por lo cual con este estudio se realizó la comparación de dos instalaciones de jaulas de cultivo con un área donde no se presenta intervención acuícola o de otra actividad antrópica obteniendo resultados importantes que contribuyen al análisis del estado ambiental en uno de los sectores de mayor producción acuícola en el departamento de Nariño.

### 5.1 Parámetros fisicoquímicos

Para el análisis de parámetros fisicoquímicos, se procedió a estimar el promedio para cada variable tomando como base los 81 datos tomados in situ en las tres áreas de muestreo (área 1: Jaulas de alevinaje, área 2: jaulas de levante y engorde y área 3: punto control) (Anexo A). En la Tabla 2 se registran los valores promedio de los parámetros físico-químicos con sus respectivos errores estándar y coeficiente de variación, evaluados por áreas y profundidades de muestreo (Anexo B).

**Tabla 2.** Valores promedio de los parámetros físico-químicos Oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica, pH, dureza y alcalinidad, evaluados por áreas y profundidades de muestreo.

Parámetro	Profundidad	Área 1 (Jaulas de alevinaje)	Coeficiente de variación	Área 2 (Jaulas de levante y engorde)	Coeficiente de variación	Área 3 (Punto control)	Coeficiente de variación
OD (mg/L)	0 metros	9,54±0,176 <sup>a</sup>	5,52	9,82±0,064 <sup>a</sup>	1,95	10,17±0,028 <sup>a</sup>	0,83
	10 metros	8,74±0,053 <sup>b</sup>	1,82	8,73±0,003 <sup>b</sup>	0,10	9,79±0,043 <sup>a</sup>	1,32
	20 metros	5,79±0,510 <sup>c</sup>	2,64	5,88±0,037 <sup>c</sup>	1,87	7,62±0,045 <sup>b</sup>	1,76
T° (°C)	0 metros	17,08±0,023 <sup>a</sup>	0,40	17,28±0,105 <sup>a</sup>	1,82	17,13±0,007 <sup>a</sup>	0,13
	10 metros	16,38±0,025 <sup>b</sup>	0,45	16,78±0,046 <sup>b</sup>	0,82	16,33±0,006 <sup>b</sup>	0,11
	20 metros	15,41±0,033 <sup>c</sup>	0,63	15,63±0,058 <sup>c</sup>	1,11	15,20±0,023 <sup>c</sup>	0,45
CE (μS/cm)	0 metros	81,28±1,136 <sup>a</sup>	4,19	68,27±0,042 <sup>a</sup>	0,18	68,26±0,042 <sup>a</sup>	0,18
	10 metros	90,21±0,002 <sup>b</sup>	0,01	72,31±0,032 <sup>b</sup>	0,13	74,54±0,036 <sup>b</sup>	0,14
	20 metros	68,27±0,042 <sup>c</sup>	0,18	126,03±0,002 <sup>c</sup>	0,00	80,83±0,027 <sup>c</sup>	0,10

pH	0 metros	8,38±0,004 <sup>a</sup>	0,16	8,39±0,006 <sup>a</sup>	0,20	8,59±0,004 <sup>a</sup>	0,13
	10 metros	8,13±0,006 <sup>b</sup>	0,23	8,11±0,006 <sup>b</sup>	0,23	8,45±0,010 <sup>b</sup>	0,36
	20 metros	7,99±0,003 <sup>c</sup>	0,10	7,90±0,035 <sup>c</sup>	1,32	8,30±0,013 <sup>c</sup>	0,46
Dureza	0 metros	21,99±0,176 <sup>a</sup>	2,39	21,00±0,064 <sup>a</sup>	0,91	25,00±0,026 <sup>a</sup>	0,32
	10 metros	21,02±0,053 <sup>b</sup>	0,76	20,00±0,003 <sup>b</sup>	0,04	24,00±0,043 <sup>b</sup>	0,54
	20 metros	21,01±0,051 <sup>b</sup>	0,73	20,00±0,037 <sup>b</sup>	0,55	24,00±0,045 <sup>b</sup>	0,56
Alcalinidad	0 metros	17,02±0,023 <sup>a</sup>	0,40	17,60±0,105 <sup>a</sup>	1,78	15,62±0,007 <sup>a</sup>	0,14
	10 metros	17,07±0,025 <sup>a</sup>	0,43	18,01±0,046 <sup>b</sup>	0,77	15,63±0,006 <sup>a</sup>	0,12
	20 metros	17,07±0,033 <sup>a</sup>	0,57	18,00±0,058 <sup>b</sup>	0,96	15,80±0,023 <sup>a</sup>	0,43
Transparencia	metros	3,42±0,041 <sup>A</sup>	3,56	3,11±0,003 <sup>B</sup>	0,31	4,84±0,041 <sup>C</sup>	2,57

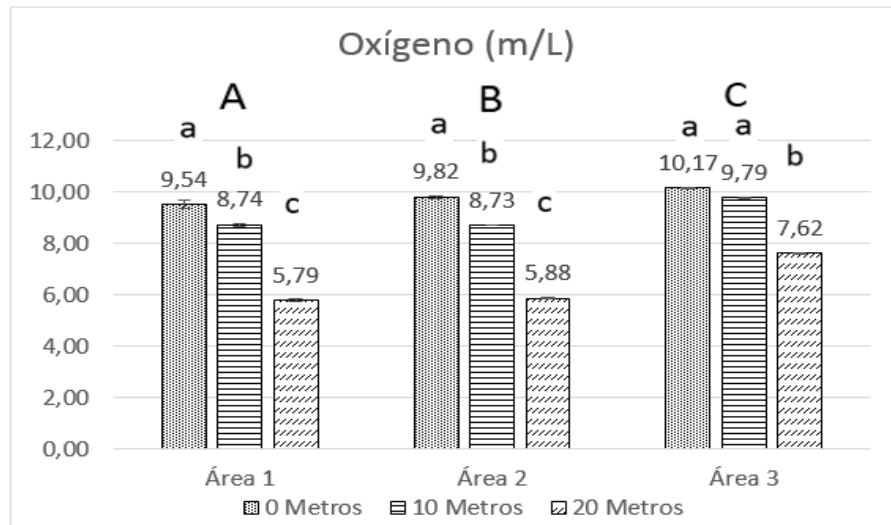
a,b,c: Diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ )

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

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas de muestreo, al igual que en las diferentes profundidades ( $p < 0,05$ ). La prueba de comparación múltiple de Tukey permite establecer diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las tres áreas siendo el menor valor de concentración de oxígeno disuelto en el área 1 a una profundidad de 20 metros, con una media de  $8,03 \pm 0,030$  mg/L, seguido del área 2 con  $8,14 \pm 0,030$  y la mayor concentración corresponde al área 3 con un valor de  $9,19 \pm 0,030$  mg/L en la superficie (0 metros) (Anexo C).

Dichos resultados demuestran que el oxígeno disuelto disminuye a medida que aumenta la profundidad en la columna de agua y se hace evidente que los mayores valores se obtuvieron en el área 3 correspondiente al punto control, a diferencia de las áreas 1 y 2 que pertenecen a las jaulas de cultivo, las cuales también presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre ellas (Figura 17).

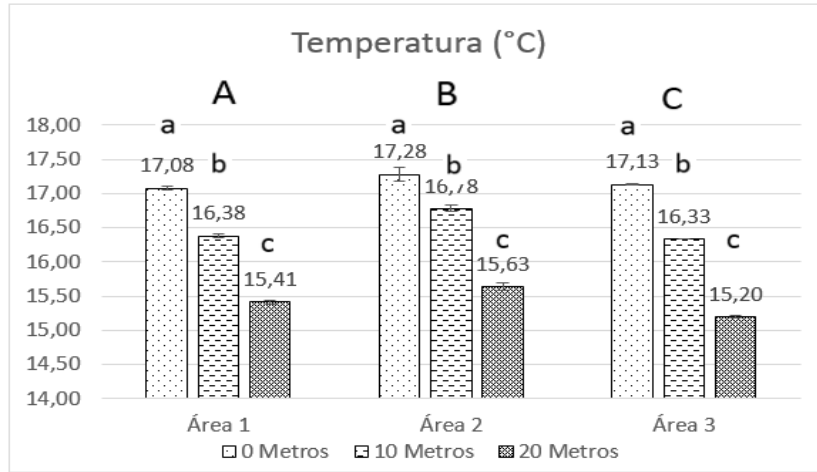
**Figura 17.** Valores promedio de oxígeno disuelto (mg/L) de las áreas y profundidades de monitoreo.



**5.1.2 Temperatura (°C).** La temperatura al igual que el oxígeno, disminuye a medida que aumenta la profundidad, los valores entre las tres áreas de muestreo fueron similares, obteniendo un valor en el área 2 de  $17,28 \pm 0,105$  °C en la superficie (0 metros),  $16,78 \pm 0,046$  °C a 10 metros de profundidad y  $15,63 \pm 0,058$  °C en el fondo (20 metros) (Figura 18).

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el área 2 con respecto a las áreas 1 y 3, las cuales no presentan diferencias significativas entre ellas. La prueba de comparación múltiple de Tukey permite establecer diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el área 2 siendo el mayor valor de temperatura, con una media de  $16,56 \pm 0,032$  mg/L en la superficie (0 metros), seguido del área 1 con  $16,28 \pm 0,032$  y el menor valor corresponde al área 3 con una media de  $16,22 \pm 0,032$  mg/L) a 20 metros de profundidad (Anexo D).

**Figura 18.** Valores promedio de temperatura (°C) en las áreas y profundidades de muestreo.



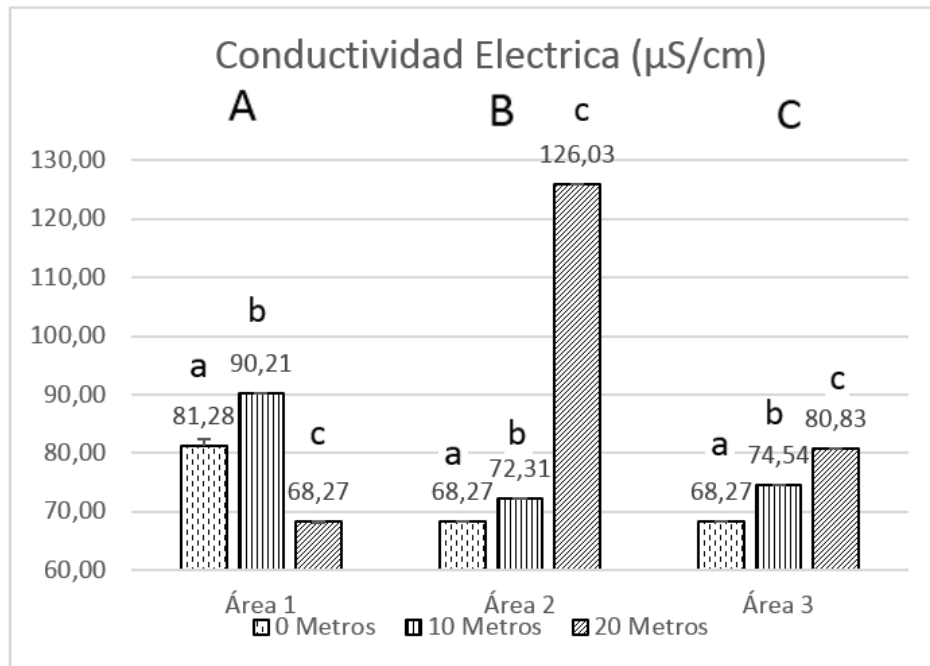
**5.1.3 Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).** Para el área 1, se presentan valores de  $81,28 \pm 1,136 \mu\text{S}/\text{cm}$ ;  $90,21 \pm 0,002 \mu\text{S}/\text{cm}$  y  $68,27 \pm 0,042 \mu\text{S}/\text{cm}$ , a 0, 10 y 20 metros respectivamente; el área 2, presento valores de  $68,27 \pm 0,042 \mu\text{S}/\text{cm}$  a los 0 metros,  $72,31 \pm 0,032 \mu\text{S}/\text{cm}$  a los 10 metros y  $126,03 \pm 0,002 \mu\text{S}/\text{cm}$  a los 20 metros de profundidad; finalmente para el área 3 los valores fueron  $68,27 \pm 0,042 \mu\text{S}/\text{cm}$  para 0 metros,  $74,54 \pm 0,036 \mu\text{S}/\text{cm}$  para 10 metros y  $80,83 \pm 0,027 \mu\text{S}/\text{cm}$  a 20 metros de profundidad (Figura 19).

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas de muestreo, al igual que entre las diferentes profundidades ( $p < 0,05$ ). La prueba de comparación múltiple de Tukey permite establecer diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las tres áreas, presentando el menor valor de conductividad eléctrica en el área 3 a una profundidad de 0 metros, con una media de  $74,55 \pm 0,149 \text{ mg}/\text{L}$ , seguido del área 1 con  $87,08 \pm 0,149$  y el mayor valor corresponde al área 2 con una media de  $106,85 \pm 0,149 \text{ mg}/\text{L}$  en el fondo a 20 metros de profundidad (Anexo E).

A diferencia de la temperatura y el oxígeno, la conductividad eléctrica es directamente proporcional a la profundidad; a medida que la profundidad de la columna de agua aumenta, también aumentan los valores de CE. Estos resultados demuestran que la conductividad es mayor en el área 2 donde se presentan las jaulas de cultivo

correspondientes a levante y engorde, seguido del área 1 donde se realiza el cultivo de alevinos y finalmente el área 3 que presento los menores valores de conductividad correspondientes al punto control.

**Figura 19.** Valores promedio de conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en las áreas y profundidades de muestreo.



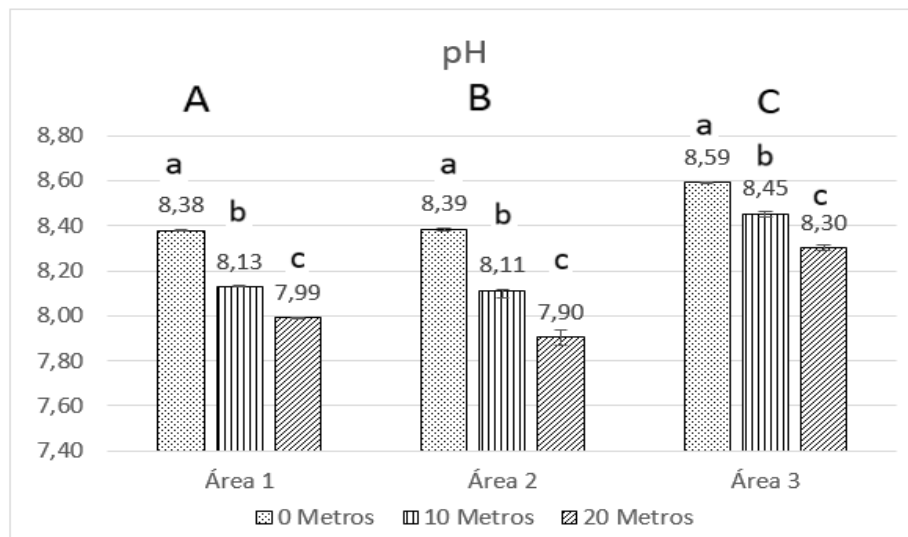
**5.1.4 pH.** Los valores de pH presentan una tendencia básica y similar entre las tres áreas y profundidades de muestreo; a medida que aumenta la profundidad, el pH tiende a disminuir. Los valores a cero metros de profundidad fluctúan entre  $8,38 \pm 0,004$  en el área 1;  $8,39 \pm 0,006$  en el área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

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas de muestreo, al igual que las diferentes profundidades ( $p < 0,05$ ). La prueba de comparación múltiple de Tukey permite establecer diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las tres áreas siendo el menor valor de pH en el área 2 a una profundidad de 20 metros, con una media

de  $8,13 \pm 0,006$  mg/L, seguido del área 1 con  $8,17 \pm 0,006$  y el mayor valor corresponde al área 3 con una media de  $8,45 \pm 0,006$  mg/L en la superficie (0 metros) (Anexo F).

Los resultados demuestran que el pH tiende acidificarse a medida que aumenta la profundidad y se presenta mayor contacto con los sedimentos, de igual forma los valores tendientes a la mayor basicidad corresponden al punto control donde no hay intervención de cultivos acuícolas (Figura 20).

**Figura 20.** Valores promedio de pH en las áreas y profundidades de muestreo

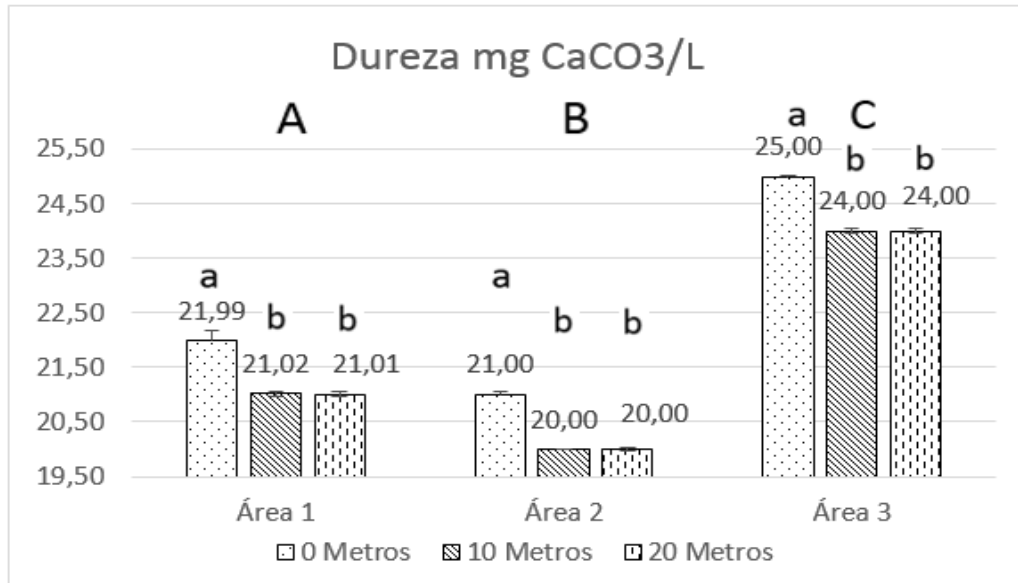


**5.1.5 Dureza (mgCaCO<sub>3</sub>/L).** En el área 3, se obtuvieron valores de  $25,00 \pm 0,026$ ;  $24,00 \pm 0,043$  y  $24,00 \pm 0,045$  mg CaCO<sub>3</sub>/L, para los 0, 10 y 20 metros respectivamente. Para el área 2 se presentaron valores de  $21,00 \pm 0,064$  para 0 metros, y  $20,00 \pm 0,030$  para 10 y 20 metros de profundidad de la columna de agua. Para el área 1 se presentó un valor de  $21,99 \pm 0,018$  mg CaCO<sub>3</sub>/L a 0 metros,  $21,02 \pm 0,053$  a 10 metros y  $21,01 \pm 0,051$  a 20 metros (Figura 21).

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas de muestreo, al igual que las diferentes profundidades ( $p < 0,05$ ). La prueba de comparación múltiple de Tukey permite establecer diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las tres áreas siendo el menor valor de dureza en el área 2 en las profundidades de 10 a 20 metros, con una media de  $20,33 \pm 0,002$  mg/L, seguido del área 1 con  $21,34 \pm 0,002$  y el mayor valor corresponde al área 3 con una media de  $24,33 \pm 0,002$  mg/L en la superficie (0 metros). Los

resultados demuestran que hay menor presencia de carbonato de calcio en las áreas 1 y 2 (jaulas de alevinaje y levante) influenciadas por los cultivos de trucha arcoíris y su valor es mayor en la superficie a diferencia de los 0 y 10 metros cuyo valor es menor y no presentan diferencias significativas ( $p>0,05$ ) entre estas dos profundidades (Anexo G).

**Figura 21.** Valores promedio de dureza (mg CaCO<sub>3</sub>/L) en las áreas y profundidades de muestreo.

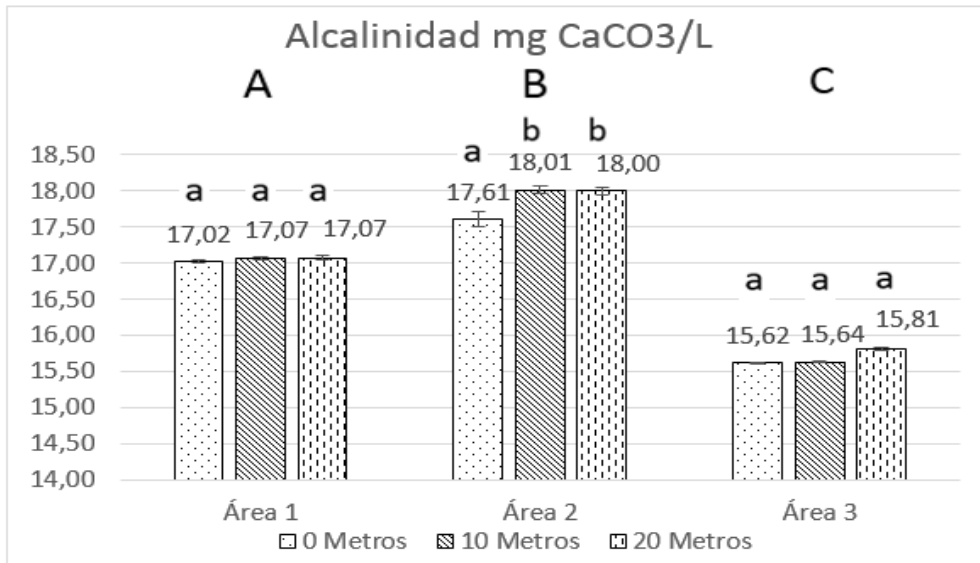


**5.1.6 Alcalinidad (mgCaCO<sub>3</sub>/L).** La alcalinidad, en el área 3 presento valores de  $15,62\pm 0,007$  a 0 metros,  $15,63\pm 0,006$  a 10 metros y  $15,80\pm 0,023$  mgCaCO<sub>3</sub>/L a 20 metros de profundidad. En el área dos se obtuvieron valores de  $18,00\pm 0,058$  para 10 y 20 metros y  $17,60\pm 0,105$  mgCaCO<sub>3</sub>/L para 0 metros de profundidad. En el área 1 se presentan valores de  $17,02\pm 0,023$ ,  $17,07\pm 0,025$  y  $17,07\pm 0,033$  mgCaCO<sub>3</sub>/L para 0,10 y 20 metros.

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $p<0,05$ ) entre las áreas de muestreo, al igual que las diferentes profundidades ( $p<0,05$ ). La prueba de comparación múltiple de Tukey permite establecer diferencias significativas ( $p<0,05$ ) entre las tres áreas siendo el menor valor de alcalinidad en el área 3, encontrándose una media de  $15,689\pm 0,0094$  mg/L, en las tres profundidades y el área 1 con  $17,04\pm 0,009$  m/L y área 2 con una media de  $17,87\pm 0,009$  mg/L (Anexo H).

Con dichos resultados se demuestra que existe una mayor presencia de bicarbonatos y otras sales minerales en el área 2 (jaulas de levante y engorde) donde se produce a mayor densidad y biomasa de cultivo.

**Figura 22.** Valores promedio de alcalinidad (mg CaCO<sub>3</sub>/L) en las áreas y profundidades de muestreo.

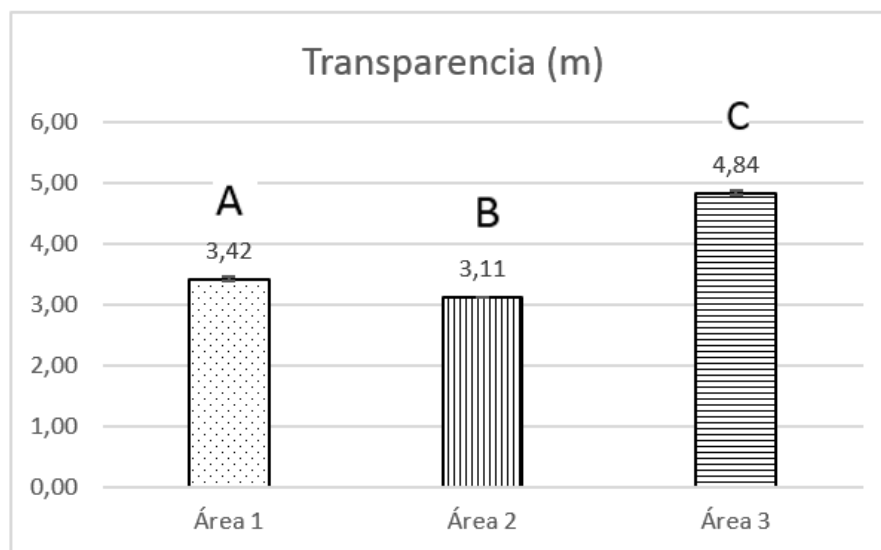


**5.1.7 Transparencia (Metros).** La transparencia presentó un valor en el área 3 (punto control) de  $4,84 \pm 0,041$  metros;  $3,42 \pm 0,041$  metros para el área 1 (jaulas de alevinaje) y para el área 2 (jaulas de engorde) se presentó un valor de  $3,11 \pm 0,003$  metros (Figura 23); lo que demuestra que algunos factores químicos, físicos y biológicos como la utilización de piensos, medicamentos y otros factores como las heces de los peces dentro de los cultivos disminuyen la transparencia de la columna de agua. .

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las tres áreas de muestreo. La prueba de comparación múltiple de Tukey permite establecer diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas, siendo el menor valor de transparencia en el área 2, con una media de  $3,11 \pm 0,033\%$ , seguido del área 1 con una media de  $3,42 \pm 0,036\%$  y el mayor valor corresponde al área 3 con  $4,84 \pm 0,033\%$ . Dichos resultados demuestran que la transparencia en la columna de agua es mayor en el área 3 (punto

control), donde no hay intervención de cultivos acuícolas y menor en el área 2 donde se realizan los procesos de cultivo para el levante y engorde de los animales (Anexo I).

**Figura 23.** Valores promedio de transparencia en las áreas y profundidades de muestreo



## 5.2 Análisis de nutrientes

Para el análisis de nutrientes, se promedió el valor para cada variable con 27 datos tomados in situ en las tres áreas de muestreo (área 1: Jaulas de alevinaje, área 2: jaulas de levante y engorde y área 3: punto control) (Anexo J). En la Tabla 3 se registran los valores promedio de los nutrientes con sus respectivos errores estándar y coeficiente de variación, evaluados por áreas y profundidades de muestreo (Anexo K).

**Tabla 3.** Valores promedio de nutrientes evaluados por áreas y profundidades de muestreo.

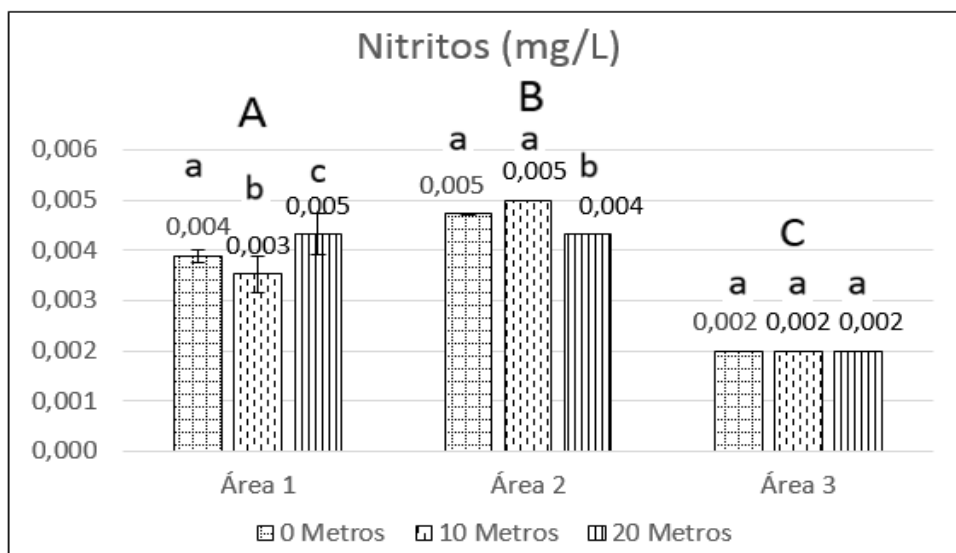
Parámetro	Profundidad (metros)	Área 1 (Jaulas de alevinaje)	Coefficiente de Variación	Área 2 (Jaulas de levante y engorde)	Coefficiente de Variación	Área 3 (Punto control)	Coefficiente de Variación
<b>Nitritos (NO<sub>2</sub>-)</b>	0	0,004±0,0001 <sup>a</sup>	0,00	0,005±0,0000 <sup>a</sup>	0,00	0,002±0,0000 <sup>a</sup>	0,00
	10	0,003±0,0004 <sup>b</sup>	0,00	0,005±0,0000 <sup>a</sup>	0,00	0,002±0,0000 <sup>a</sup>	0,00
	20	0,005±0,0004 <sup>c</sup>	0,00	0,004±0,0000 <sup>b</sup>	0,00	0,002±0,0000 <sup>a</sup>	0,00
<b>Nitratos (NO<sub>3</sub>-)</b>	0	0,13±0,0000 <sup>a</sup>	0,00	0,18±0,0000 <sup>a</sup>	0,00	0,100±0,0000 <sup>a</sup>	0,00
	10	0,13±0,0000 <sup>a</sup>	0,00	0,18±0,0000 <sup>a</sup>	0,00	0,100±0,0000 <sup>a</sup>	0,00
	20	0,13±0,0000 <sup>a</sup>	0,00	0,18±0,0000 <sup>a</sup>	0,00	0,100±0,0000 <sup>a</sup>	0,00
<b>Fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>3</sup>)</b>	0	0,03±0,0000 <sup>a</sup>	0,00	0,039±0,0000 <sup>a</sup>	0,00	0,020±0,0000 <sup>a</sup>	0,00
	10	0,03±0,0000 <sup>a</sup>	0,00	0,039±0,0000 <sup>a</sup>	0,00	0,020±0,0000 <sup>a</sup>	0,00
	20	0,03±0,0000 <sup>a</sup>	0,00	0,039±0,0000 <sup>a</sup>	0,00	0,020±0,0000 <sup>a</sup>	0,00
<b>Fósforo total</b>	0	0,02±0,0000 <sup>a</sup>	0,00	0,031±0,0000 <sup>a</sup>	0,00	0,015±0,0000 <sup>a</sup>	0,00
	10	0,02±0,0000 <sup>a</sup>	0,00	0,031±0,0000 <sup>a</sup>	0,00	0,015±0,0000 <sup>a</sup>	0,00
	20	0,02±0,0000 <sup>a</sup>	0,00	0,031±0,0000 <sup>a</sup>	0,00	0,015±0,0000 <sup>a</sup>	0,00

a,b,c: Diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ )

**5.2.1. Nitritos (NO<sub>2</sub>-).** Para los nitritos se obtuvo un valor de 0,004±0,0000 mg/L en el área 2, a una profundidad de 20 metros y 0,005±0,0000 para los 0 y 10 metros, el área 1 con 0,003±0,0004 mg/L a 10 metros de profundidad, 0,004±0,0001 y 0,005±0,0004 para los 0 y 20 metros respectivamente y el área 3 o punto control con 0,002±0,0000 mg/L para las tres profundidades (Figura 24).

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas de muestreo, al igual que las diferentes profundidades ( $p < 0,05$ ). La prueba de comparación múltiple de Tukey permite establecer diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las tres áreas siendo menor el contenido de nitritos detectado en el área 3 en sus tres profundidades con una media de 0,0019±0,00005 mg/L y mayor el correspondiente al área 2 en las profundidades de 0 y 10 metros con 0,0048±0,00005 mg/L. Estos resultados demuestran que no existe un riesgo potencial tanto para la calidad del agua como para la salud de los peces, sin embargo se observa un pequeño aumento en las áreas 1 y 2 donde se encuentran localizados los cultivos acuícolas. (Anexo L).

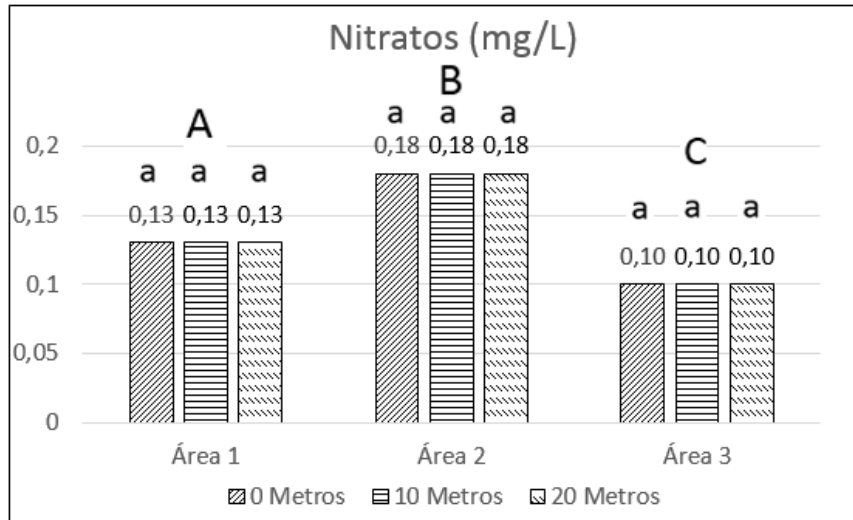
**Figura 24.** Valores promedio de nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) en mg/L de las áreas y profundidades de monitoreo.



**5.2.2 Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ).** Los valores de nitratos presentaron un comportamiento semejante al de los nitritos tanto en las áreas como las profundidades de muestreo; para el área 2 se obtuvieron valores de  $0,18 \pm 0,000$  mg/L para las tres profundidades; seguidos del área 1 con  $0,13 \pm 0,000$  mg/L y el área 3 o punto control con  $0,10 \pm 0,000$  mg/L para los 0, 10 y 20 metros (Figura 25).

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas de muestreo ( $p < 0,05$ ). La prueba de comparación múltiple de Tukey permite establecer diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las tres áreas siendo menor el contenido de nitratos detectado en el área 3 en sus tres profundidades con una media de  $0,099 \pm 0,0003$  mg/L, seguido del área 1 con una media de  $0,129 \pm 0,0003$  mg/L y el valor mayor correspondiente al área 2 en las tres profundidades con  $0,180 \pm 0,0003$  mg/L. Estos resultados demuestran que no existe un riesgo potencial tanto para la calidad del agua como para la salud de los peces con respecto a la concentración de nitratos, sin embargo se observa un pequeño aumento en las áreas 1 y 2 donde se encuentran localizados las jaulas de cultivo (Anexo M).

**Figura 25.** Valores promedio de nitratos ( $\text{NO}_2^-$ ) en mg/L de las áreas y profundidades de monitoreo.

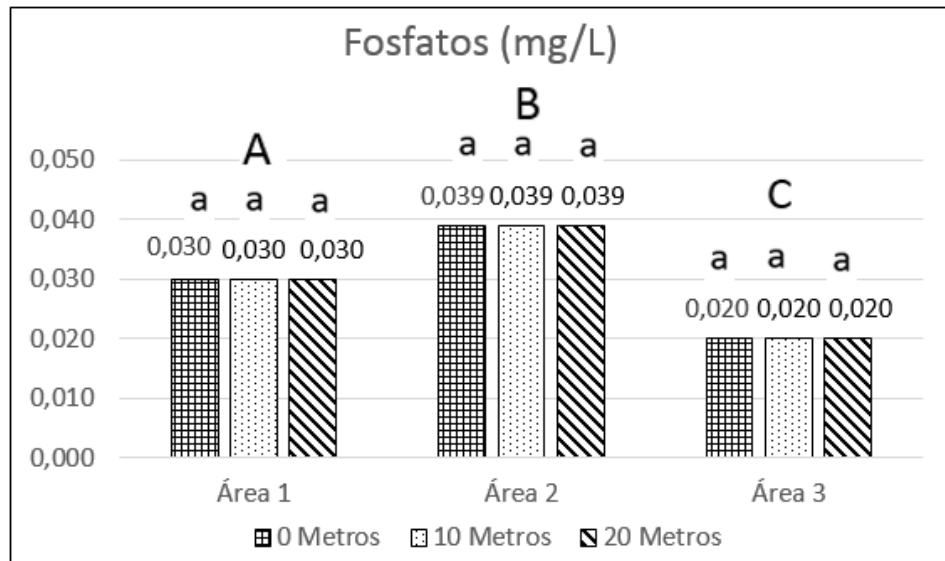


**5.2.3 Fosfatos ( $\text{PO}_{43^-}$ ).** Los fosfatos presentaron valores en el área 2 con  $0,039 \pm 0,0000$  mg/L en las tres profundidades; el área 1 con  $0,030 \pm 0,0000$  mg/L y el área 3 con  $0,020 \pm 0,0000$  mg/L para los 0, 10 y 20 metros de profundidad (Figura 26).

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas de muestreo ( $p < 0,05$ ). La prueba de comparación múltiple de Tukey permite establecer diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las tres áreas siendo menor el contenido de fosfatos detectado en el área 3 en sus tres profundidades con una media de  $0,020 \pm 0,0003$  mg/L, seguido del área 1 con una media de  $0,029 \pm 0,0003$  mg/L y el valor mayor correspondiente al área 2 en las tres profundidades con  $0,038 \pm 0,0003$  mg/L (Anexo N)

Estos resultados demuestran que los fosfatos se incrementan en las jaulas de cultivo, especialmente en el área 2, (jaulas de levante y engorde), donde se suministra la mayor cantidad de alimento comercial.

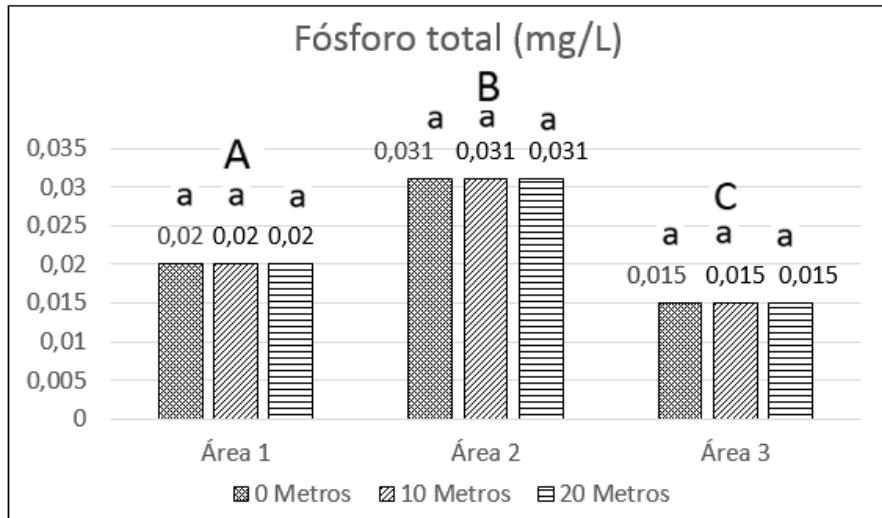
**Figura 26.** Valores promedio de fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) en mg/L de las áreas y profundidades de monitoreo.



**5.2.4 Fósforo total.** El fósforo total presenta el mismo comportamiento al de los fosfatos, obteniendo valores en el área 2 de  $0,031 \pm 0,0000$  mg/L para sus tres profundidades; el área 1 con  $0,020 \pm 0,0000$  mg/L para los 0, 10 y 20 metros y el área 3 con  $0,015 \pm 0,0000$  mg/L (Figura 27).

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas de muestreo ( $p < 0,05$ ). La prueba de comparación múltiple de Tukey permite establecer diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las tres áreas siendo menor el contenido de fósforo total detectado en el área 3 en sus tres profundidades con una media de  $0,015 \pm 0,0004$  mg/L, seguido del área 1 con una media de  $0,0195 \pm 0,00049$  mg/L y el valor mayor correspondiente al área 2 en las tres profundidades con  $0,0305 \pm 0,00049$  mg/L (Anexo O).

Al igual que los fosfatos, a pesar de que se nota un leve aumento en las áreas de cultivo, especialmente en el área de levante y engorde, estos datos corresponden a valores de que no afectan significativamente a la calidad del agua del lago

**Figura 27.** Valores promedio de fósforo total ( $PO_4^{3-}$ ) en mg/L de las áreas y profundidades de monitoreo

### 5.3 Análisis de sedimentos

Para el análisis de materia orgánica y carbonatos, se promedió el valor para cada variable con los 27 datos tomados in situ en las tres áreas de muestreo (área 1: Jaulas de alevinaje, área 2: jaulas de levante y engorde y área 3: punto control) (Anexo P). En la Tabla 4 se registran los valores promedio de los carbonatos y la materia orgánica con sus respectivos errores estándar. Estos análisis fueron evaluados en las tres estaciones de cada una de las áreas de muestreo (Anexo Q).

**Tabla 4.** Valores promedio de carbonatos y materia orgánica de los sedimentos evaluados por estaciones y áreas de muestreo.

Parámetro	Est	Área 1 (jaulas alevinaje)	Prom	Coef vari área 1	Área 2 (jaulas levante)	Prom	Coef Vari área 2	Área 3 (punto control)	Prom	Coef vari área 2
Carbonatos ( $CO_3^{2-}$ )	E1	4,51±0,03 <sup>a</sup>			9,52±0,02 <sup>a</sup>			3,81±0,03 <sup>a</sup>		
	E2	4,06±0,03 <sup>a</sup>	4,46	7,43	8,32±0,04 <sup>b</sup>	8,61	8,13	3,71±0,04 <sup>a</sup>	3,60	6,56
	E3	4,82±0,03 <sup>a</sup>			7,98±0,02 <sup>c</sup>			3,30±0,03 <sup>a</sup>		
Materia Orgánica (%)	E1	28,17±0,05 <sup>a</sup>			83,71±0,05 <sup>a</sup>			27,18±0,07 <sup>a</sup>		
	E2	31,68±0,03 <sup>a</sup>	31,06	7,37	82,48±0,10 <sup>b</sup>	69,2	30,08	23,88±0,04 <sup>a</sup>	23,12	16,81
	E3	33,35±0,03 <sup>a</sup>			41,47±0,02 <sup>c</sup>			18,30±0,02 <sup>a</sup>		

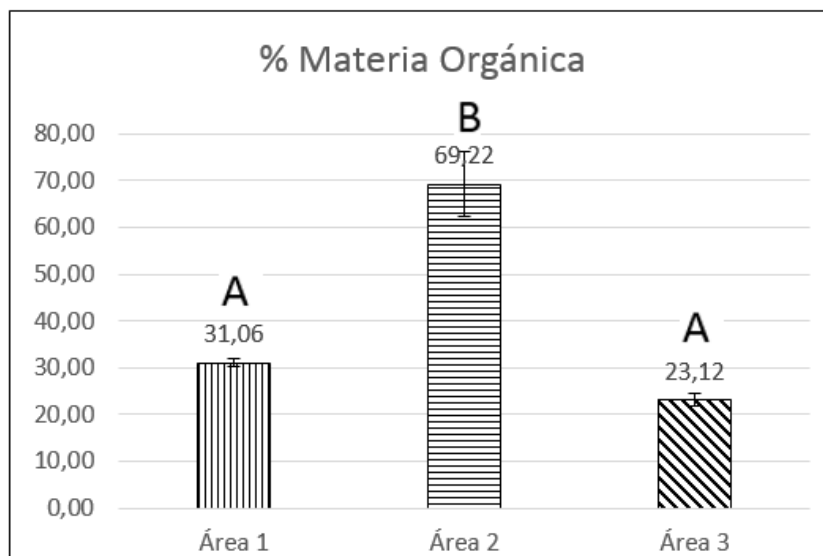
a,b,c: Diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ )

**5.3.1 Materia Orgánica.** Para el área 2 (jaulas de levante y engorde) se obtuvieron valores de materia orgánica de  $83,71 \pm 0,05\%$  para E1,  $82,48 \pm 0,10\%$  para E2 y  $41,47 \pm 0,02\%$  para E3 para un promedio de  $69,22\%$ . El área 1 (jaulas de alevinaje) presentó los valores intermedios, con  $28,17 \pm 0,05\%$  para E1,  $31,68 \pm 0,03\%$  para E2 y  $33,35 \pm 0,03\%$  para E3 con un promedio entre las tres estaciones de monitoreo de  $31,6\%$  y el área 3 (punto control), se presentaron valores de  $27,18 \pm 0,07\%$  para E1,  $23,88 \pm 0,04\%$  para E2 y  $18,30 \pm 0,02\%$  para E3 con un promedio de  $23,12\%$  (Figura 28).

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el área 2 con respecto a las áreas 1 y 3, las cuales no presentan diferencias significativas entre ellas. La prueba de comparación múltiple de Tukey permite establecer diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el área 2 siendo el mayor valor de materia orgánica, con una media de  $69,21 \pm 8,199\%$ , seguido del área 1 con una media de  $31,06 \pm 8,199\%$  y el menor valor corresponde al área 3 con  $23,12 \pm 8,199\%$  (Anexo R).

Estos valores demuestran que la mayor cantidad de materia orgánica se presenta en las áreas de cultivo, especialmente en el área 2 correspondiente a las jaulas de levante y engorde de trucha.

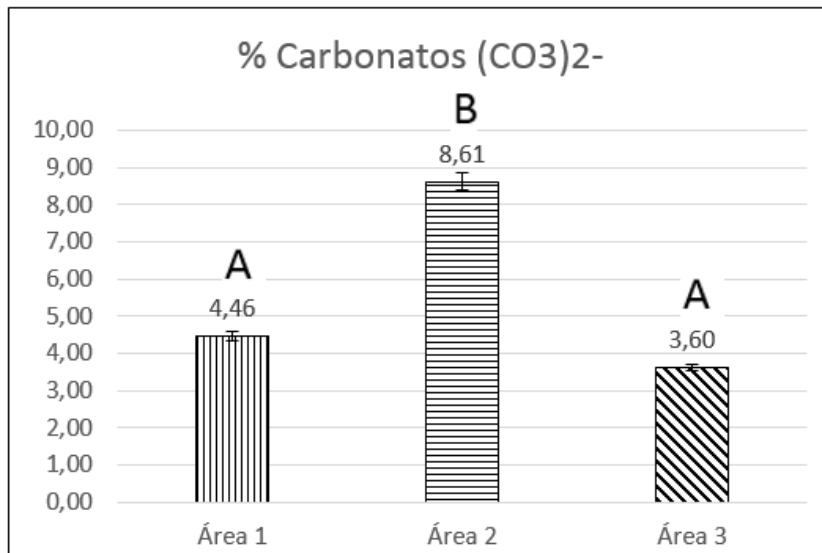
**Figura 28.** Valores promedio del porcentaje (%) de materia orgánica de los sedimentos en las áreas de muestreo.



**5.3.2 Carbonatos.** Los carbonatos de los sedimentos presentaron valores en el área 2 (jaulas de levante y engorde) de  $9,52\pm 0,02\%$ ,  $8,32\pm 0,04\%$  y  $7,98\pm 0,02\%$  para las estaciones E1, E2 y E3 respectivamente, con un promedio de  $8,61\%$ . Para el área 1 (jaulas de alevinaje) se obtuvieron porcentajes de  $4,51\pm 0,03\%$  para E1,  $4,06\pm 0,03\%$  para E2 y  $4,82\pm 0,03\%$  para E3 con un promedio de carbonatos de  $4,46\%$  y los valores en el área 3 (punto control) fueron  $3,81\pm 0,03\%$ ,  $3,71\pm 0,04\%$  y  $3,30\pm 0,03\%$  para las estaciones E1, E2 y E3 respectivamente para un promedio de  $3,60\%$  para esta área (Figura 29).

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el área 2 con respecto a las áreas 1 y 3, las cuales no presentan diferencias significativas entre ellas. La prueba de comparación múltiple de Tukey permite establecer diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el área 2 siendo el mayor valor de carbonatos, con una media de  $8,60\pm 0,311\%$ , seguido del área 1 con una media de  $4,46\pm 0,311\%$  y el menor valor corresponde al área 3 con  $3,60\pm 0,311\%$  (Anexo S).

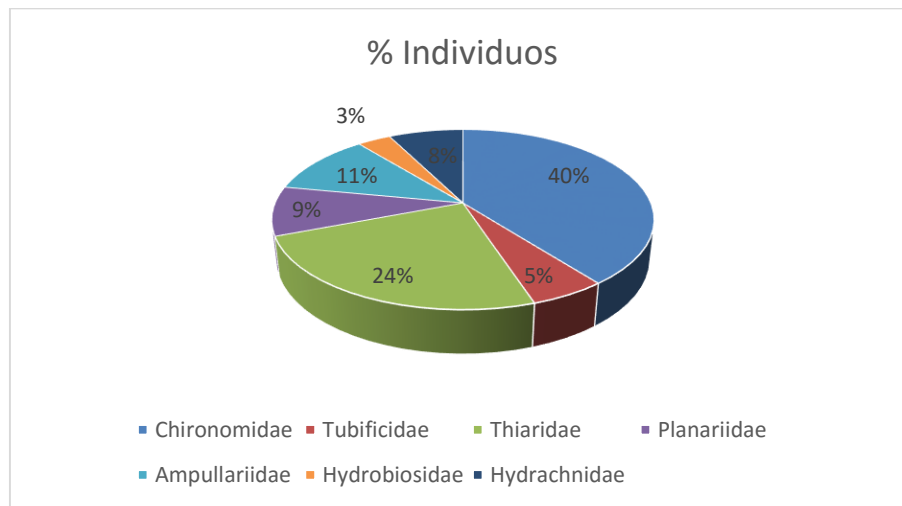
**Figura 29.** Valores promedio del porcentaje (%) de carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) de los sedimentos en las áreas de muestreo.



**5.3.3 Macrofauna bentónica.** Durante el período de estudio se recolectó un total de siete (7) familias de macroinvertebrados entre las tres áreas de muestreo (Tabla 9) para un total de 532 individuos de los cuales el 40% corresponde a la familia *Chironomidae*, 24% para la

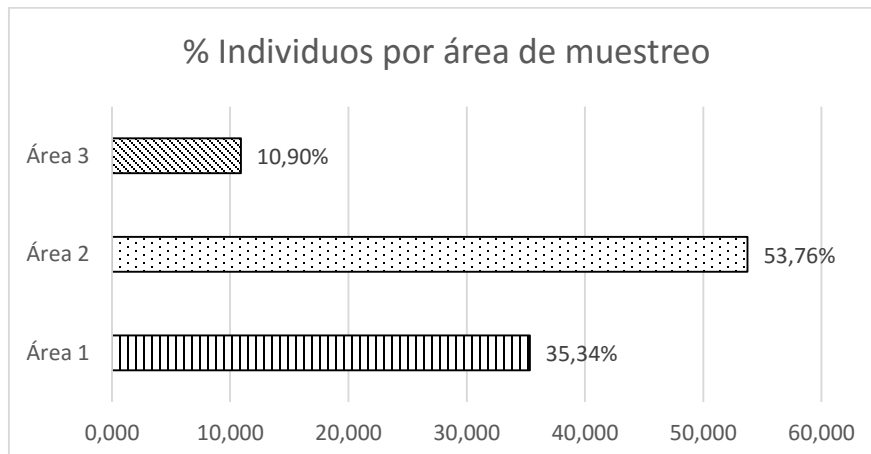
familia *Thiaridae*, 11% para *Ampullariidae*, 9% para *Planaridae*, 8% para *Hydrachnidae*, 5% para *Tubificidae* y finalmente un 3% para la familia *hydrobiosidae* (Figura 30). Según Roldan y Figueroa, las familias *Chironomidae*, *Thiaridae*, *Ampullariidae*, *Planaridae* y *Tubificidae*, son indicadoras de aguas contaminadas o medianamente contaminadas, mientras que las familias *Hydrachnidae* y *hydrobiosidae* son indicadoras de buena calidad de agua (Anexo T).

**Figura 30.** Porcentaje de individuos encontrados en las áreas de muestreo del Lago Guamuez.



En relación al número de individuos encontrados por área se tiene que de los 532, 188 fueron capturados en el área 1 (jaulas de alevinaje), para un 35,34%, 286 individuos en el área 2 con un 53,76% y 58 individuos para el área 3 equivalente 10,90% (Figura 31).

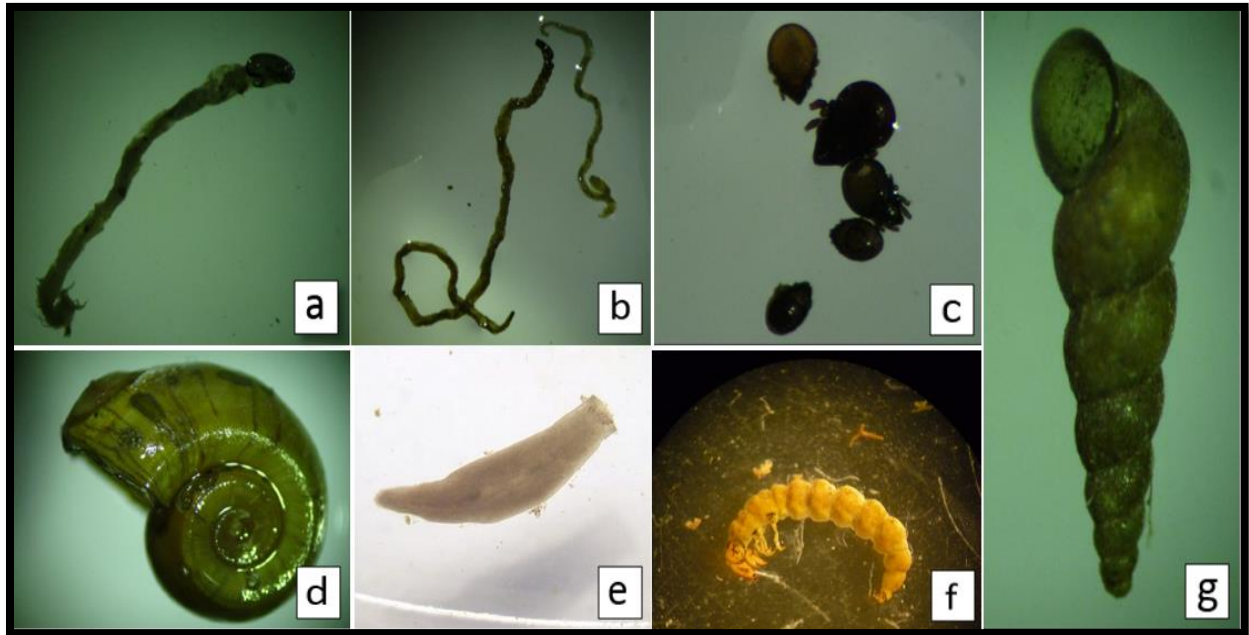
**Figura 31.** Porcentaje de individuos encontrados en las tres áreas de muestreo.



Las taxas identificadas en las áreas de muestreo pertenecen a la familia *Chironomidae*, con 91 individuos para el área 1, 119 para el área 2 y 0 individuos para el área 3, la familia *Hydrachnidae* con un número de 40 individuos solo en el área 3; la familia *Tubificidae* con 20 y 9 individuos para las áreas 1 y 2, la familia *Thiaridae* con 17 y 112 individuos para las áreas 1 y 2, la familia *Hydrobiosidae* con 18 individuos para el área 3; la familia *Ampullariidae* se encontró 33 individuos para el área 1 y 26 individuos para el área 2; finalmente la familia *Planaridae* con 27 y 20 individuos para las áreas 1 y 2 respectivamente (Figura 32).

Las familias más representativas fueron *Chironomidae* con 210 individuos, encontrando la mayor cantidad en el área 2 (jaulas de levante y engorde), seguida de la familia *Thiaridae* con 129 individuos de igual forma con mayor cantidad en el área 2 (Jaulas de levante y engorde) y finalmente la familia con el menor número de macroinvertebrados fue la *Hydrobiosidae* con 18 individuos presentes en el área 3 (punto control).

**Figura 32.** Ejemplares de las familias de macrofauna encontradas en las áreas de muestreo en el Lago Guamuez. a) *Chironomidae*; b) *Tubificidae*; c) *Hydrachnidae*; d) *Ampullariidae*; e) *Planaridae*; f) *Hydrobiosidae*; g) *Thiaridae*.



**Tabla 5.** Número y abundancia de familias encontradas en las tres áreas de estudio del Humedal RAMNSAR, Lago Guamuez.

<b>Familia</b>	<b>Total (ind/sp)</b>	<b>Abundancia</b>
<i>Chironomidae</i>	210	0,3947
<i>Tubificidae</i>	29	0,0545
<i>Thiaridae</i>	129	0,2425
<i>Planariidae</i>	47	0,0883
<i>Ampullariidae</i>	59	0,1109
<i>Hydrobiosidae</i>	18	0,0338
<i>Hydrachnidae</i>	40	0,0752
<b>Total individuos</b>	<b>532</b>	
<b>Total taxas</b>	<b>7</b>	

## 5.4 Parámetros Comunitarios

En la tabla 6, se muestran los resultados de los índices comunitarios de diversidad biológica, por área de muestreo.

**Tabla 6.** Valores de diversidad, equitatividad, riqueza y dominancia de las especies de macrofauna encontradas en las tres áreas de estudio del Lago Guamuez.

<b>Parámetros comunitarios en las áreas de muestreo</b>			
<b>Índices</b>	<b>Área 1</b>	<b>Área 2</b>	<b>Área 3</b>
<b>Shannon (H')</b>	1,391 <sup>A</sup>	1,245 <sup>A</sup>	0,619 <sup>A</sup>
<b>Pielou (J')</b>	0,715 <sup>A</sup>	0,640 <sup>A</sup>	0,318 <sup>A</sup>
<b>Margalef (D<sub>mg</sub>)</b>	1,146 <sup>A</sup>	1,061 <sup>A</sup>	1,478 <sup>A</sup>
<b>Berger-Parker (B)</b>	0,484 <sup>A</sup>	0,416 <sup>A</sup>	0,690 <sup>A</sup>

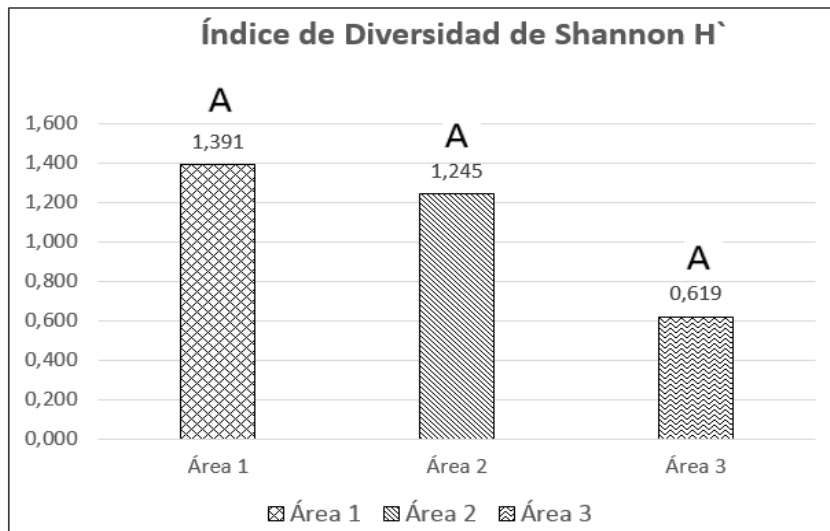
A: Diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

**5.4.1 Índice de diversidad de Shannon-Weaver ( $H'$ ):** El índice de diversidad de especies de Shannon- Weaver para la macrofauna bentónica analizada en las áreas de estudio presento un valor en el área 1 (jaulas de alevinaje) de 1,391; el área 2 (Jaulas de levante y engorde) con 1,245 y el área 3 (punto control) con 0,619 (Figura 33).

El análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas ( $p>0,05$ ) entre las áreas de muestreo. De igual forma la prueba de comparación múltiple de Tukey permite establecer que no hay diferencias significativas ( $p>0,05$ ) entre las áreas y sus estaciones de muestreo, obteniéndose un valor de la media para el índice de diversidad de Shannon de  $0,83\pm 0,225$  para el área 1, seguido del área 2 con una media de  $0,75\pm 0,225$  y finalmente el área 3 con un valor de  $0,26\pm 0,225$  (Anexo U).

Estos resultados demuestran que a pesar de que no haya diferencias significativas entre las áreas monitoreadas, los valores más altos de diversidad se presentan en las áreas 1 y 2 donde se encuentran los cultivos acuícolas; sin embargo el índice demuestra que hay una baja diversidad en las zonas de estudio.

**Figura 33.** Comparación Índice de diversidad de Shannon-Weaver ( $H'$ ) entre las áreas de estudio.



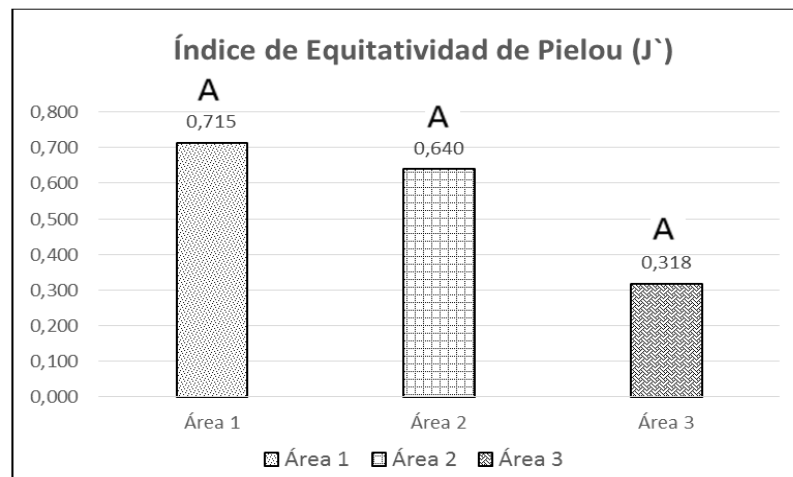
**5.4.2 Equidad de Pielou ( $J'$ ):** El índice de Equitatividad de Pielou para la macrofauna bentónica analizada entre las áreas de estudio presento un valor en el área 1 (jaulas de

alevinaje) de 0,715, el área 2 (Jaulas de levante y engorde) con 0,640 y el área 3 (punto control) con 0,318 (Figura 33).

El análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las áreas de muestreo. De igual forma la prueba de comparación múltiple de Tukey permite establecer que no hay diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las áreas y sus estaciones de muestreo, obteniéndose un valor de la media para el índice de Equitatividad de Pielou de  $0,43 \pm 0,115$  para el área 1, seguido del área 2 con una media de  $0,39 \pm 0,115$  y finalmente el área 3 con un valor de  $0,13 \pm 0,115$  (Anexo V).

Estos resultados demuestran que a pesar de que no haya diferencias significativas entre las áreas monitoreadas, se demuestra que existe mayor equitatividad en las áreas 1 y 2 correspondientes a las jaulas de cultivo ya que presentan valores más cercanos a 1, lo cual representa que estas zonas son similarmente abundantes.

**Figura 34.** Comparación Índice de equitatividad de Pielou ( $J'$ ) entre las áreas de estudio.



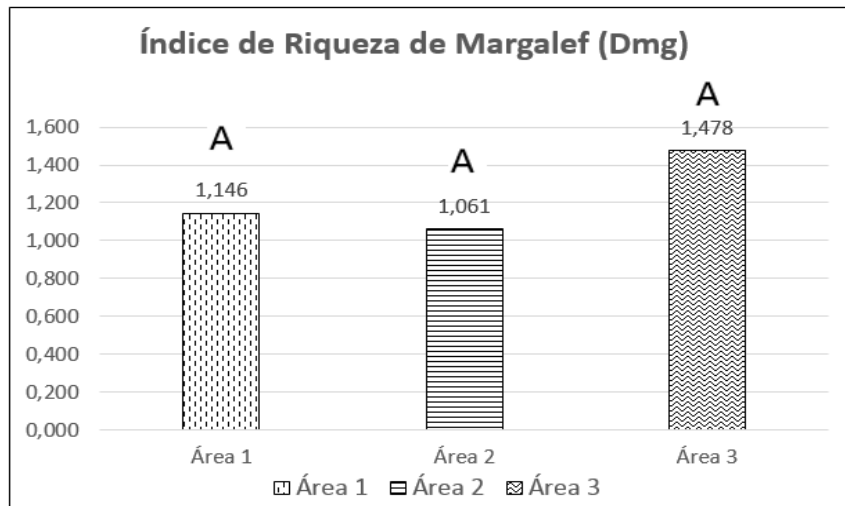
**5.4.3 Índice de riqueza de Margalef ( $D_{mg}$ ):** El índice de riqueza de especies presentó un valor para el área 1 (jaulas de alevinaje) de 1,146; para el área 2 (Jaulas de levante y engorde) de 1,061 y el área 3 (punto control) con 1,478 (figura 35).

El análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las áreas de muestreo. De igual forma la prueba de comparación múltiple de Tukey permite

establecer que no hay diferencias significativas ( $p>0,05$ ) entre las áreas y sus estaciones de muestreo, obteniéndose un valor de la media para el índice de riqueza de Margalef de  $2,08\pm 0,415$  para el área 1,  $1,94\pm 0,415$  para el área 2 y finalmente el área 3 con un valor de  $2,40\pm 0,415$  (Anexo W).

Estos resultados demuestran que a pesar de que no haya diferencias significativas entre las áreas monitoreadas, los menores valores de riqueza se presentan en las áreas 1 y 2 donde se encuentran los cultivos acuícolas; sin embargo el índice demuestra que valores inferiores a 2 son considerados como zonas de baja diversidad y riqueza.

**Figura 35.** Comparación Índice de riqueza de Margalef ( $D_{mg}$ ) entre las áreas de estudio.

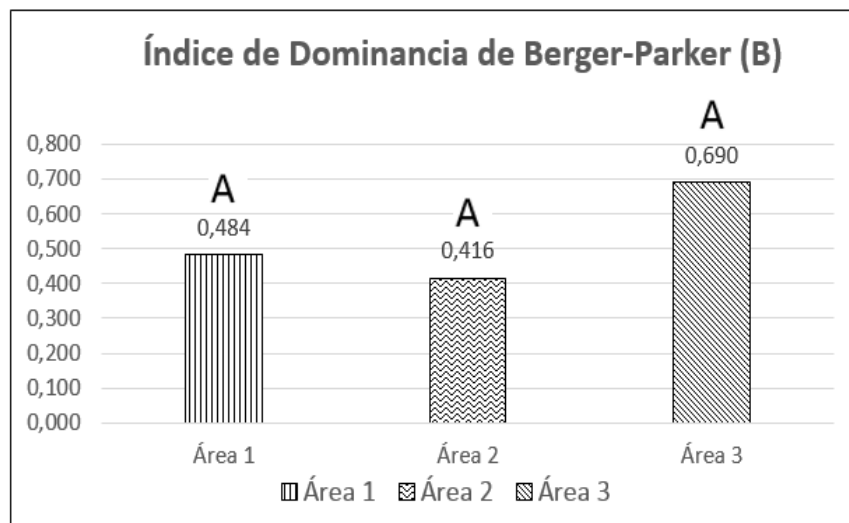


**5.4.4 Índice de dominancia de Berger–Parker (B):** Para la dominancia de especies, se obtuvo un valor en el área 1 (jaulas de alevinaje) de 0,484; para el área 2 (jaulas de levante y engorde) 0,416 y finalmente el área 3 con 0,690 (Figura 36).

El análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas ( $p>0,05$ ) entre las áreas de muestreo. De igual forma la prueba de comparación múltiple de Tukey permite establecer que no hay diferencias significativas ( $p>0,05$ ) entre las áreas y sus estaciones de muestreo, obteniéndose un valor de la media para el índice de dominancia de Berger–Parker de  $0,58\pm 0,098$  para el área 1,  $0,70\pm 0,098$  para el área 2 y finalmente el área 3 con un valor de  $0,76\pm 0,098$  (Anexo X).

A pesar de que en el área 3 solo se encontraron dos familias (*Hydrobiosidae* e *Hydrachnidae*), estas presentaron el mayor índice de dominancia demostrando la importancia de estas especies en relación a la totalidad de la comunidad. Sin embargo la mayor dominancia se presentó en el área 3 o punto control donde se obtuvo la menor diversidad.

**Figura 36.** Comparación Índice de dominancia de Berger–Parker (B) entre las áreas de estudio.



## 5.5 Análisis Estadístico Multivariado (Análisis Discriminante)

Mediante este procedimiento estadístico se analizó el comportamiento conjunto de algunas variables como los parámetros fisicoquímicos (Oxígeno disuelto, pH, temperatura, conductividad eléctrica, dureza, alcalinidad y transparencia, nutrientes como los Nitritos, Nitratos, fosfatos y fósforo total; Sedimentos (Materia orgánica y carbonatos), he Índices de diversidad biológica (diversidad de Shannon, equitatividad de Pielou, riqueza de Margalef y dominancia de Berger-Parker), con los cuales se determinaron las funciones discriminantes que ayudan a predecir la forma como se agrupan e interrelacionan los parámetros fisicoquímicos, en relación con cada una de las áreas evaluadas como factor de clasificación, con el fin de determinar el grado de impacto ambiental que ocasionan los cultivos de trucha arcoíris a gran escala en el Lago Guamuez.

**5.5.1 Análisis multivariado discriminante para parámetros fisicoquímicos.** Para el caso de los parámetros fisicoquímicos (Anexo Y), el análisis discriminante presentó dos funciones ( $Z_1$  y  $Z_2$ ) que resultan ser significativas ( $p < 0,05$ ) (Tabla 7). Para la primera función discriminante ( $Z_1$ ) se obtuvo una varianza de 96,532 equivalente al 94,11% de la varianza total; para la segunda función ( $Z_2$ ), la varianza fue de 6,042 que representa 5,89%, cuya sumatoria corresponde al 100% de la varianza total indicando que no hay pérdida de información.

**Tabla 7.** Nivel de significancia ( $p < 0,05$ ) de las funciones discriminantes para parámetros fisicoquímicos.

Funciones Derivadas	Lambda de Wilks	Chi-Cuadrada	GL	Valor-P	Varianza	%	Correlación Canónica
$Z_1$	0,00145605	489,9020	14	0,0000	96,5317	94,11	0,99486
$Z_2$	0,142011	146,3886	6	0,0000	6,04169	5,89	0,92628

Se muestran los coeficientes estandarizados de las dos funciones discriminantes ( $Z_1$  y  $Z_2$ ) estimadas para los parámetros físico-químicos que fueron medidos en el estudio (Tabla 8).

**Tabla 8.** Coeficientes de la función discriminante entre áreas de muestreo para parámetros fisicoquímicos.

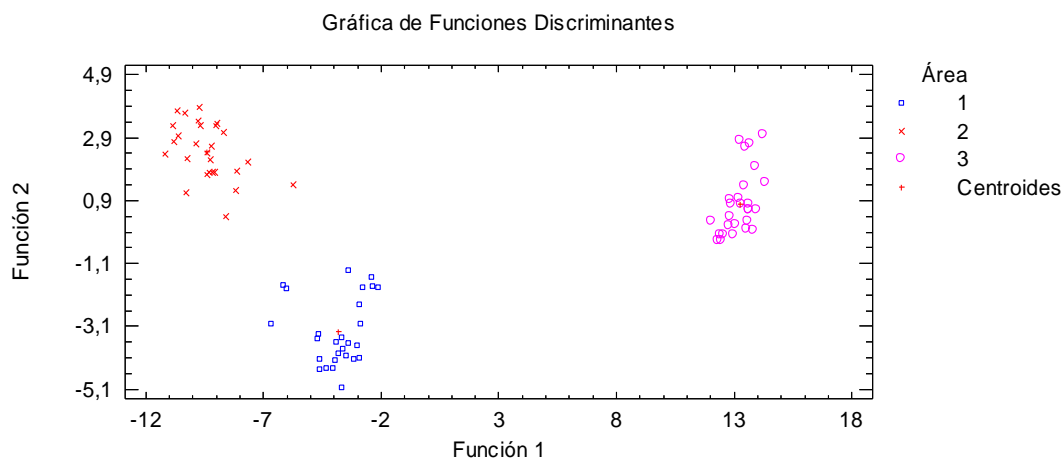
Variables	Función $Z_1$	Función $Z_2$
Alcalinidad	-0687575	0,22955
Conductividad Eléctrica	0,241321	2,42122
Dureza	1,77251	0,202589
Oxígeno Disuelto	2,10676	1,25496
pH	0,299314	4,10043
Profundidad	4,93287	5,35917
Temperatura	1,16804	2,33944

Los coeficientes son un reflejo del peso de cada una de las variables en las funciones discriminantes. La Función 1 tiene a la Profundidad con el mayor coeficiente (4,93) indicando la influencia predominante sobre la diferenciación de las áreas en estudio, por lo que dicha función se podría identificar como "Profundidad". En el caso de la Función 2,

el mayor peso está dado por el pH (después de la profundidad, que ya fue integrada en la función anterior), cuyo coeficiente es de 4,1004, variable que podrá identificar a la función.

A continuación se representa el cruce entre las dos funciones discriminantes, con el fin de analizar el comportamiento de las variables según su nivel de influencia sobre las diferentes áreas, al igual que se puede observar claramente discriminados los tres grupos (áreas). En el caso del Área 1, cuya ubicación está en el cuadrante inferior izquierdo, los valores son bajos, es decir, las variables tienen poca influencia sobre el factor de clasificación y, a medida que la Función 1 (Profundidad) disminuye, aumenta la Función 2 (pH) (Figura 37).

**Figura 37.** Representación gráfica del análisis discriminante para parámetros fisicoquímicos.



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

Según los datos registrados para pH en función de la profundidad, este tiende a volverse más ácido a medida que la profundidad aumenta acercándose al fondo, observándose que

dicho parámetro es menor en el área 2 (jaulas de levante y engorde), donde se manejan mayores densidades de cultivo; seguido del área 1 donde la utilización de concentrado comercial y otros productos son suministrados en menor cantidad y por último el área 3 donde no se presenta intervención acuícola, los valores de pH son más altos tendiendo volverse alcalinos.

Considerando que el método aplicado tiene capacidad de predicción, en la Tabla 10 se muestra la clasificación realizada mediante las funciones estimadas, sobre los datos correspondientes a los parámetros fisicoquímicos para cada una de las tres áreas muestreadas, según las cuales fue posible clasificar correctamente al 100% los puntos muestreados, lo que indica que no existen errores tanto en la toma de datos como en el análisis de los mismos con respecto al impacto ambiental o grado de contaminación que presentan las Áreas 1 y 2 donde se desarrollan los cultivos acuícolas en comparación al Área 3 o punto control, donde no se presenta intervención, y las funciones  $Z_1$  y  $Z_2$  discriminan eficiente y significativamente los puntos de análisis para realizar el análisis comparativo entre áreas con relación a las variables evaluadas.

**Tabla 9.** Clasificación en porcentaje de casos correctamente clasificados (100,00%) para parámetros fisicoquímicos

Actual Área	Tamaño de Grupo	Predicho		
		1	2	3
1	27	27 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)
2	27	0 (0,00%)	27 (100,00%)	0 (0,00%)
3	27	0 (0,00%)	0 (0,00%)	27 (100,00%)

Con respecto al análisis de correlaciones lineal múltiple, mediante el coeficiente de Pearson para cada par de variables (Anexo Z), éstos valores se pueden observar en la Tabla 11, con un  $\alpha = 0,05$ , en el cual los valores deben presentar un rango de coeficientes de correlación de -1 a 1.

**Tabla 10.** Correlaciones entre pares de variables de parámetros fisicoquímicos.

<b>Correlaciones multivariadas</b>		
<b>Variable 1</b>	<b>Variable 2</b>	<b>P-valor</b>
Alcalinidad	Área	-0,6019
Alcalinidad	Conductividad Eléctrica	0,8288
Alcalinidad	Dureza	-0,9534
Alcalinidad	Oxígeno disuelto	-0,3684
Alcalinidad	pH	-0,6922
Área	Conductividad Eléctrica	-0,3124
Área	Dureza	0,6893
Área	Oxígeno disuelto	0,3015
Área	pH	0,5353
Conductividad Eléctrica	Dureza	-0,8237
Conductividad Eléctrica	Oxígeno disuelto	-0,6903
Conductividad Eléctrica	pH	-0,8543
Conductividad Eléctrica	Profundidad	0,5093
Conductividad Eléctrica	Temperatura	-0,3299
Dureza	Oxígeno disuelto	0,4654
Dureza	pH	0,7961
Dureza	Profundidad	-0,2287
Oxígeno disuelto	pH	0,8628
Oxígeno disuelto	Profundidad	-0,8824
Oxígeno disuelto	Temperatura	0,8350
pH	Profundidad	-0,7292
pH	Temperatura	0,5879
Profundidad	Temperatura	-0,9575

**5.5.2 Análisis multivariado discriminante para nutrientes.** Para el caso de los nutrientes (Anexo AA), el análisis discriminante presento dos funciones ( $Z_1$  y  $Z_2$ ) que resultan ser significativas ( $p < 0,05$ ) (Tabla 11). Para la primera función discriminante ( $Z_1$ ) se obtuvo una varianza de 522,16 equivalente al 99,18% de la varianza total; para la segunda función ( $Z_2$ ), la varianza fue de 4,32 que representa 0,82%, cuya sumatoria corresponde al 100% de la varianza total indicando que no hay pérdida de información.

**Tabla 11.** Nivel de significancia ( $p < 0,05$ ) de las funciones discriminantes para nutrientes

<b>Funciones Derivadas</b>	<b>Lambda de Wilks</b>	<b>Chi-Cuadrada</b>	<b>GL</b>	<b>Valor-P</b>	<b>Varianza</b>	<b>%</b>	<b>Correlación Canónica</b>
$Z_1$	0,000359281	174,4909	10	0,0000	522,163	99,18	0,99904
$Z_2$	0,187962	36,7733	4	0,0000	4,32021	0,82	0,90113

Se muestran los coeficientes estandarizados de las dos funciones discriminantes ( $Z_1$  y  $Z_2$ ) estimadas para los nutrientes que fueron analizados en el estudio (Tabla 12).

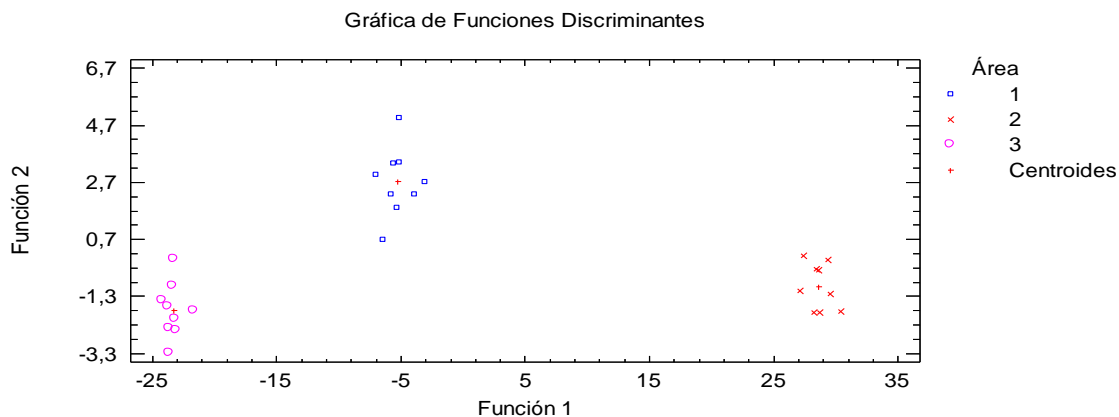
**Tabla 12.** Coeficientes de la función discriminante entre áreas de muestreo para nutrientes.

Variables	Función $Z_1$	Función $Z_2$
Fosfatos	-0,597259	0,779579
Fosforo Total	0,124211	-0,650763
Nitratos	1,3	-0,166133
Nitritos	-0,102092	0,847846
Profundidad	-0,175486	-0,410751

Los coeficientes son un reflejo del peso de cada una de las variables en las funciones discriminantes. La Función 1 tiene a los nitratos con el mayor coeficiente (1,3) indicando la influencia predominante sobre la diferenciación de las áreas en estudio, por lo que dicha función se podría identificar como "Nitratos". En el caso de la Función 2, el mayor peso está dado por los nitritos, cuyo coeficiente es de 0,8478, variable que podrá identificar a la función.

Con el fin de analizar el comportamiento de las variables según su nivel de influencia sobre las diferentes áreas, se representa el cruce entre las dos funciones discriminantes, al igual que se puede observar claramente discriminados los tres grupos (áreas). En el caso del Área 1, cuya ubicación está en el cuadrante superior izquierdo, los valores son relativamente altos, es decir, las variables tienen una buena influencia sobre el factor de clasificación y, a medida que la Función 1 (nitratos) disminuye, aumentan la Función 2 (nitritos) (Figura 38).

**Figura 38.** Representación gráfica del análisis discriminante para nutrientes.



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

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

Considerando que el método aplicado tiene capacidad de predicción, en la Tabla 13 se muestra la clasificación realizada mediante las funciones estimadas, sobre los datos correspondientes a los nutrientes para cada una de las tres áreas muestreadas, según las cuales fue posible clasificar correctamente al 100% los puntos muestreados, lo que indica que no existen errores tanto en la toma de datos como en el análisis de los mismos y que con ellos se puede determinar la influencia negativa sobre el ambiente a causa del suministro de alimento comercial a las jaulas de cultivo, al igual que aditivos, las mismas heces y secreciones de los peces.

**Tabla 13.** Clasificación en porcentaje de casos correctamente clasificados (100,00%) para nutrientes.

<i>Actual</i> <i>Área</i>	<i>Tamaño</i> <i>de Grupo</i>	<i>Predicho</i> <i>1</i>	<i>Área</i> <i>2</i>	<i>3</i>
1	9	9 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)
2	9	0 (0,00%)	9 (100,00%)	0 (0,00%)
3	9	0 (0,00%)	0 (0,00%)	9 (100,00%)

Con respecto al análisis de correlaciones lineal múltiple (Anexo BB), mediante el coeficiente de Pearson para cada par de variables, éstos valores se pueden observar en con un  $\alpha = 0,05$ , en el cual deben presentar un rango de coeficientes de correlación de -1 a 1 (Tabla 14).

**Tabla 14.** Correlaciones entre pares de variables de nutrientes.

<b>Correlaciones multivariadas</b>		
<b>Variable 1</b>	<b>Variable 2</b>	<b>P-valor</b>
Área	Fosfatos	-0,5015
Área	Nitritos	-0,6487
Fosfatos	Fósforo Total	0,9442
Fosfatos	Nitratos	0,9673
Fosfatos	Nitritos	0,9481
Fosforo Total	Nitratos	0,9779
Fosforo Total	Nitritos	0,8684
Nitratos	Nitritos	0,9133

**5.5.3 Análisis multivariado discriminante para transparencia, carbonatos, materia orgánica y macrofauna bentónica.** Para las variables de transparencia, carbonatos, materia orgánica y macrofauna (Anexo CC), se presentaron dos funciones ( $Z_1$  y  $Z_2$ ) que resultan ser significativas ( $p < 0,05$ ) (Tabla 15). Para la primera función discriminante ( $Z_1$ ) se obtuvo una varianza de 103 equivalente al 91,07% de la varianza total; para la segunda función ( $Z_2$ ), la varianza fue de 8,93 que representa 8,93%, cuya sumatoria de las dos funciones corresponde al 100% de la varianza total, indicando que no hay pérdida de información.

**Tabla 15.** Nivel de significancia ( $p < 0,05$ ) de las funciones discriminantes para transparencia, carbonatos, materia orgánica y macrofauna.

<b>Funciones Derivadas</b>	<b>Lambda de Wilks</b>	<b>Chi-Cuadrada</b>	<b>GL</b>	<b>Valor-P</b>	<b>Varianza</b>	<b>%</b>	<b>Correlación Canónica</b>
$Z_1$	0,000856913	148,3057	14	0,0000	103	91,07	0,99521
$Z_2$	0,0896002	50,6603	6	0,0000	8,93	8,93	0,95415

Se muestran los coeficientes estandarizados de las dos funciones discriminantes ( $Z_1$  y  $Z_2$ ) estimadas para transparencia, carbonatos, materia orgánica y macrofauna que fueron analizados en el estudio (Tabla 16).

**Tabla 16.** Coeficientes de la función discriminante entre áreas de muestreo para transparencia, carbonatos, materia orgánica y macrofauna bentónica.

<b>Variables</b>	<b>Función Z<sub>1</sub></b>	<b>Función Z<sub>2</sub></b>
Berger-Parker	0,316148	0,158829
Carbonatos	-0575762	1,11375
Margalef	0,269705	-0,112872
Materia Orgánica	0,138589	-0,451804
Pielou	-1320,34	-164,068
Shannon	1320,48	164,068
Transparencia	0,971817	0,491609

Los coeficientes presentados en la tabla anterior, demuestran el peso de cada una de las variables dentro del análisis de las funciones discriminantes. La función 1, presenta el mayor coeficiente para la variable diversidad de Shannon con un valor de 1320,48 indicando la influencia predominante sobre la diferenciación de las áreas de estudio, por lo que dicha función se podría identificar como "Diversidad de Shannon". De igual forma la Función 2, presenta a Shannon como la variable que podrá identificar a la función, cuyo coeficiente es de 164,068, al igual que la equitatividad de Pielou cuyo coeficiente es el mismo al de Shannon pero en signo negativo.

Con el fin de analizar el comportamiento de las variables según su nivel de influencia sobre las áreas de estudio, se representa el cruce entre las dos funciones discriminantes, al igual que se puede observar claramente discriminadas las tres áreas de muestreo. Para el área 1, se observan valores bajos donde las variables presentan una baja influencia sobre el factor de clasificación, determinando que a medida que la diversidad (Función 1) aumenta, disminuye la equitatividad (Función 2) (Figura 39)



áreas muestreadas, clasificando al 100% y de forma correcta cada una de las variables dentro de las dos funciones principales.

**Tabla 17.** Clasificación en porcentaje de casos correctamente clasificados (100,00%) para transparencia, carbonatos, materia orgánica y macrofauna.

<b>Actual</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Predicho</b>	<b>Área</b>	
<b>Área</b>	<b>de Grupo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
1	9	9 (100,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)
2	9	0 (0,00%)	9 (100,00%)	0 (0,00%)
3	9	0 (0,00%)	0 (0,00%)	9 (100,00%)

Con respecto al análisis de correlaciones lineal múltiple (Anexo DD), mediante el coeficiente de Pearson para cada par de variables, éstos valores se pueden observar en la Tabla 18, con un  $\alpha = 0,05$ , en el cual los valores deben presentar un rango de coeficientes de correlación de -1 a 1.

**Tabla 18.** Correlaciones entre pares de variables de nutrientes transparencia, carbonatos, materia orgánica y macrofauna.

<b>Correlaciones multivariadas</b>		
<b>Variable 1</b>	<b>Variable 2</b>	<b>P-valor</b>
Área	Pielou	-5423
Área	Shannon	-5424
Área	Transparencia	0,7609
Berger-Parker	Margalef	0,4100
Berger-Parker	Pielou	-0,6073
Berger-Parker	Shannon	-6073
Carbonatos	Materia Orgánica	0,9129
Carbonatos	Transparencia	-0,7371
Materia Orgánica	Transparencia	-06485
Pielou	Shannon	1,0000
Pielou	Transparencia	-0,5570
Shannon	Transparencia	-0,5571

## 6. Discusión de resultados

### 6.1 Determinación de los cambios ambientales a través de análisis de parámetros fisicoquímicos y parámetros comunitarios de diversidad biológica.

La supervivencia del ser humano se debe en gran parte al aprovechamiento de los recursos naturales; sin embargo, la falta de planeación y el desconocimiento de las posibles consecuencias de un mal aprovechamiento traen consigo la contaminación del ambiente natural (Samboni et al., 2007). El recurso hídrico presente en sistemas como ríos, lagos y lagunas ha sido fuertemente afectado por el desarrollo de diferentes actividades agropecuarias que arrojan a las corrientes sustancias cada vez más agresivas y difíciles de tratar debido a su naturaleza química (Fernández y Solano, 2005). Los parámetros fisicoquímicos se caracterizan por brindar datos precisos sobre el estado ambiental de un cuerpo de agua, algunos de los parámetros de mayor importancia que se utilizan para dichos estudios son el oxígeno disuelto (OD), pH, temperatura ( $T^{\circ}$ ), transparencia, conductividad eléctrica (CE), dureza y alcalinidad (NSF, 2006).

Con respecto al oxígeno disuelto, este es uno de los parámetros fisicoquímicos más importantes del Lago Guamuéz. La concentración de OD, en el agua está sujeta a factores como la temperatura del agua y de la presión barométrica según la altitud sobre el nivel del mar a la que se encuentre; además es favorecida por el movimiento de las aguas y condiciona la variedad de vida dentro del lago. Si se tienen aguas con valores de OD menores a 2 mg/L, quiere decir que no son aguas aptas para sustentar vida; y por el contrario, si existe un porcentaje de saturación mayor al 100%, infiere que ese lago se encuentra en condiciones de eutroficación (Corponariño, 2014). Para este caso, se presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre áreas y profundidades, presentando los mayores valores en el área 3 o punto control; dicho comportamiento se presenta para

las tres profundidades con valores promedio de  $10,17 \pm 0,028$  mg/L en la superficie,  $9,79 \pm 0,043$  mg/L a 10 metros y  $7,62 \pm 0,45$  mg/L a 20 metros de profundidad. Las áreas 1 y 2 presentan valores inferiores al punto control fluctuando entre los  $5,79 \pm 0,510$  mg/L y  $9,82 \pm 0,064$  mg/L.

El promedio de oxígeno disuelto en el Lago Guamuez está sobre los 7,26 mg/L (López et al., 2008; CORPONARIÑO, 2014) lo que concuerda con los resultados obtenidos y donde se observa que la producción acuícola disminuye la concentración de dicho parámetro, puesto que parte del oxígeno se utiliza para la degradación de la materia orgánica (MAVDT & Corponariño 2011; Espinoza, 1979; Toro et al., 2002). Sin embargo estos niveles de concentración de Oxígeno son aptos para el cultivo de trucha en Lagos con características de alta montaña como las lagunas Andinas de Junín en Perú, el lago Villa Rica en Chile, Alalay, Aricare y Blanca en Bolivia, entre otros (Mariano et al., 2010). Si bien es cierto se presenta una disminución en las áreas de cultivo con diferencias estadísticamente significativas entre ellas y el punto control, no se observa un deterioro crítico con respecto a este parámetro (Davinson et al., 2014; Lepine et al, 2016).

La temperatura al igual que el oxígeno, es uno de los parámetros determinantes en un cuerpo de agua apto para el cultivo de trucha, puesto que esta especie es muy exigente en cuanto a la calidad del agua, principalmente en parámetros como el oxígeno y la temperatura (FAO, 2014; Arboleda, 2006). De igual forma actúa en procesos como la actividad biológica, la absorción de oxígeno y la precipitación de compuestos, entre otros. Un aumento exagerado de temperatura, acelera el agotamiento de oxígeno en el agua por procesos de evaporación he incrementa la reproducción de bacterias que realizan los procesos de descomposición (Roldan, 1992). Este parámetro presento diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las tres áreas muestreadas y sus respectivas profundidades, presentándose los mayores valores en el área 2 fluctuando entre un rango de  $15^{\circ}\text{C}$  a  $17,3^{\circ}\text{C}$  seguido del área 1 y finalmente el área 3 correspondiente al punto control. Según el estudio de capacidad de carga realizado en el lago Guamuez se obtuvieron promedios de temperatura entre los  $14,21^{\circ}\text{C}$  y  $16,63^{\circ}\text{C}$ , siendo similares a los obtenidos en el presente estudio (Corponariño, 2014; MAVDT, 2011; García et al, 2001).

Como se observa en lo resultados, la temperatura disminuye a medida que aumenta la profundidad; esto se debe a que la superficie tiene mayor contacto con la atmosfera y por ende sus aguas retienen en mayor cantidad los grados de calor (Roldan y Ramírez, 2008),

por lo cual, este lago se caracteriza como tropical y de alta montaña, por tener una temperatura más o menos uniforme a lo largo del año y poca variación de la temperatura del agua de la superficie hasta el fondo gracias a su batimetría, al igual que se ubica entre los 2000 y 4000 m.s.n.m. (López, 2014). Finalmente se puede analizar que la temperatura se comporta de acuerdo a las características de los lagos tropicales y que la presencia de cultivos acuícolas influye en pequeñas variaciones que no representan grandes cambios en el ambiente, en los mismos sistemas productivos, ni en el ecosistema acuático del lago (FONDEPES, 2004). Por otra parte se debe enfatizar en la importancia de la temperatura y su relación con otras variables como el oxígeno, la conductividad eléctrica y la presencia de macrofauna bentónica (Benjumea y Toro, 2007).

La conductividad eléctrica es uno de los parámetros de mayor relevancia en el estudio de la calidad del agua y el impacto ambiental que ocasionan diferentes actividades agropecuarias, domesticas o industriales, debido a que se relaciona directamente con la cantidad de solidos disueltos y la salinidad de la columna de agua, los cuales no son más que la combinación de iones de carga positiva y negativa que alteran la calidad del agua en un ecosistema, entre los que se encuentran ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ) (CALEPA, 2013; CORPONARIÑO, 2014; Meza y Sepúlveda, 2012).

En este estudio las áreas y sus profundidades presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), donde los mayores valores se presentaron en el área 2 principalmente a los 20 metros de profundidad con un valor de  $126,03 \pm 0,002 \mu\text{S/cm}$ ; área que representa a las jaulas de levante y engorde donde se presentan las mayores densidades de cultivo y con ello se suministra mayores cantidades de alimento comercial, medicamentos y aditivos; seguidos del área 1 con  $90,21 \pm 0,002 \mu\text{S/cm}$  a los 10 metros de profundidad y como era de esperarse los menores valores se presentaron en el área 3 donde no hay intervención de cultivos acuícolas con  $68,27 \pm 0,042 \mu\text{S/cm}$ ,  $74,54 \pm 0,036 \mu\text{S/cm}$  y  $80,83 \pm 0,027 \mu\text{S/cm}$  para los 9,10 y 20 metros respectivamente. De igual forma se puede observar que la conductividad se incrementa a medida que aumenta la profundidad de la columna de agua, presentando los mayores valores a 20 metros de profundidad en las áreas 2 y 3. Duran (2009), quien cita a Ramírez (2007), expone que valores de conductividad menores a  $280 \mu\text{S/cm}$ , representan bajas salinidades y por ende una baja conductividad, valores entre  $280 \mu\text{S/cm}$  y  $600 \mu\text{S/cm}$  salinidades y conductividades medias y valores superiores a los  $600 \mu\text{S/cm}$  son característicos a zonas con un alto nivel de conductividad, lo que concuerda

con los datos obtenidos en este estudio y que caracterizan al Lago Guamuez con una baja conductividad como lo son los lagos de alta montaña que no presentan contaminación por actividades industriales, mineras o de manufactura.

El estudio de capacidad de carga del Lago Guamuez, reporta valores de 74,02  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en lugares libres de intervención acuícola y un promedio de 95,05  $\mu\text{S}/\text{cm}$  debajo o cerca de las jaulas de cultivo (CORPONARIÑO, 2014) lo que indica la variación diaria de la conductividad con respecto a la productividad primaria, descomposición de materia orgánica, detección de fuentes de contaminación y naturaleza geoquímica del terreno. (Pinilla, 2005; EPA, 2012). Si bien es cierto, los valores de conductividad eléctrica reportados en este estudio no representan niveles tóxicos de contaminación, se puede observar que dicho parámetro aumenta en las áreas de alevinaje y levante de trucha con lo que se afirma que a mayor es la producción y mayores son las densidades de siembra, los valores de conductividad se incrementan causando un nivel de impacto ambiental negativo sobre el cuerpo de agua donde se desarrollan (Stone et al., 2013; Hatje et al., 2016; Cardoso et al., 2016; León et al., 2017).

El pH se caracteriza por representar el potencial de hidrogeniones y está directamente involucrado con los cambios de acidez, basicidad y alcalinidad, midiendo su intensidad e indica la concentración de iones en el agua (Roldan 1992; Sardiñas et al, 2006). En este estudio el pH presenta diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas y profundidades de muestreo, obteniendo los valores más altos en el área 3 (punto control) con un promedio de  $8,59 \pm 0,004$  a los cero metros de profundidad; al igual que el oxígeno disuelto, el pH disminuye en las áreas de cultivo con un promedio de  $8,39 \pm 0,006$  en la superficie del área 2 y  $8,38 \pm 0,004$  para los cero metros del área 1. De igual forma se puede analizar que a medida que aumenta la profundidad disminuye el valor de pH tendiendo a disminuir su alcalinidad.

Según López et al (2008) valores promedio de pH (máximo 7,34 y mínimo 5,96) fueron obtenidos en diferentes puntos de muestreo a lo largo de la laguna, al igual que en estudios anteriores de calidad de agua realizados en el lago Guamuez, se han registrado valores mínimos de pH de 6,3 y máximos de 7,7 (Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial & CORPONARIÑO, 2011) en zonas dentro del lago, y de 7,08 en los afluentes (García et al., 2001; López y Salas, 2013). A partir de lo anterior se puede deducir que el pH es un parámetro relativamente uniforme en el Lago Guamuez y que se mantiene dentro

de los parámetros considerados como óptimos para el desarrollo de vida dentro del lago. Si bien es cierto, los valores de pH obtenidos en las áreas de estudio, se encuentran dentro del rango de valores característicos de lagos tropicales y de alta montaña (Mariano et al., 2010; Arboleda, 2006), se demuestra que dicho parámetro tiende a perder su basicidad volviéndose más ácido en las áreas 1 y 2 correspondientes a las jaulas de cultivo; por lo que se puede decir que la acuicultura de trucha arcoíris en jaulas flotantes tiende a generar un impacto negativo en los ecosistemas acuáticos donde se desarrolla, aunque las mayores perturbaciones se presentan por el pH de los tributarios secundarios debido a solutos de tipo húmico causados por la disgregación de materia orgánica, de las macrófitas, el bosque inundable y el lavado de suelos a causa de la contaminación generada por aguas residuales domésticas. (CORPONARIÑO, 2014; Sipaúba et al., 2010; Campoverde et al; 2011).

La dureza del agua representa la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes (iones de calcio, estroncio, bario y magnesio en forma de carbonatos o bicarbonatos) lo que constituye un parámetro muy significativo en la calidad del agua. Por el contrario la alcalinidad es la medida de su capacidad para neutralizar dichos ácidos (Sierra, 1983; Beveridge, 1986; Roldan, 1992;). Estos dos parámetros presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre áreas y profundidades de muestre. Los mayores valores de dureza se presentaron en el área o punto control con  $25,00 \pm 0,026$  mg/L a cero metros y  $24,00 \pm 0,043$  a 10 y 20 metros; mientras que la alcalinidad presento un comportamiento inverso a la dureza presentando menores valores en dicha área con un promedio de  $15,62 \pm 0,007$  a los 0 m,  $15,64 \pm 0,006$  a 10 m y  $15,81 \pm 0,023$  a 20 metros. Para las jaulas de cultivo la dureza fue menor y la alcalinidad aumento su valor. Estos resultados obtenidos permiten establecer que el agua del Lago Guamuez en las áreas muestreadas se clasifica como aguas blandas, puesto que los valores obtenidos de dureza son menores a 75 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  (Rojas, 1998).

Según Cole (1982), las fluctuaciones diarias de la alcalinidad son despreciables. En aguas diluidas los efectos de la fotosíntesis y de la respiración en el sistema del ácido carbónico están marcados principalmente por los cambios de pH. El incremento del  $\text{CO}_2$  baja el pH sin cambiar mucho la alcalinidad. En los casos que se produce una elevación y disminución estacional de los valores de alcalinidad en lagos de aguas duras carbonatadas, se observa una disminución de la alcalinidad del epilimnio (capa cálida superior de agua en un lago)

durante la temporada de crecimiento debido a que la incorporación de CO<sub>2</sub> provoca la precipitación de CaCO<sub>3</sub>. El carbonato que se hunde es redisuelto en el hipolimnio (capa inferior de agua en un lago) por el ácido carbónico formado por la hidratación del CO<sub>2</sub> de la degradación y retorna al epilimnio durante la remoción siguiente.

Las relación entre pH y alcalinidad es directamente proporcional, a medida que el primero aumenta también incrementan los valores de alcalinidad (Guerrero et al., 2003), lo que contradice los resultados obtenidos en este estudio y que se puede explicar debido a que en la áreas muestreadas puede haber una reserva alcalina intermedia y cuyo incremento puede estar determinado por las características del suelo del Lago, la mezcla de la masa de agua por las corrientes las cuales transportan partículas a las zonas de estudio alterando los cambios de carbonatos y Bicarbonatos (Díaz, 2005; David y Castañeda, 2014).

Con respecto a la producción acuícola y los posibles efectos que esta causa al ambiente, se nota una variación comportamental de la dureza y alcalinidad entre las áreas de cultivo y el punto control, aunque dichos valores no representan un peligro potencial para la calidad del agua del Lago (Espinoza y Paz, 2016, Toro et al, 2002; Boyd et al, 2016), sin embargo se debe tener en cuenta que en el Lago Guamuez, existen más de 800 jaulas de cultivo lo que sumado a los análisis del presente estudio, podrían generar cambios ambientales importantes en el ecosistema.

Finalmente en cuanto a los parámetros fisicoquímicos se tiene la transparencia, la cual se expresa como profundidad en metros, y es la mitad de la distancia recorrida por la luz hasta el disco y su regreso al ojo del observador e indica la cantidad de materiales en suspensión presentes en el agua como arcillas, materias orgánicas o inorgánicas finamente divididas, plancton y otros microorganismos que indican la transparencia de las aguas bajo el lago, lo cual favorece la actividad biológica de los organismos fotosintéticos y productividad primaria que se encuentran en el agua. La transparencia del agua varía desde 0 a muy clara dependiendo del tamaño y el número de partículas suspendidas, de la concentración de sustancias disueltas, longitud de onda, intensidad y ángulo de luz que reciben estas aguas (Wheaton, 1982).

La transparencia presento diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las tres áreas de muestreo, donde su mayor valor se obtuvo en el área 3 o punto control con  $4,84 \pm 0,041$  metros, disminuyendo su valor para las áreas 1 y 2 con  $3,42 \pm 0,041$  y  $3,11 \pm 0,003$

respectivamente. Estos datos concuerdan con los obtenidos por López et al (2008) y MAVDT y CORPONARIÑO (2011), quienes obtuvieron promedios de 3,81 metros en zonas sin influencia de cultivos acuícolas y 4, 18 metros en zonas de influencia de jaulas flotantes; esto demuestran que la producción acuícola afecta negativamente la calidad del agua, debido a la concentración de sólidos disueltos por causa de la descomposición de materia orgánica proveniente del concentrado comercial, productos farmacéuticos, aditivos, los mismos residuos de los peces provenientes del metabolismo y las demás actividades como lavado de mayas y mantenimiento de las jaulas (Castillo & Martínez, 1996; M. López, 2014b; Fernandez et al., 2010). La menor transparencia obtenida en el área 2 (Jaulas de levante y engorde), indica la distribución y estructura de la capa fótica lacustre donde se obtiene la mayor cantidad de radiación solar para procesos fotosintéticos y con ello sintetizar compuestos carbonados (Kormondoy, 1994., citado por López et al., 2008), al igual que estos resultados catalogan al Lago Guamuéz como oligotrófico. (García et al., 2011).

## **6.2 Determinación de la contaminación de las áreas de estudio mediante la cuantificación de los contenidos de nutrientes en el agua y la materia orgánica de los sedimentos, en relación con los procesos acuícolas.**

Los lagos denominados humedales, representan un ecosistema de transición entre el medio terrestre y el medio acuático donde confluyen procesos químicos y biológicos que son de fundamental importancia para el funcionamiento de un ecosistema. Las jaulas de cultivo de peces, por lo general se ubican a pocos metros de la orilla, en zonas de alta fragilidad, ya que reciben las primeras cargas de azolve y deposición, el estancamiento hidráulico, la descomposición de materia orgánica, la evaporación y el estancamiento de aguas residuales (Maltby, 1991). Por otro lado, las cargas de nutrientes provenientes de la acuicultura corresponden en su mayoría a la degradación del alimento no consumido por los peces y los procesos metabólicos de los mismos, aportando nitrógeno y fósforo que posteriormente cumplen su ciclo en la zona de influencia aumentando o disminuyendo la concentración de nitritos, nitratos, fosfatos y/o fósforo total (Mitsch y Gosselink, 2000).

La contaminación ambiental de un lago por parte de los nutrientes provenientes de la acuicultura, conlleva a la eutrofización como proceso de origen antrópico que va

deteriorando la calidad de sus aguas, añadiendo mayores cantidades de nutrientes, elementos esenciales para el crecimiento de organismos, principalmente nitrógeno (N) y fósforo (P); lo cual enriquece en nutrientes a los sistemas acuáticos pero limita el oxígeno. Este proceso se produce naturalmente en todo lago cuya afluencia de elementos nutritivos sea superior a la salida de los mismos (Alcorlo, 2008; Folch et al., 2009).

Con respecto a los nitritos, los cuales presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre áreas y en algunas profundidades de muestreo en el área 1, se obtuvieron valores relativamente bajos, entre los  $0,03 \pm 0,0004$  mg/L y  $0,05 \pm 0,0000$  mg/L, siendo este último correspondiente a los cero metros de profundidad. De igual forma los nitratos presentaron diferencias significativas solo entre áreas presentando los mayores valores en el área 2 (Jaulas de levante y engorde) con  $0,18 \pm 0,000$  mg/L seguido del área 1 con  $0,13 \pm 0,000$  mg/L y finalmente el área 3 o punto control con  $0,10 \pm 0,000$  mg/L. Según Roldan (1992), los lagos con niveles entre los 0,0 y 1,0 de nitratos y 0,0 y 0,5 de nitritos corresponden a lagos oligotróficos.

Los nitratos frecuentemente no presentan problemas de toxicidad para los peces, siendo los límites máximos permitidos de 100 mg/L y las concentraciones máximas de nitritos recomendadas para peces son de 0,1 mg/L (Roberts, 1999). En cuanto a la calidad del agua el BOJA establece un límite de 75 mg/l para los nitratos; en países como Dinamarca la diferencia entre el agua de entrada y de salida del cultivo no debe superar los 0,6 mg/L de nitrógeno total y en los Países Bajos la calidad de agua para efluentes indica una concentración máxima permitida para nitratos más nitritos de 200 mg/L. No se han estimado qué concentraciones de fósforo o fosfatos afectan negativamente a los peces (Larned, 1998). En cuanto a los límites para que la calidad del agua no se altere el BOJA establece un valor de 40 mg/l para el fósforo total, en Dinamarca la diferencia entre el agua de entrada y de salida del cultivo no puede superar los 0,03 mg/L y en los países Bajos la calidad de agua para efluentes indica una concentración máxima permitida para el fósforo total de 5 mg/l. (Vergara et al, 2005; Vitoria, 2015).

A pesar de encontrar diferencias significativas entre las dos áreas de cultivo y el punto control, y teniendo en cuenta que los valores obtenidos en este estudio son similares a los reportados en la bibliografía, se puede decir que las áreas de cultivo estudiadas no están incrementando significativamente la concentración de nitritos y nitratos analizados en las

áreas de cultivo del Lago Guamuéz; tan solo los nitritos muestran diferencias significativas entre las profundidades del área 1 (jaulas e alevinaje) y el área 2 (jaulas de levante y engorde), pero aun así estos valores están muy lejos de los indicados en los diferentes estudios realizados en lagos con características similares al Lago Guamuéz y que puedan ser perjudiciales para el medio (Hall et al., 1990; Molina et al., 2001a). El oleaje y las corrientes de un sistema léntico por más insignificantes que parezcan favorecen la dispersión, así como el efecto reductor de los niveles de nutrientes por la biota asociada a los sistemas (Carroll et al., 2003; Camargo y Alonso, 2007).

El fósforo es un elemento biogénico que juega un papel muy importante en el metabolismo biológico (Ruiz et al., 2005). Es el menos abundante y al mismo tiempo el factor limitante en la productividad primaria (Casallas y Gunkel, 2005; Margalef, 1983). En el agua de los lagos tropicales oligotróficos, el fósforo puede provenir de la descomposición de las rocas, la concentración de materia orgánica y heces de los peces, al igual que por aguas domésticas residuales y por el uso de detergentes; valores altos de fosfatos y fósforo total, se asocian a lagos con características de eutrofización (Vásquez et al., 2015).

Al igual que los nitritos y nitratos, los fosfatos y fósforo total, presentan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre áreas de muestreo pero no entre las profundidades dentro de cada área. Los datos de fosfatos y fósforo total obtenidos en este estudio son relativamente bajos (Roldán, 1992), con valores de fosfatos de  $0,039 \pm 0,0000$ ;  $0,030 \pm 0,0000$  y  $0,020 \pm 0,0000$  mg/L para las áreas 2, 1 y 3 respectivamente y valores de fósforo total de  $0,015 \pm 0,0000$  mg/L para el área 3;  $0,020 \pm 0,0000$  mg/L para el área 1 y  $0,031 \pm 0,0000$  mg/L para el área 2. Aunque se presenta un incremento en el área 2 seguido del área 1 correspondientes a las jaulas de alevinaje y levante, dichos valores no representan un peligro potencial para la calidad del agua del lago. Estos valores contrastan con los reportados por López et al., (2008) en el estudio de diagnóstico del estado de trofización y estudio de la variabilidad de los parámetros limnológicos y su interrelación con la producción de trucha arcoíris en jaulas flotantes en el Lago Guamuéz, donde reporta valores de fósforo total de 0,16 mg/L solo para una de las estaciones de muestreo, mientras que en los demás puntos de monitoreo estos valores no fueron detectables por los protocolos y equipos de laboratorio utilizados para su análisis.

En el estudio de capacidad de carga del Lago Guamuez realizado por CORPONARIÑO en el año 2014, se reportan valores promedio de fosfatos de 0,057 mg/L de  $P-PO_4^{-3}$ , siendo un poco mayores a los obtenidos en este estudio principalmente para el área 2 ( $0,039 \pm 0,0000$ ), pero que al igual son valores bajos que no representan peligrosidad de eutrofización del lago. De igual forma en estudios anteriores se reportan valores de fosfatos con rangos comprendidos entre 0,046 mg/L (Castillo y Martinez, 1996) y de 1 mg/L (MAVDT y CORPONARIÑO, 2011) para zonas dentro del lago, y de 0,09 mg/L en los afluentes del lago Guamuez (García et al., 2001), lo que demuestra un aumento en este parámetro a través del tiempo; sin embargo contrastando los resultado de este estudio con respecto al fósforo total y los expuestos por Roldán (1992), se puede decir que el Lago Guamuez es caracterizado como mesoeutrófico por estar entre el rango de 0,010 y 0,030 mg/L. (Carneiro et al, 2016)

No se han estimado qué concentraciones de fósforo o fosfatos afectan negativamente a los peces. En cuanto a los límites para que la calidad del agua no se altere el BOJA establece un valor de 40 mg/l para el fósforo total, en Dinamarca la diferencia entre el agua de entrada y de salida del cultivo no puede superar los 0,03 mg/l y en los Países Bajos la calidad de agua para efluentes indica una concentración máxima permitida para el fósforo total de 5 mg/l. (Vergara et al, 2005; Vitoria, 2015; Mazzucchelli, 2016).

Con respecto a los análisis de la materia orgánica y los carbonatos de los sedimentos, se resalta que los depósitos de sedimentos en los lagos funcionan bien sea como fuente o como reserva de muchos de los nutrientes esenciales involucrados en el proceso de eutrofización (Wetzel, 1981; Carmouze, 1994). Además, la energía externa disponible en el ambiente o en el sistema se refleja en las características del sedimento; por ello, la composición de los materiales de origen alóctono o autóctono y la velocidad con que se acumulan expresa la actividad del lago como receptor de una cuenca y como centro de actividad biológica (Margalef 1983). El sedimento ha sido muy poco utilizado en la caracterización de ecosistemas lacustres y fue Naumann (1930) quien lo utilizó para la tipología de lagos por primera vez. Según este autor, sedimentos ricos en compuestos de fósforo, nitrógeno y materia orgánica de origen autóctono son típicos de lagos eutróficos, mientras que sedimentos con baja concentración de compuestos fosfatados, nitrogenados y de materia orgánica caracterizan lagos oligotróficos como lo es el caso del Lago Guamuez.

La determinación de materia orgánica de los sedimento determino que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas 1 y 3 con respecto al área 2 (jalulas de levante y engorde), donde se obtuvieron los mayores resultados con un porcentaje de 69,22, seguido del área 1 (jaulas de alevinaje) con 31,06% y finalmente el área 3 (punto control) con 23,12%. De igual forma los carbonatos de los sedimentos también presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas 1 y 3 con respecto al área 2 donde se presentaron los valores más altos con un porcentaje de 8,61; seguido del área 1 con 4,46 y el menor valor se obtuvo en el área 3 con 3,60%. Estos resultados demuestran que la materia orgánica y los carbonatos de los sedimentos se incrementan significativamente en las jaulas de cultivo (SLA, 2014), principalmente en el área 2 donde se desarrollan las fases de levante y engorde y por consecuente es mayor la utilización de concentrado comercial y otra clase de productos para el mantenimiento del cultivo; de igual forma el tamaño de los animales es mayor (185 gr hasta 300 y 600 gr por individuo) lo cual implica que la deposición de materia orgánica por la heces se incremente (Pardo et al., 2006). Con ello se puede demostrar que los procesos de cultivo de trucha arcoíris en jaulas flotantes ubicados en el lago Guamuez alteran la calidad del agua con respecto al contenido de materia orgánica y porcentaje de carbonatos en los sedimentos, causando un impacto ambiental en el medio circundante. (Vera y Vergara, 2016; Ackefors and Enel, 2007).

Estos resultados se contrastan con los expuestos por Ramírez (2004), quien obtuvo valores de 16% a 20% de materia orgánica en su estudio caracterización del sedimento de una laguna tropical rasa y quien cita a Ungemach (1960) quien expone que los valores mayores a 10% de materia orgánica y 5% de carbonatos corresponden a lagos con sedimentos orgánicos del tipo gyttja y valores menores a los descritos, corresponden a lagos con sedimentos minerales.

### **6.3 Estado ambiental de la calidad del agua mediante la identificación taxonómica de macrofauna bentónica y su uso como indicadores biológicos.**

El creciente deterioro de los ecosistemas acuáticos, principalmente los lagos y humedales de importancia ambiental, ha venido demandando el desarrollo de sistemas y metodologías, que permitan conocer su grado de alteración debido a causas naturales y/o antropogénicas (Pérez et al, 2007). En los últimos años se ha documentado la relación entre las distintas comunidades biológicas y la degradación de los sistemas acuáticos

(Hinselhoff, 1998). Considerando que las perturbaciones en los sistemas acuáticos afectan a los seres vivos que los habitan, se han desarrollado diversas metodologías que utilizan una amplia variedad de organismos, desde bacterias, macroinvertebrados, plantas y hasta peces como indicadores biológicos de estas alteraciones (Barbour, 1996), como un reflejo de los cambios químicos y físicos que generan las diferentes actividades humanas, considerándolos una medida necesaria junto a los análisis químicos tradicionales utilizados para caracterizar la contaminación.

Los macroinvertebrados bentónicos han sido reconocidos como potenciales indicadores de la calidad biológica de los sistemas acuáticos fluviales desde hace mucho tiempo (Resh et al., 1995), esencialmente por su amplia distribución y diversidad, lo que les permite adaptarse a características muy definidas de calidad del agua. Además, son capaces de integrar información temporal y su sensibilidad les permite responder a varios tipos de perturbaciones contaminantes, reflejando el efecto integrado de todas las variables ambientales (Allan, 2004).

En este estudio se obtuvieron siete familias de macroinvertebrados con un total de 537 individuos. Las familias *Chironomidae*, *Thiaridae*, *Ampullariidae*, *Planariidae* y *Tubificidae*, encontradas en las áreas 1 y 2 correspondientes a las jaulas de cultivo son indicadoras de aguas contaminadas o medianamente contaminadas, mientras que las familias *Hydrachnidae* e *Hydrobiosidae* encontradas en el área 3 o punto control son indicadoras de buena calidad de agua. (Roldan, 1973, 1988, 1992, 1996, 1998).

Según CORPONARIÑO (2014), en el lago Guamuez se encontraron las mismas familias anteriormente mencionadas; donde la presencia de la familia *Chronomidae*, en un cuerpo de agua, es indicadora de aguas mesoeutróficas, mientras que la presencia de la familia *Hydrobiosidae*, indican aguas oligotróficas. Por su parte, la familia *Planariidae*, indican que el lago Guamuez posee aguas muy bien oxigenadas, lo cual se corrobora en la presente investigación (Muñoz y Obando, 2000).

El mayor número de individuos encontrados en el estudio corresponde a la familia *Chronomidae*, conocidos comúnmente como “mosquitos de lago”, conforman una familia grande y cosmopolita, representando la mayor parte de los macroinvertebrados que habitan aguas dulces lénticas; en muchos hábitats acuáticos, este grupo suele constituir

más de la mitad del número total de especies de macroinvertebrados presentes, pues cuentan con la capacidad de adaptarse fácilmente a todo tipo de medio ambiente acuático o semiacuático. Sus larvas se desarrollan en altas profundidades entre los 15 y 20 metros (Roldan, 1999), lo que concuerda con las características de profundidad y sedimentación del área de estudio donde se recepcionaron.

Con esto se puede deducir que la presencia/ ausencia de las familias de macroinvertebrados encontrados demuestra que existe una contaminación por parte de los cultivos acuícolas de trucha arcoíris en la calidad del agua de las zonas donde se desarrollan, alterando el ambiente y el ecosistema del Lago. Sin embargo, se realizó el cálculo de índices de diversidad que nos brindan una mayor certeza de la hipótesis confirmada en este estudio; analizando en primer lugar el índice de diversidad de Shannon el cual no presenta diferencias significativas entre áreas, demuestra la diversidad de las zonas de estudio con respecto a la macrofauna bentónica (Pla, 2006; Heryng, 2006), obteniendo los mayores valores de diversidad en el área 1 con 1,3991, seguido de las áreas 2 y 3 con valores de 1,245 y 0,619 respectivamente. Si bien es cierto se nota un leve incremento en las áreas de cultivo, estos valores obtenidos no son estadísticamente influyentes y representan una baja diversidad de especies (Figuroa, et al 2007; Somarriba, 2013).

Con respecto a los índices de equitatividad Pielou y riqueza de Margalef, estos no presentaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las áreas de muestreo. La equitatividad de Pielou presentó el valor más alto en el área 1 con 0,715, seguido del área 2 y 3 con 0,640 y 0,318, lo cual demuestra que los mayores valores corresponden a las jaulas de cultivo y que dichos resultados se acercan a 1 indicando que los individuos de las cinco familias encontradas en estas dos áreas tienden a ser más uniformes en su estructura y a pesar de que la diversidad en estas zonas también fue mayor. Estos comportamientos corresponden a que las abundancias de las familias encontradas son similares y pertenecen a las familias indicadoras de aguas medianamente contaminadas y contaminadas (FerríoL, y Merle, 2012; Acosta, 2005). Por el contrario la riqueza de especies de Margalef presentó su mayor valor en el área 3 o punto control donde se encontraron las familias *hydrobiosidae* e *hydrachnidae* indicadoras de buena calidad de agua, con un valor de 1,478 seguido del área 1 con 1,146 y el valor más bajo se obtuvo en

el área 2 con 1,062 y en las cuales las cinco especies encontradas son indicadoras de contaminación (*Chironomidae*, *Thiaridae*, *Ampullariidae*, *Planaridae* y *Tubificidae*) (Adams, 2002; Baptista et al., 2007; Bonada et al., 2006). Sin embargo para este índice no se presentaron diferencias estadísticamente significativas. Este estudio demuestra que la familia *Chironomidae* presenta la mayor riqueza de individuos de todas las especies, lo que refleja el impacto ambiental que se genera en los sedimentos depositados bajo las jaulas (Wymer and Cook, 2003, Rossaro et al., 2006). Considerando que dicha familia fue registrada en las áreas 1 y 2 (jaulas de alevinaje y jaulas de levante y engorde), y representó el 40% del total de la comunidad de macroinvertebrados, presentando una riqueza considerable se ratifica la perturbación del agua en estas, áreas (Lenat, 1983; Helson et al., 2006; Gunard, 2013).

Con respecto al análisis de los parámetros comunitarios de biodiversidad biológica se tiene la dominancia de Berger-Parker, la cual no presentó diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las áreas de muestro, sin embargo el mayor valor se presentó en el área 3, con 0,690 seguido del área 1 con 0,484 y el área 2 con 0,690, siendo similares a los reportados por Meza et al., (2014) para la subcuenca del río Chinchina y Pantoja et al 2013, quienes afirman en su estudio en lagos del altiplano cundiboyacense que estos valores corresponden a bajas diversidades y altas predominancias con respecto a la macrofauna bentónica del fondo y lecho del lago. Estos resultados demuestran que las especies de macroinvertebrados más dominantes fueron *hydrobiosidae* e *hydrachnidae* las cuales se encontraron en el área 3 (punto control) y son indicadores de aguas no contaminadas (Torralba et al., 2009). En las áreas 1 y 2 correspondientes a las jaulas de cultivo, se presentó una menor dominancia y un mayor valor de diversidad, lo que demuestra que las especies tolerantes a la contaminación tienen menores valores de dominancia pero su distribución es mayor siendo esto un mal indicador de calidad (Morell y Verli, 2014; Drake y Arias, 1997; Gnohossou et al., 2009).

Finalmente el análisis estadístico mediante el análisis discriminante y análisis de correlaciones, nos muestran la interacción entre todas las variables evaluadas, resaltando la influencia del oxígeno disuelto y el pH con respecto a los parámetros fisicoquímicos y los nitritos y nitratos para los nutrientes. Estas variables de mayor influencia se correlacionan significativamente con la profundidad, aumentando o disminuyendo sus valores dependiendo directa o indirectamente de esta variable. La diversidad de Shannon y equitatividad de Pielou se presentaron como las variables de influencia para la

macrofauna bentónica, determinando que la acuicultura ocasiona ciertos cambios en las comunidades bentónicas. Según las tablas de clasificación estadísticas, todas las variables estudiadas en esta investigación (Parámetros fisicoquímicos, Nutrientes y macrofauna Bentónica), se analizaron bajo una correcta clasificación, lo que garantiza la certeza de las muestras y el modelo estadístico para su análisis. Si bien es cierto según los resultados obtenidos y el análisis realizado los cambios ambientales ocasionados por los procesos acuícolas en el ecosistema y la calidad del agua del Lago Guamuez no son extremos o alarmantes, se comprueba que existe un nivel de impacto ambiental en las áreas de influencia, lo que conlleva a prestar atención y seguimiento al desarrollo de esta actividad y se deben encender las alarmas sobre futuros impactos negativos sobre el ecosistema originados por el potencial aumento de las estaciones de cultivos. Este trabajo investigativo no sólo pretende crear una visión objetiva sobre los impactos ambientales y el cambio del ecosistema del lago por causa de los procesos acuícolas, sino crear una conciencia ambiental sobre la importancia de este ecosistema catalogado como humedal RAMSAR y con ello, poder aportar a la construcción y/o adopción de normas que regulen las empresas establecidas en el sector para que se realice una producción de forma sustentable, sostenible y amigable con el ambiente.

# 7. Conclusiones y recomendaciones

## 7.1 Conclusiones

- Según la toma de datos y el análisis estadístico se demostró que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas y profundidades de muestreo con respecto a los parámetros fisicoquímicos; lo que determinó que la actividad acuícola de las áreas estudiadas genera cambios ambientales negativos en la zona donde se desarrolla.
- La identificación taxonómica de la macrofauna bentónica, permitió establecer que las jaulas de cultivo presentan especies de macroinvertebrados indicadores de aguas medianamente contaminadas y contaminadas (*Chironomidae*, *Thiaridae*, *Ampullariidae*, *Planaridae* y *Tubificidae*); al contrario del área 3 o punto control que se identificó las familias *Hydrobiosidae* e *Hydrachnidae* indicadoras de aguas claras y no contaminadas; lo que establece que los procesos acuícolas deterioran la calidad del agua y los sedimentos de las áreas influenciadas.
- El análisis estadístico estableció que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas de muestreo con relación a los parámetros comunitarios de diversidad biológica, demostrando que las áreas 1 y 2 (Jaulas de alevinaje y jaulas de levante y engorde), presentan una mayor diversidad y equitatividad de especies, mientras que la riqueza y la dominancia presentaron sus mayores valores en el área 3; lo que establece el grado de intervención ambiental en las jaulas de cultivo.
- La materia orgánica y los carbonatos presentaron sus mayores valores en el área 2 (jaulas de levante y engorde), donde se encuentran la mayor densidad y biomasa de cultivo, seguido del área 1 (jaulas de alevinaje) lo que demuestra que el suministro de alimento, productos farmacéuticos, aditivos para el crecimiento de los peces, las heces de los mismos, el lavado de mallas e instalaciones entre otros incrementan los porcentajes de materia orgánica de los sedimentos lacustres, creando zonas de degradación orgánica que deterioran su calidad y la del agua debajo y en el medio circundante a las jaulas.

- Según el análisis de nutrientes, los nitritos, nitratos, fosfatos y fósforo total, presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre áreas pero no entre profundidades, incrementando sus valores en las áreas 1 y 2 pertenecientes a las jaulas de cultivo; lo que demuestra que existe una mayor contaminación debido principalmente al alimento suministrado a los peces, los productos metabólicos de los mismos y el alimento no consumido.
- El análisis multivariado y análisis discriminante permitió establecer que las variables de mayor influencia en relación con los procesos acuícolas son el pH, el oxígeno disuelto, los nitritos, nitratos, la diversidad de Shannon y equitatividad de Pielou; esto no significa que las demás variables no se correlacionen o no sean influenciadas por los cultivos y con las demás variables, sino que sus valores no son tan relevantes como las variables anteriormente nombradas.
- Los resultados obtenidos en el presente estudio nos permiten visualizar los impactos ambientales que ocasiona la acuicultura intensiva en jaulas flotantes en sistemas lenticos oligotróficos como es el caso del Lago Guamuéz. Si bien es cierto los resultados de los cambios ambientales no son alarmantes, se denota la degradación del agua y los sedimentos que se encuentran influenciados por las jaulas de cultivo, por lo cual se debe prestar atención e importancia al desarrollo de esta actividad en el Lago, puesto que las empresas legales como ilegales siguen creciendo, lo que puede causar alerta sobre la capacidad de carga del Lago.

## 7.2 Recomendaciones

- Esta clase de investigaciones debe darse a conocer a las entidades territoriales, gubernamentales, empresarios y comunidad de la zona de influencia del Lago Guamuez, con el fin de dinamizar la producción en relación a las buenas prácticas de acuicultura.
- Se debe seguir realizando esta clase de estudios no solo en el Lago Guamuez en el departamento de Nariño, sino debe extenderse a los cuerpos de agua donde se realizan actividades y procesos acuícolas, y aún más si estos lagos o lagunas son catalogados con la denominación RAMSAR dentro de la importancia ambiental y ecológica que brindan estos Humedales a los ecosistemas de interés mundial. De igual forma se deben articular acciones técnicas e investigativas con las Corporaciones Autónomas Regionales quienes son las encargadas de velar por la protección del ambiente y los recursos naturales en cada municipio, y al mismo tiempo aunar esfuerzos con entidades gubernamentales, no gubernamentales y entes territoriales de carácter ambiental a nivel local, regional y nacional con el fin de brindar lineamientos para el desarrollo y sostenibilidad del sector.
- La disponibilidad presupuestal es un limitante para la ejecución de esta clase de investigaciones, por lo cual junto a la actividad académica y al sector empresarial se debe gestionar los recursos técnicos y económicos que permitan analizar un mayor número de variables que brinden una mayor información técnica y científica sobre los impactos ambientales que causa la acuicultura intensiva en instalaciones de jaulas flotantes en sistemas acuáticos lenticos como el caso del Lago Guamuez.
- Si bien es cierto el Lago Guamuez es catalogado como un lago tropical de alta montaña, donde su temperatura y época de lluvias no presenta grandes variaciones, sería pertinente replicar los muestreo en época de lluvias altas y bajas con el fin de mitigar al máximo los errores de información en la toma de muestras de parámetros fisicoquímicos, nutrientes y macrofauna bentónica.



# A.Anexo: Medición de parámetros fisicoquímicos en las áreas y puntos de muestreo.

Registro de parámetros fisicoquímicos en las áreas y puntos de muestreo																																				
FECHA	14-may-16										16-jul-16										11-sep-16															
COORDENADAS	1°04'22.2" N - 77°08'18.5" W - Punto Control																																			
ESTACIÓN	JAULAS DE ALEVINAJE																																			
MEDICIÓN	ÁREA 1																																			
	PUNTO 1									PUNTO 2									PUNTO 3																	
	0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros											
	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom				
OD (mg/l)	9,7	9,4	9,3	9,47	8,9	8,9	8,8	8,87	5,9	5,8	5,8	5,83	9,7	9,6	9,5	9,60	8,7	8,6	8,7	8,67	5,8	5,7	5,9	5,80	9,6	9,5	9,6	9,57	8,7	8,7	8,7	8,70	5,8	5,7	5,7	5,73
Tº (°C)	17,1	17,0	17,0	17,03	16,6	16,6	16,5	16,57	15,5	15,5	15,3	15,43	17	17,1	17,1	17,07	16,2	16,3	16,3	16,27	15,5	15,4	15,4	15,43	17,2	17,1	17,1	17,13	16,3	16,3	16,3	16,30	15,4	15,4	15,3	15,37
CE (µS/cm)	80,5	81,4	81	80,97	85,6	85,7	85,8	85,70	92,0	93,0	95,0	93,33	81,0	81,0	82,0	81,33	86,0	85,9	85,8	85,90	94,0	95,0	94,4	94,47	81,4	82,0	81,2	81,53	85,5	86,0	85,8	85,77	94,3	94,8	95,0	94,70
PH	8,38	8,37	8,37	8,37	8,13	8,11	8,12	8,12	8,00	7,99	7,99	7,99	8,40	8,39	8,39	8,39	8,10	8,16	8,14	8,13	8,00	8,00	7,98	7,99	8,36	8,37	8,39	8,37	8,15	8,13	8,13	8,14	7,98	7,99	7,99	7,99
DUREZA	22,35	22,35	21,29	22,00	21,10	20,81	21,10	21,00	21,10	21,10	20,81	21,00	22,35	22,30	21,29	21,98	21,15	20,81	21,10	21,02	21,10	21,14	20,81	21,02	22,4	22,30	21,29	22,00	21,15	20,81	21,15	21,04	21,10	21,14	20,81	21,02
ALCALINIDAD	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,2	17,12	17,11	17,00	17,2	17,00	17,07	16,99	17,2	17,00	17,06	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,20	17,00	17,07	16,99	17,01	16,99	17,00	16,99	17,00	17,00	17,00	17,20	17,00	17,04	17,08
TRANSPARENCIA (m)	3,40			3,43			3,45			3,43			3,40			3,44			3,50			3,42			3,42			3,41			3,11					

FECHA	14-may-16										16-jul-16										11-sep-16															
COORDENADAS	1°04'22.2" N - 77°08'18.5" W - Punto Control																																			
ESTACIÓN	JAULAS DE LEVANTE																																			
MEDICIÓN	ÁREA 2																																			
	PUNTO 1									PUNTO 2									PUNTO 3																	
	0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros											
	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom				
OD	9,9	9,9	9,8	9,87	8,9	8,8	8,7	8,80	6,0	5,9	5,9	5,93	9,8	9,7	9,9	9,80	8,7	8,8	8,8	8,77	6,0	6,0	5,9	5,97	9,8	9,7	9,9	9,80	8,6	8,6	8,7	8,63	5,7	5,8	5,7	5,73
Tº	17,3	17,4	17,3	17,33	16,8	16,8	16,9	16,83	15,5	15,8	15,6	15,63	17,2	17,3	17,3	17,27	16,7	16,7	16,8	16,73	15,6	15,7	15,7	15,67	17,2	17,2	17,3	17,23	16,7	16,8	16,8	16,77	15,5	15,6	15,7	15,60
CE	90,0	90,1	90,2	90,10	104	102	105	103,67	124,4	125,2	127,5	125,70	90,2	90,3	90,3	90,27	105,4	105,8	104,9	105,37	126,4	125,6	126,8	126,27	90,4	90,2	90,2	90,27	102,6	103,7	105,4	103,90	125,9	126,7	125,8	126,13
PH	8,40	8,39	8,38	8,39	8,14	8,14	8,13	8,14	7,89	7,88	7,90	7,89	8,36	8,37	8,37	8,37	8,10	8,11	8,11	8,11	7,90	7,91	7,89	7,90	8,41	8,39	8,40	8,40	8,09	8,10	8,10	8,10	7,92	7,93	7,92	7,92
DUREZA	21,20	20,81	21,00	21,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,15	19,84	20,02	20,00	20,80	21,10	21,11	21,00	20,02	20,00	19,99	20,00	20,15	19,84	20,02	20,00	20,69	21,22	21,10	21,00	20,01	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,01	20,00
ALCALINIDAD	17,59	17,40	17,80	17,60	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	17,80	18,20	18,00	17,39	17,56	17,89	17,61	18,05	17,85	18,20	18,03	18,00	18,20	17,80	18,00	17,99	17,86	17,00	17,62	17,99	17,80	18,22	18,00	18,20	18,00	17,80	18,00
TRANSPARENCIA	3,10			3,12			3,11			3,11			3,13			3,12			3,12			3,10			3,10			3,11			3,10					

FECHA	14-may-16										16-jul-16										11-sep-16															
COORDENADAS	1°04'22.2" N - 77°08'18.5" W - Punto Control																																			
ESTACIÓN	PUNTO CONTROL																																			
MEDICIÓN	ÁREA 3																																			
	PUNTO 1									PUNTO 2									PUNTO 3																	
	0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros			0 Metros			10 Metros			20 Metros											
	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom				
OD	10	10,1	10,2	10,10	9,9	9,8	9,7	9,80	7,7	7,8	7,9	7,80	10,2	10,2	10,1	10,17	9,7	9,8	9,9	9,80	7,5	7,6	7,6	7,57	10,3	10,2	10,2	10,23	9,7	9,7	9,9	9,77	7,5	7,6	7,4	7,5
Tº	17,0	17,0	17,1	17,03	16,5	16,4	16,5	16,47	15,0	15,2	15,4	15,10	17,1	17,0	17,1	17,07	16,3	16,3	16,4	16,33	15,1	15,0	15,3	15,13	17,3	17,4	17,2	17,30	16,2	16,2	16,2	16,20	15,2	15,3	15,3	15,267
CE	68,5	69,1	66,7	68,10	74,3	75,5	72,4	74,07	81,1	80,4	80,7	80,73	68,0	68,9	68,5	68,47	74,5	74,0	75,4	74,63	81,4	81,2	80,0	80,87	67,7	68,6	68,4	68,23	74,8	74,9	75,1	74,93	80,8	80,9	81,0	80,9
PH	8,60	8,59	8,61	8,60	8,49	8,49	8,50	8,49	8,40	8,30	8,30	8,33	8,58	8,58	8,58	8,58	8,44	8,44	8,45	8,44	8,29	8,30	8,31	8,30	8,60	8,60	8,59	8,60	8,43	8,42	8,43	8,43	8,27	8,29	8,28	8,28
DUREZA	25,00	25,01	25,00	25,00	24,10	23,90	24,01	24,00	24,10	23,90	24,01	24,00	24,87	25,00	25,14	25,00	24,01	23,90	24,10	24,00	24,16	24,00	23,85	24,00	24,90	25,10	25,00	25,00	24,20	23,77	24,03	24,00	24,19	24,00	23,80	24,00
ALCALINIDAD	15,60	15,60	15,60	15,60	15,61	15,62	15,64	15,62	15,89	15,80	15,83	15,84	15,61	15,65	15,64	15,63	15,62	15,65	15,64	15,64	15,89	15,76	15,72	15,79	15,61	15,65	15,64	15,63	15,64	15,67	15,64	15,65	15,89	15,76	15,74	15,80
TRANSPARENCIA	4,82			4,87			5,10			4,93			4,57			4,69			4,94			4,73			4,72			4,88			4,99					



**B. Anexo:** Promedios, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de parámetros fisicoquímicos en las áreas y puntos de muestreo.

Oxígeno (mg/L)			
	Área 1	Área 2	Área 3
0 Metros	9,54	9,82	10,17
10 Metros	8,74	8,73	9,79
20 Metros	5,79	5,88	7,62
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3
0 Metros	0,53	0,19	0,08
10 Metros	0,16	0,01	0,13
20 Metros	0,15	0,11	0,13
	Error estan	Error estan	Error estan
0 Metros	0,176	0,064	0,028
10 Metros	0,053	0,003	0,043
20 Metros	0,051	0,037	0,045
	coefi varia	coefi varia	coefi varia
0 Metros	5,52	1,95	0,83
10 Metros	1,82	0,10	1,32
20 Metros	2,64	1,87	1,76

Temperatura (°C)			
	Área 1	Área 2	Área 3
0 Metros	17,08	17,28	17,13
10 Metros	16,38	16,78	16,33
20 Metros	15,41	15,63	15,20
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3
0 Metros	0,07	0,31	0,02
10 Metros	0,07	0,14	0,02
20 Metros	0,10	0,17	0,07
	Error estan	Error estan	Error estan
0 Metros	0,023	0,105	0,007
10 Metros	0,025	0,046	0,006
20 Metros	0,033	0,058	0,023
	Coef variac	Coef variac	Coef variac
0 Metros	0,40	1,82	0,13
10 Metros	0,45	0,82	0,11
20 Metros	0,63	1,11	0,45

Conductividad Electrica (µS/cm)			
	Área 1	Área 2	Área 3
0 Metros	81,28	68,27	68,27
10 Metros	90,21	72,31	74,54
20 Metros	68,27	126,03	80,83
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3
0 Metros	3,41	0,13	0,13
10 Metros	0,01	0,10	0,11
20 Metros	0,13	0,01	0,08
	Error estan	Error estan	Error estan
0 Metros	1,136	0,042	0,042
10 Metros	0,002	0,032	0,036
20 Metros	0,042	0,002	0,027
	coef variaci	coef variaci	coef variaci
0 Metros	4,19	0,18	0,18
10 Metros	0,01	0,13	0,14
20 Metros	0,18	0,00	0,10

Alcalinidad (mgCaCO3/L)			
	Área 1	Área 2	Área 3
0 Metros	17,02	17,61	15,62
10 Metros	17,07	18,01	15,64
20 Metros	17,07	18,00	15,81
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3
0 Metros	0,07	0,31	0,02
10 Metros	0,07	0,14	0,02
20 Metros	0,10	0,17	0,07
	Error estan	Error estan	Error estan
0 Metros	0,023	0,105	0,007
10 Metros	0,025	0,046	0,006
20 Metros	0,033	0,058	0,023
	Coefic varia	Coefic varia	Coefic varia
0 Metros	0,40	1,78	0,14
10 Metros	0,43	0,77	0,12
20 Metros	0,57	0,96	0,43

Dureza (mgCaCO3/L)			
	Área 1	Área 2	Área 3
0 Metros	21,99	21,00	25,00
10 Metros	21,02	20,00	24,00
20 Metros	21,01	20,00	24,00
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3
0 Metros	0,53	0,19	0,08
10 Metros	0,16	0,01	0,13
20 Metros	0,15	0,11	0,13
	Error estan	Error estan	Error estan
0 Metros	0,176	0,064	0,026
10 Metros	0,053	0,003	0,043
20 Metros	0,051	0,037	0,045
	coefi varia	coefi varia	coefi varia
0 Metros	2,39	0,91	0,32
10 Metros	0,76	0,04	0,54
20 Metros	0,73	0,55	0,56

pH			
	Área 1	Área 2	Área 3
0 Metros	8,38	8,39	8,59
10 Metros	8,13	8,11	8,45
20 Metros	7,99	7,90	8,30
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3
0 Metros	0,013	0,017	0,011
10 Metros	0,019	0,019	0,030
20 Metros	0,008	0,104	0,038
	Error estan	Error estan	Error estan
0 Metros	0,004	0,006	0,004
10 Metros	0,006	0,006	0,010
20 Metros	0,003	0,035	0,013
	coef variaci	coef variaci	coef variaci
0 Metros	0,16	0,20	0,13
10 Metros	0,23	0,23	0,36
20 Metros	0,10	1,32	0,46



### C. Anexo: Análisis Estadístico para Oxígeno Disuelto (mg/L).

Pruebas de Normalidad		
Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	117,0	4,44089E-16
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,813307	1,59872E-14
Valor-Z para asimetría	1,84131	0,065576

Tabla ANOVA para OD por Área					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	22,264	2	11,132	4,83	0,0106
Intra grupos	179,917	78	2,30663		
Total (Corr.)	202,181	80			

Análisis de varianza para OD: Suma de Cuadrados tipo III					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Área	22,264	2	11,132	453,11	0,0000
Profundidad (Área)	179,068	6	29,8447	1214,78	0,0000
Estación (Profundidad Área)	0,442222	18	0,0245679		
Punto (Estación Profundidad Área)	0,406667	54	0,00753086	0,31	0,9996
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	202,181	80			

Comparaciones Múltiples para OD por Área				
Área	Recuento	Media MC	Sigma MC	Grupos Homogéneos
1	27	8,02593	0,0301649	x
2	27	8,14444	0,0301649	x
3	27	9,19259	0,0301649	x

Método: 95,0 por ciento HSD de Tukey

## D. Anexo: Análisis Estadístico para Temperatura (°C)

Pruebas de Normalidad		
Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	62,679	0,00000144771
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,884414	2,42201E-8
Valor-Z para asimetría	0,826267	0,408651

Tabla ANOVA para Temperatura por Área					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1,76099	2	0,880494	1,59	0,2108
Entra grupos	43,2363	78	0,554311		
Total (Corr.)	44,9973	80			

Análisis de Varianza para Temperatura: Suma de Cuadrados tipo III					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Área	1,76099	2	0,880494	32,72	0,0000
Profundidad (Área)	42,3852	6	7,0642	262,48	0,0000
Estación (Profundidad Área)	0,484444	18	0,0269136		
Punto (Estación Profundidad Área)	0,366667	54	0,00679012	0,25	1,0000
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	44,9973	80			

Comparaciones Múltiples de Temperatura por Área				
Área	Recuento	Media MC	Sigma MC	Grupos Homogéneos
3	27	16,2222	0,0315721	X
1	27	16,2889	0,0315721	X
2	27	16,563	0,0315721	X

Método 9,05 por ciento HSD de Tukey

## E. Anexo: Análisis Estadístico para Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

<b>Pruebas de Normalidad</b>		
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	100,16	5,00933E-13
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,874841	3,5087E-9
Valor-Z para asimetría	2,35977	0,0182862

<b>Tabla ANOVA para Conductividad por Área</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	14323,8	2	7161,91	75,62	0,0000
Entre grupos	7387,04	78	94,7057		
Total (Corr.)	21710,9	80			

<b>Análisis de Varianza para Conductividad Eléctrica: Suma de cuadrados tipo III</b>					
Área	14323,8	2	7161,91	11419,58	0,0000
Profundidad (Área)	7342,32	6	1223,72	1951,21	0,0000
Estación (Profundidad Área)	10,8578	18	0,60321	0,96	0,5142
Residuo	33,8667	54	0,62716		
Total (corregido)	21710,9	80			

<b>Comparaciones Múltiples para Conductividad por Área</b>				
<i>Área</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
3	27	74,5481	0,149469	x
1	27	87,0778	0,149469	x
2	27	106,852	0,149469	x
Método: 95,0 porciento HSD de Tukey				

## F. Anexo: Análisis Estadístico para pH.

Pruebas de Normalidad		
Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	85,4938	2,06386E-10
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,916737	0,0000158222
Valor-Z para asimetría	0,296763	0,766644

Tabla ANOVA para pH por Área					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1,63034	2	0,815172	29,56	0,0000
Entre grupos	2,15133	78	0,0275811		
Total (Corr.)	3,78167	80			

Análisis de Varianza para pH: Suma de cuadrados tipo III						
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	
Área	1,63034	2	0,815172	743,57	0,0000	
Profundidad (Área)	2,11959	6	0,353265	322,24	0,0000	
Estación (Profundidad Área)	0,0197333	18	0,0010963			
Punto (Estación Profundidad Área)	0,012	54	0,000222222	0,20	1,0000	
Residuo	0,0	0				
Total (corregido)	3,78167	80				

Comparaciones Múltiples para pH por Área				
Área	Recuento	Media MC	Sigma MC	Grupos Homogéneos
2	27	8,13444	0,00637209	×
1	27	8,16704	0,00637209	×
3	27	8,45037	0,00637209	×

Método: 95,0 porciento HSD de Tukey

## G. Anexo: Análisis Estadístico para Transparencia (m)

<b>Pruebas de Normalidad</b>		
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	74,1538	1,96915E-11
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,753521	0,0000126956
Valor-Z para asimetría	1,0209	0,307301

<b>Tabla ANOVA para Transparencia por Área</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	15,1939	2	7,59695	809,19	0,0000
Entre grupos	0,215932	23	0,00938835		
Total (Corr.)	15,4098	25			

<b>Análisis de Varianza para Transparencia: Suma de cuadrados tipo III</b>					
Área	15,152	2	7,57601	750,12	0,0000
Estación (Área)	0,0605986	6	0,0100998		
Punto (Estación Área)	0,155333	17	0,00913725	0,90	0,6007
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	15,4098	25			

<b>Comparaciones Múltiples para Transparencia por Área</b>				
<i>Área</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	9	3,11111	0,0334992	x
1	8	3,42111	0,0361833	x
3	9	4,84222	0,0334992	x

Método: 95,0 porciento HSD de Tukey

## H. Anexo: Análisis Estadístico para Dureza (CaCO<sub>3</sub>/L)

Pruebas de Normalidad		
Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	161,0	0,0
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,834368	1,0405E-12
Valor-Z para asimetría	1,27354	0,202826

Tabla ANOVA para Dureza por Área					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	233,687	2	116,844	432,96	0,0000
Entre grupos	21,0498	78	0,269869		
Total (Corr.)	254,737	80			

Análisis de Varianza para pH: Suma de Cuadrados Tipo III					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Área	233,687	2	116,844	769457,86	0,0000
Profundidad (Área)	17,7174	6	2,9529	19445,89	0,0000
Estación (Profundidad Área)	0,00273333	18	0,000151852		
Punto (Estación Profundidad Área)	3,32967	54	0,0616605	406,06	0,0000
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	254,737	80			

Comparaciones Múltiples para Dureza por Área				
Área	Recuento	Media MC	Sigma MC	Grupos Homogéneos
2	27	20,3363	0,00237153	x
1	27	21,3411	0,00237153	x
3	27	24,3352	0,00237153	x

Método: 95,0 porciento HSD de Tukey

## I. Anexo: Análisis Estadístico para Alcalinidad (CaCO<sub>3</sub>/L)

Pruebas de Normalidad		
Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	196,309	0,0
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,839768	3,05456E-12
Valor-Z para asimetría	0,52005	0,603026

Tabla ANOVA para Alcalinidad por Área					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	65,6395	2	32,8198	1009,43	0,0000
Entre grupos	2,53602	78	0,0325131		
Total (Corr.)	68,1756	80			

Análisis de Varianza para Alcalinidad: Suma de Cuadrados Tipo III						
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	
Área	65,6395	2	32,8198	13824,24	0,0000	
Profundidad (Área)	1,15402	6	0,192337	81,02	0,0000	
Estación (Profundidad Área)	0,0427333	18	0,00237407			
Punto (Estación Profundidad Área)	1,33927	54	0,0248012	10,45	0,0000	
Residuo	0,0	0				
Total (corregido)	68,1756	80				

Comparaciones Múltiples para Alcalinidad por Área				
Área	Recuento	Media MC	Sigma MC	Grupos Homogéneos
3	27	15,6893	0,00937703	x
1	27	17,0419	0,00937703	x
2	27	17,8737	0,00937703	x
Método: 95,0 por ciento HSD de Tukey				



**K. ANEXO.** Promedios, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de nutrientes en las áreas y puntos de muestreo.

Nitritos (mg/L)			
	Área 1	Área 2	Área 3
0 Metros	0,004	0,005	0,002
10 Metros	0,004	0,005	0,002
20 Metros	0,004	0,004	0,002
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3
0 Metros	0,00	0,000	0,00
10 Metros	0,00	0,00	0,00
20 Metros	0,00	0,00	0,00
	Error estan	Error esta	Error estan
0 Metros	0,0001	0,0000	0,0000
10 Metros	0,0004	0,0000	0,0000
20 Metros	0,0004	0,0000	0,0000
	coef varia	coefi varia	coefi variac
0 Metros	0,00	0,00	0,00
10 Metros	0,00	0,00	0,00
20 Metros	0,00	0,00	0,00

Nitratos (mg/L)			
	Área 1	Área 2	Área 3
0 Metros	0,13	0,18	0,10
10 Metros	0,13	0,18	0,10
20 Metros	0,13	0,18	0,10
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3
0 Metros	0,00	0,00	0,00
10 Metros	0,00	0,00	0,00
20 Metros	0,00	0,00	0,00
	Error estan	Error estan	Error estan
0 Metros	0,0000	0,0000	0,0000
10 Metros	0,0000	0,0000	0,0000
20 Metros	0,0000	0,0000	0,0000
	coef varia	coefi varia	coefi variac
0 Metros	0,00	0,00	0,00
10 Metros	0,00	0,00	0,00
20 Metros	0,00	0,00	0,00

Fosfatos (mg/L)			
	Área 1	Área 2	Área 3
0 Metros	0,030	0,039	0,020
10 Metros	0,030	0,039	0,020
20 Metros	0,030	0,039	0,020
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3
0 Metros	0,00	0,00	0,00
10 Metros	0,00	0,00	0,00
20 Metros	0,00	0,00	0,00
	Error estan	Error esta	Error estan
0 Metros	0,0000	0,0000	0,0000
10 Metros	0,0000	0,0000	0,0000
20 Metros	0,0000	0,0000	0,0000
	cof varia	cof varia	cof varia
0 Metros	0,00	0,00	0,00
10 Metros	0,00	0,00	0,00
20 Metros	0,00	0,00	0,00

Fósforo total (mg/L)			
	Área 1	Área 2	Área 3
0 Metros	0,02	0,031	0,015
10 Metros	0,02	0,031	0,015
20 Metros	0,02	0,031	0,015
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3
0 Metros	0,00	0,00	0,00
10 Metros	0,00	0,00	0,00
20 Metros	0,00	0,00	0,00
	Error estan	Error estan	Error estan
0 Metros	0,0000	0,0000	0,0000
10 Metros	0,0000	0,0000	0,0000
20 Metros	0,0000	0,0000	0,0000
	cof varia	cof varia	cof varia
0 Metros	0,00	0,00	0,00
10 Metros	0,00	0,00	0,00
20 Metros	0,00	0,00	0,00

## L. ANEXO. Análisis Estadístico para Nitritos (mg/L).

Pruebas de Normalidad		
Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	60,6296	7,08156E-9
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,822645	0,000223182
Valor-Z para asimetría	0,573978	0,56598

Tabla ANOVA para Nitritos por Área					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0000398422	2	0,0000199211	194,53	0,0000
Entre grupos	0,00000245778	24	1,02407E-7		
Total (Corr.)	0,0000423	26			

Análisis de Varianza para Nitritos: Suma de Cuadrados Tipo III					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Área	0,0000398422	2	0,0000199211	726,85	0,0000
Estación (Área)	1,64444E-7	6	2,74074E-8		
Profundidad (Estación Área)	0,00000229333	18	1,27407E-7	4,65	0,0329
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	0,0000423	26			

Comparaciones Múltiples para Nitritos por Área				
Área	Recuento	Media MC	Sigma MC	Grupos Homogéneos
3	9	0,00193333	0,0000551839	x
1	9	0,00392222	0,0000551839	x
2	9	0,00484444	0,0000551839	x
Método: 95,0 porciento HSD de Tukey				

## M. ANEXO. Análisis Estadístico para Nitratos (mg/L).

Pruebas de Normalidad		
Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	72,037	5,00023E-11
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,800987	0,0000783237
Valor-Z para asimetría	0,526992	0,598196

Tabla ANOVA para Nitratos por Área					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0300103	2	0,0150051	4489,07	0,0000
Entre grupos	0,0000802222	24	0,00000334259		
Total (Corr.)	0,0300905	26			

Análisis de Varianza para Nitratos: Suma de Cuadrados Tipo III						
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	
Área	0,0300103	2	0,0150051	18415,41	0,0000	
Estación (Área)	0,00000488889	6	8,14815E-7			
Profundidad (Estación Área)	0,0000753333	18	0,00000418519	5,14	0,0258	
Residuo	0,0	0				
Total (corregido)	0,0300905	26				

Comparaciones Múltiples para Nitratos por Área				
Área	Recuento	Media MC	Sigma MC	Grupos Homogéneos
3	9	0,0996667	0,00030089	x
1	9	0,129667	0,00030089	x
2	9	0,180444	0,00030089	x
Método: 95,0 porciento HSD de Tukey				

## N. ANEXO. Análisis Estadístico para Fosfatos (mg/L).

Pruebas de Normalidad		
Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	23,2963	0,0160492
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,883874	0,00547213
Valor-Z para asimetría	0,0899541	0,928318

Tabla ANOVA para Fosfatos por Área					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,00154985	2	0,000774926	221,99	0,0000
Entre grupos	0,0000837778	24	0,00000349074		
Total (Corr.)	0,00163363	26			

Análisis de Varianza para Fosfatos: Suma de Cuadrados Tipo III					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Área	0,00154985	2	0,000774926	909,70	0,0000
Estación (Área)	0,00000511111	6	8,51852E-7		
Profundidad (Estación Área)	0,0000786667	18	0,00000437037	5,13	0,0259
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	0,00163363	26			

Comparaciones Múltiples para Fosfatos por Área				
Área	Recuento	Media MC	Sigma MC	Grupos Homogéneos
3	9	0,0203333	0,000307653	X
1	9	0,0298889	0,000307653	X
2	9	0,0388889	0,000307653	X
Método: 95,0 porciento HSD de Tukey				

## O. ANEXO. Análisis Estadístico para Fosforo Total (mg/L).

<b>Pruebas de Normalidad</b>		
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	29,2963	0,0170491
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,793974	<b>0,00647215</b>
Valor-Z para asimetría	0,0789941	0,868348

<b>Tabla ANOVA para Fosfatos por Área</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	0,00154985	2	0,000694526	<b>232,98</b>	<b>0,0000</b>
Entre grupos	0,0000837778	23	0,00000469172		
Total (Corr.)	0,00163363	25			

<b>Análisis de Varianza para Fosfatos: 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>	
Área	0,00267985	2	0,000974723	910,69	0,0000	
Estación (Área)	0,00000622211	7	8,21652E-7			
Profundidad (Estación Área)	0,0000817678	17	0,00000527130	4,27	<b>0,0348</b>	
Residuo	0,0	0				
Total (corregido)	0,00173562	25				

<b>Comparaciones Múltiples para Fosfatos por Área</b>				
<i>Área</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
3	9	0,0213344	0,000307752	x
1	9	0,0288878	0,000307752	x
2	9	0,0356879	0,000307752	x
Método: 95,0 por ciento HSD de Tukey				

**P. ANEXO.** Medición de Materia Orgánica y Carbonatos en las áreas y puntos de muestreo.

Fecha	16/05/2016				16/07/2016				17/09/2016			
Coordenadas	1°04'22.2" N - 77°08'18.5" W - Punto Control											
Estación	Área 1 (Jaulas de Alevinaje)											
Medición	Estación 1				Estación 2				Estación 3			
	R1	R2	R3	Prom	R1	R2	R3	Prom	R1	R2	R3	Prom
CArbonatos (CO3)2-	4,48	4,54	4,51	<b>4,51</b>	4,08	4,07	4,03	<b>4,06</b>	4,81	4,80	4,85	<b>4,82</b>
Materia Orgánica (%)	28,19	28,11	28,20	<b>28,167</b>	31,70	31,65	31,69	<b>31,68</b>	33,31	33,37	33,36	<b>33,35</b>
Fecha	16/05/2016				16/07/2016				17/09/2016			
Coordenadas	1°04'22.2" N - 77°08'18.5" W - Punto Control											
Estación	Área 2 (Jaulas de Levante y Engorde)											
Medición	Estación 1				Estación 2				Estación 3			
	R1	R2	R3	Prom	R1	R2	R3	Prom	R1	R2	R3	Prom
CArbonatos (CO3)2-	9,52	9,5	9,53	<b>9,52</b>	8,34	8,27	8,35	<b>8,32</b>	7,99	7,96	7,99	<b>7,98</b>
Materia Orgánica (%)	83,74	83,65	83,73	<b>83,71</b>	82,58	82,38	82,48	<b>82,48</b>	41,45	41,48	41,47	<b>41,47</b>
Fecha	16/05/2016				16/07/2016				17/09/2016			
Coordenadas	1°04'22.2" N - 77°08'18.5" W - Punto Control											
Estación	Área 3 (Punto Control)											
Medición	Estación 1				Estación 2				Estación 3			
	R1	R2	R3	Prom	R1	R2	R3	Prom	R1	R2	R3	Prom
CArbonatos (CO3)2-	3,78	3,83	3,82	<b>3,81</b>	3,69	3,68	3,75	<b>3,71</b>	3,30	3,27	3,32	<b>3,30</b>
Materia Orgánica (%)	27,20	27,1	27,23	<b>27,177</b>	23,84	23,92	23,88	<b>23,88</b>	18,30	18,28	18,32	<b>18,30</b>

**Q. ANEXO.** Promedios, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de Materia Orgánica y Carbonatos en las áreas y puntos de muestreo.

<b>% de Materia Orgánica</b>			
	Área 1	Área 2	Área 3
Valor	31,06	69,22	23,12
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3
Valor	2,29	20,82	3,89
	Error estándar	Error estándar	Error estándar
Valor	0,76	6,94	1,30
	Coeficiente de variación	Coeficiente de variación	Coeficiente de variación
Valor	7,37	30,08	16,81

<b>% Carbonatos (CO<sub>3</sub>)<sup>2-</sup></b>			
	Área 1	Área 2	Área 3
Valor	4,46	8,61	3,60
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3
Valor	0,33	0,70	0,24
	Error estándar	Error estándar	Error estándar
Valor	0,11	0,23	0,08
	Coeficiente de variación	Coeficiente de variación	Coeficiente de variación
Valor	7,43	8,13	6,56

## R. ANEXO. Análisis Estadístico para Materia Orgánica (mg/L).

<b>Pruebas de Normalidad</b>		
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	43,0	0,0000108609
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,731769	0,00000355177
Valor-Z para asimetría	1,74621	0,0807746

<b>Tabla ANOVA para MO por Área</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	10931,7	2	5465,87	36,13	0,0000
Entre grupos	3630,62	24	151,276		
Total (Corr.)	14562,4	26			

<b>Análisis de Varianza para Materia Orgánica: 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>
Área	10931,7	2	5465,87	9,03	0,0155
Estación (Área)	3630,57	6	605,095		
Replicas (Estación Área)	0,0469333	18	0,00260741	0,00	1,0000
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	14562,4	26			

<b>Comparaciones Múltiples para MO por Área</b>				
<i>Área</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
3	9	23,1189	8,19956	X
1	9	31,0644	8,19956	X
2	9	69,2178	8,19956	X
Método: 95,0 porciento HSD de Tukey				

## S. ANEXO. Análisis Estadístico para Carbonatos (mg/L).

Pruebas de Normalidad		
Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	37,8148	0,00008407
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,790877	0,0000487119
Valor-Z para asimetría	1,17171	0,241314

Tabla ANOVA para Carbonatos por Área					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	128,72	2	64,3602	294,64	0,0000
Entre grupos	5,24244	24	0,218435		
Total (Corr.)	133,963	26			

Análisis de Varianza para Carbonatos: Suma de Cuadrados Tipo III					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Área	128,72	2	64,3602	73,87	0,0001
Estación (Área)	5,22744	6	0,871241		
Replica (Estación Área)	0,015	18	0,000833333	0,00	1,0000
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	133,963	26			

Comparaciones Múltiples para Carbonatos por Área				
Área	Recuento	Media MC	Sigma MC	Grupos Homogéneos
3	9	3,60444	0,311134	X
1	9	4,46333	0,311134	X
2	9	8,60556	0,311134	X
Método: 95,0 porciento HSD de Tukey				

## T. ANEXO. Número de especies encontradas en las áreas y puntos de muestreo

Taxa			Área 1 - Jaulas de Alevinaje												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	8	10	14	32	17	10	5	32	8	13	6	27	91
Oligochaeta	Clitellata	Tubificidae	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	10	20	20
Gastropoda	Sorbeoconcha	Thiaridae	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	7	17	17
Tubellaria	Seriata	Planariidae	5	3	1	9	4	3	7	14	1	2	1	4	27
Gastropoda	Mesogastropoda	Ampullariidae	0	0	0	0	0	0	0	0	10	14	9	33	33
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>13</b>	<b>13</b>	<b>15</b>		<b>21</b>	<b>13</b>	<b>12</b>		<b>28</b>	<b>40</b>	<b>33</b>		<b>188</b>
<b>TOTAL TAXAS</b>															<b>7</b>

Taxa			Área 2 - Jaulas de Levante y Engorde												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	11	15	10	36	24	9	10	43	16	15	9	40	119
Oligochaeta	Clitellata	Tubificidae	0	0	0	0	2	4	3	9	0	0	0	0	9
Gastropoda	Sorbeoconcha	Thiaridae	0	0	0	0	0	0	0	0	45	50	17	112	112
Tubellaria	Seriata	Planariidae	3	3	1	7	4	2	3	9	1	2	1	4	20
Gastropoda	Mesogastropoda	Ampullariidae	0	0	0	0	0	0	0	0	7	10	9	26	26
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>14</b>	<b>18</b>	<b>11</b>		<b>30</b>	<b>15</b>	<b>16</b>		<b>69</b>	<b>77</b>	<b>36</b>		<b>286</b>
<b>TOTAL TAXAS</b>															<b>7</b>

Taxa			Área 3 - Punto Control												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
Oligochaeta	Clitellata	Tubificidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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	3	4	2	9	0	2	0	2	1	6	0	7	18
Arachnida	Hydracarina	hydrachnidae	2	11	9	22	5	4	9	18	0	0	0	0	40
<b>TOTAL INDIVIDUOS</b>			<b>5</b>	<b>15</b>	<b>11</b>		<b>5</b>	<b>6</b>	<b>9</b>		<b>1</b>	<b>6</b>	<b>0</b>		<b>58</b>
<b>TOTAL TAXAS</b>															<b>7</b>

## U. ANEXO. Análisis Estadístico para Diversidad de Shannon (H')

Pruebas de Normalidad		
Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	23,2963	0,0160492
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,927961	0,0672072
Valor-Z para asimetría	0,596152	0,551071

Tabla ANOVA para Diversidad Shannon por Área					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1,7112	2	0,8556	6,32	0,0063
Entre grupos	3,25161	24	0,135484		
Total (Corr.)	4,96281	26			

Análisis de Varianza para Diversidad de Shannon: Suma de Cuadrados Tipo III					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Área	1,7112	2	0,8556	1,88	0,2327
Estación (Área)	2,73391	6	0,455652		
Puntos (Estación Área)	0,5177	18	0,0287611	0,06	1,0000
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	4,96281	26			

Comparaciones Múltiples para Diversidad Shannon por Área				
Área	Recuento	Media MC	Sigma MC	Grupos Homogéneos
3	9	0,262611	0,225007	X
2	9	0,752078	0,225007	X
1	9	0,832178	0,225007	X

Método: 95,0 por ciento HSD de Tukey

## V. ANEXO. Análisis Estadístico para Equitatividad de Pielou (J`)

<b>Pruebas de Normalidad</b>		
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	23,2963	0,0160492
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,927973	0,0672555
Valor-Z para asimetría	0,596061	0,551132

<b>Tabla ANOVA para Equitatividad Pielou por Área</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	0,451852	2	0,225926	6,31	0,0063
Entre grupos	0,858688	24	0,0357786		
Total (Corr.)	1,31054	26			

<b>Análisis de Varianza para Equitatividad de Pielou: 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>
Área	0,451852	2	0,225926	1,88	0,2327
Estación (Área)	0,721997	6	0,120333		
Puntos (Estación Área)	0,136691	18	0,00759393	0,06	1,0000
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	1,31054	26			

<b>Comparaciones Múltiples para Equitatividad Pielou por Área</b>				
<i>Área</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
3	9	0,134967	0,11563	×
2	9	0,386489	0,11563	×
1	9	0,427644	0,11563	×

Método: 95,0 por ciento HSD de Tukey

## W. ANEXO. Análisis Estadístico para Riqueza de Margalef (Dmg)

Pruebas de Normalidad		
Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	15,0	0,182497
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,912369	0,0273359
Valor-Z para asimetría	0,908545	0,363589

Tabla ANOVA para Riqueza Margalef por Área					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,991436	2	0,495718	0,63	0,5433
Intra grupos	19,0089	24	0,792039		
Total (Corr.)	20,0004	26			

Análisis de Varianza para Riqueza de Margalef: Suma de Cuadrados Tipo III					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Área	0,991436	2	0,495718	0,32	0,7386
Estación (Área)	9,32949	6	1,55491		
Puntos (EstaciónÁrea)	9,67945	18	0,537747	0,35	0,9626
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	20,0004	26			

Comparaciones Múltiples para Riqueza Margalef por Área				
Área	Recuento	Media MC	Sigma MC	Grupos Homogéneos
2	9	1,94089	0,415654	x
1	9	2,08684	0,415654	x
3	9	2,40021	0,415654	x
Método: 95,0 por ciento HSD de Tukey				

## X. ANEXO. Análisis Estadístico para Dominancia de Berger-Parker (B)

<b>Pruebas de Normalidad</b>		
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	17,0741	0,105704
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,930122	<b>0,0761343</b>
Valor-Z para asimetría	1,35353	0,175886

<b>Tabla ANOVA para Dominancia Berger Parker por Área</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	0,142584	2	0,071292	<b>1,15</b>	<b>0,3341</b>
Intra grupos	1,4906	24	0,0621085		
Total (Corr.)	1,63319	26			

<b>Análisis de Varianza para Dominancia de Berger-Parker: 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>
Área	0,142584	2	0,071292	0,81	0,4874
Estación (Área)	0,526763	6	0,0877938		
Puntos (Estación Área)	0,96384	18	0,0535467	0,61	<b>0,8063</b>
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	1,63319	26			

<b>Comparaciones Múltiples para Dominancia Berger Parker por Área</b>				
<i>Área</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	9	0,583556	0,0987667	X
2	9	0,702989	0,0987667	X
3	9	0,757578	0,0987667	X
Método: 95,0 por ciento HSD de Tukey				

## Y. ANEXO. Análisis Estadístico Multivariado para parámetros Físicoquímicos

<b>Resumen Estadístico Multivariado para parámetros Físicoquímicos</b>								
	<i>Alcalinidad</i>	<i>Área</i>	<i>CE</i>	<i>Dureza</i>	<i>OD</i>	<i>pH</i>	<i>Profundidad</i>	<i>T°</i>
Recuento	81	81	81	81	81	81	81	81
Promedio	16,8683	2,0	89,4926	22,0042	8,45432	8,25062	10,0	16,358
Desviación Estándar	0,923144	0,821584	16,4738	1,78444	1,58974	0,217419	8,21584	0,749977
Coefficiente de Variación	5,47266%	41,0792%	18,408%	8,10953%	18,8038%	2,63518%	82,1584%	4,58477%
Mínimo	15,6	1,0	66,7	19,84	5,7	7,88	0,0	15,0
Máximo	18,22	3,0	127,5	25,14	10,3	8,61	20,0	17,4
Rango	2,62	2,0	60,8	5,3	4,6	0,73	20,0	2,4
Sesgo Estandarizado	-0,700366	0,0	3,60973	1,77284	-2,67497	-0,397864	0,0	-1,1241
Curtosis Estandarizada	-2,57449	-2,79056	0,644861	-2,4386	-1,78492	-2,12805	-2,79056	-2,50792

## Z. ANEXO. Correlaciones lineales múltiples de parámetros Físicoquímicos

	Alcalinidad	Área	CE	Dureza	OD	pH	Profundidad	T°
Alcalinidad		-0,6019	0,8288	-0,9534	-0,3684	-0,6922	0,0933	0,0882
		(81)	(81)	(81)	(81)	(81)	(81)	(81)
		0,0000	0,0000	0,0000	0,0007	0,0000	0,4075	0,4334
Área	-0,6019		-0,3124	0,6893	0,3015	0,5353	0,0000	-0,0365
	(81)		(81)	(81)	(81)	(81)	(81)	(81)
		0,0000	0,0045	0,0000	0,0062	0,0000	1,0000	0,7462
CE	0,8288	-0,3124		-0,8237	-0,6903	-0,8543	0,5093	-0,3299
	(81)	(81)		(81)	(81)	(81)	(81)	(81)
		0,0000	0,0045	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0026
Dureza	-0,9534	0,6893	-0,8237		0,4654	0,7961	-0,2287	0,0470
	(81)	(81)	(81)		(81)	(81)	(81)	(81)
		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0400	0,6766
OD	-0,3684	0,3015	-0,6903	0,4654		0,8628	-0,8824	0,8350
	(81)	(81)	(81)	(81)		(81)	(81)	(81)
		0,0007	0,0062	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
pH	-0,6922	0,5353	-0,8543	0,7961	0,8628		-0,7292	0,5879
	(81)	(81)	(81)	(81)	(81)		(81)	(81)
		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000
Profundidad	0,0933	0,0000	0,5093	-0,2287	-0,8824	-0,7292		-0,9575
	(81)	(81)	(81)	(81)	(81)	(81)		(81)
		0,4075	1,0000	0,0000	0,0400	0,0000		0,0000
T°	0,0882	-0,0365	-0,3299	0,0470	0,8350	0,5879	-0,9575	
	(81)	(81)	(81)	(81)	(81)	(81)	(81)	
		0,4334	0,7462	0,0026	0,6766	0,0000	0,0000	

---

## AA. ANEXO. Análisis Estadístico Multivariado para nutrientes

<b>Resumen Estadístico Multivariado para Nutrientes</b>						
	<i>Área</i>	<i>Fosfatos</i>	<i>Fosforo Total</i>	<i>Nitratos</i>	<i>Nitritos</i>	<i>Profundidad</i>
Recuento	27	27	27	27	27	27
Promedio	2,0	0,0297037	0,0218148	0,136593	0,00356667	10,0
Desviación Estándar	0,83205	0,00792666	0,00666816	0,0340195	0,00127551	8,3205
Coefficiente de Variación	41,6025%	26,6858%	30,5671%	24,9058%	35,7619%	83,205%
Mínimo	1,0	0,018	0,014	0,098	0,0018	0,0
Máximo	3,0	0,04	0,032	0,182	0,005	20,0
Rango	2,0	0,022	0,018	0,084	0,0032	20,0
Sesgo Estandarizado	0,0	-0,113794	1,03109	0,673796	-0,735367	0,0
Curtosis Estandarizada	-1,65463	-1,67779	-1,62929	-1,65588	-1,72463	-1,65463

## BB. ANEXO. Correlaciones lineales múltiples de Nutrientes

	Área	Fosfatos	Fosforo Total	Nitratos	Nitritos	Profundidad
Área		-0,5015	-0,2634	-0,3669	-0,6487	0,0000
		(27)	(27)	(27)	(27)	(27)
		0,0077	0,1843	0,0598	0,0003	1,0000
Fosfatos	-0,5015		0,9442	0,9673	0,9481	0,1341
	(27)		(27)	(27)	(27)	(27)
	0,0077		0,0000	0,0000	0,0000	0,5048
Fosforo Total	-0,2634	0,9442		0,9779	0,8684	0,0763
	(27)	(27)		(27)	(27)	(27)
	0,1843	0,0000		0,0000	0,0000	0,7054
Nitratos	-0,3669	0,9673	0,9779		0,9133	0,0204
	(27)	(27)	(27)		(27)	(27)
	0,0598	0,0000	0,0000		0,0000	0,9196
Nitritos	-0,6487	0,9481	0,8684	0,9133		0,0761
	(27)	(27)	(27)	(27)		(27)
	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000		0,7060
Profundidad	0,0000	0,1341	0,0763	0,0204	0,0761	
	(27)	(27)	(27)	(27)	(27)	
	1,0000	0,5048	0,7054	0,9196	0,7060	

**CC. ANEXO.** Análisis Estadístico Multivariado para Transparencia, Materia Orgánica, Carbonatos e Índices comunitarios de diversidad Biológica.

<b>Resumen Estadístico Multivariado para Transparencia, Materia Orgánica, Carbonatos e Índices comunitarios de diversidad Biológica</b>							
	<i>Área</i>	<i>Berger Parker</i>	<i>Carbonatos</i>	<i>Margalef</i>	<i>Materia Orgánica</i>	<i>Pielou</i>	<i>Shannon</i>
Recuento	27	27	27	27	27	27	27
Promedio	2,0	0,681374	5,55778	2,14265	41,1337	0,316367	0,615622
Desviación Estándar	0,83205	0,250629	2,26989	0,877066	23,6662	0,224511	0,436895
Coefficiente de Variación	41,6025%	36,7829%	40,8418%	40,9337%	57,5349%	70,9656%	70,9681%
Mínimo	1,0	0,0	3,27	0,0	18,28	0,0	0,0
Máximo	3,0	1,0	9,53	3,728	83,74	0,7508	1,461
Rango	2,0	1,0	6,26	3,728	65,46	0,7508	1,461
Sesgo Estandarizado	0,0	-1,83855	1,56361	-1,18688	2,48464	0,764437	0,764557
Curtosis Estandarizada	-1,65463	0,702097	-1,30716	1,62509	-0,318175	-0,365142	-0,365175

**DD. ANEXO.** Correlaciones lineales múltiples de Transparencia, Materia Orgánica, Carbonatos e Índices comunitarios de diversidad Biológica.

	Área	Berger Parker	Carbonatos	Margalef	Materia Orgánica	Pielou	Shannon	Transparencia
Área		0,2889	-0,1574	0,1486	-0,1397	-0,5423	-0,5424	0,7609
		(27)	(27)	(27)	(27)	(27)	(27)	(27)
		0,1439	0,4329	0,4593	0,4872	<b>0,0035</b>	<b>0,0035</b>	<b>0,0000</b>
Berger Parker	0,2889		0,0392	0,4100	0,0908	-0,6073	-0,6073	0,1517
	(27)		(27)	(27)	(27)	(27)	(27)	(27)
	0,1439		0,8462	<b>0,0337</b>	0,6525	<b>0,0008</b>	<b>0,0008</b>	0,4501
Carbonatos	-0,1574	0,0392		-0,1321	0,9129	0,2983	0,2983	-0,7371
	(27)	(27)		(27)	(27)	(27)	(27)	(27)
	0,4329	0,8462		0,5113	<b>0,0000</b>	0,1307	0,1307	<b>0,0000</b>
Margalef	0,1486	0,4100	-0,1321		-0,0178	-0,1251	-0,1251	0,1931
	(27)	(27)	(27)		(27)	(27)	(27)	(27)
	0,4593	<b>0,0337</b>	0,5113		0,9298	0,5341	0,5340	0,3344
Materia Orgánica	-0,1397	0,0908	0,9129	-0,0178		0,2005	0,2005	-0,6485
	(27)	(27)	(27)	(27)		(27)	(27)	(27)
	0,4872	0,6525	<b>0,0000</b>	0,9298		0,3159	0,3160	<b>0,0003</b>
Pielou	-0,5423	-0,6073	0,2983	-0,1251	0,2005		1,0000	-0,5570
	(27)	(27)	(27)	(27)	(27)		(27)	(27)
	<b>0,0035</b>	<b>0,0008</b>	0,1307	0,5341	0,3159		<b>0,0000</b>	<b>0,0025</b>
Shannon	-0,5424	-0,6073	0,2983	-0,1251	0,2005	1,0000		-0,5571
	(27)	(27)	(27)	(27)	(27)	(27)		(27)
	<b>0,0035</b>	<b>0,0008</b>	0,1307	0,5340	0,3160	<b>0,0000</b>		<b>0,0025</b>
Transparencia	0,7609	0,1517	-0,7371	0,1931	-0,6485	-0,5570	-0,5571	
	(27)	(27)	(27)	(27)	(27)	(27)	(27)	
	<b>0,0000</b>	0,4501	<b>0,0000</b>	0,3344	<b>0,0003</b>	<b>0,0025</b>	<b>0,0025</b>	

# Bibliografía

- [1] Ackefors, H. and Enel, M. (2007). The release of nutrients and organic matter from aquaculture systems in Nordic countries. *Journal of Applied Ichthyology*. 10(4). 225-241
- [2] Acosta, R. 2005. Caracterización de la Comunidad de Macroinvertebrados Bentónicos de la Cuenca Altoandina del río Cañete (Lima, Perú). Trabajo de Investigación del programa de Doctorado y Diplomado en Estudios Avanzados en Ecología. Universidad de Barcelona. España. 93 pp.
- [3] Adams, M. 2002. *Biological Indicators of Aquatic Ecosystem Stress*. Bethesda. American Fisheries Society, Bethesda. 656.
- [4] Adams, P; James, C; Speas, C. (2008). Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) Species and Conservation Assessment. In: Prepared for the Grand Mesa, Uncompahgre, and Gunnison National Forests. 08 of December, 25.
- [5] Alcorlo, P. (2008) Distintas aplicaciones de isótopos estables  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en estudios de ecosistemas acuáticos continentales. En: P. Alcorn, R. Redondo y J. Toledo (2008) *Técnicas y Aplicaciones Multidisciplinares de los Isótopos Ambientales*. Ediciones Universidad Autónoma de Madrid, UAM. Madrid. 347 - 374.
- [6] Allan, J. (2004). Landscape and Riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Reviews Ecological Systems*. 35. 257-284.
- [7] Arnesen, Petter. (Septiembre de 2012). Global Aquaculture Securing our future. In congress AQUA 2012. Congress conducted in Prague, Czech Republic.
- [8] APROMAR (2004). Asociación Empresarial de Productores de Cultivos Marinos. La Acuicultura en el Mundo. Manuscrito no publicado. Disponible en: [http://212.34.137.246/repositorio/ficheros/acui\\_infor04\\_mundo.pdf](http://212.34.137.246/repositorio/ficheros/acui_infor04_mundo.pdf)
- [9] Arboleda, D. (2006). Limnología aplicada a la acuicultura. *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET*. 7(11). 1-24.

---

[10] Arriaza, M. (2006). Guía Práctica de Análisis de Datos. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. 200.

[11] AUNAP (2013). Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. Diagnóstico del estado de la Acuicultura en Colombia. Bogotá. 163.

[12] AUNAP. (2013). Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. Consolidación del censo pesquero en Pasto. Edición No. 4. Cali, Colombia. 2

[13] AUNAP. (2014). Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. La pesca y la Acuicultura en Colombia. Bogotá. 26

[14] 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

[15] Barbour, M; Gerritsen, J; Griffith, G; Frydenborg, R; McCarron, E; White, J. and Bastian, M. (1996). A Framework for biological criteria for Florida Streams using benthic macroinvertebrates. Journal of the North American Benthological Society. (15)2, 185-211.

[16] Baptista, D; Buss; B; Egler; M; Giovanelli, A; Silveira, P. and Nessimian, J. (2007). A multimetric index based on benthic macroinvertebrates for evaluation of Atlantic Forest streams at Rio de Janeiro State, Brazil. Hydrobiologia. 575. 83-94.

[17] Bautista, J. y Ruiz, J. (2001). Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana. Revista Fuente. 3 (8). 1-5.

[18] Benjumea, C y Toro, A. Evaluación de la estratificación térmica y su relación con el oxígeno disuelto del agua en la ciénaga Cachimbero, municipio de Cimitarra, Santander. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. (41). 48-65.

- 
- [19] Beveridge, M. (1986) Piscicultura en jaulas y corrales. Modelos para calcular la capacidad de carga y las repercusiones en el ambiente. FAO, Documento Técnico de Pesca, (255). 100.
- [20] Bonada, N.; C. Zamora-Muñoz; M. Rieradevall & N. Prat. 2004. Ecological profiles of caddisfly larvae in Mediterranean streams: implications for bioassessment methods. *Environ. Pollut.* 132: 509-521.
- [21] Bonada, N.; N. Prat; V. H. Resh & B. Statzner. 2006. Developments In Aquatic Insect Biomonitoring: A Comparative Analysis of Recent Approaches. *Annu. Rev. Entomol.* 51: 495–523.
- [22] Bordehore, C. (2005) Problemas ambientales, problemas humanos. Capítulo, *Sociología Ambiental*. Grupo Editorial Universitario. Universidad de Alicante, España. 27
- [23] Boyd, C; Toker, C. y Somridhivej. (2016). Alkalinity and Hardness: Critical but Elusive Concepts in Aquaculture. 47(1). 36.
- [24] Bravo, H; Dölz, M; Silva, C; Lagos, A; Millanao, M y Urbina, M. (2005). Diagnóstico del uso de Fármacos y Otros Productos Químicos en la Acuicultura. Proyecto N° 2003 – 28. Universidad Austral de Chile. 256.
- [25] 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.
- [26] California Environmental Protection Agency. State water resources control board. Prospectus Electrical Conductivity / Salinity. [Online]. Disponible en internet, URL:[http://www.waterboards.ca.gov/water\\_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130s.pdf](http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130s.pdf). [Citado en 08 de septiembre de 2015].
- [27] Camargo, A. y Alonso, A. (2007) Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Revista científica de ecología y medio ambiente ECOSISTEMAS*. 16(2). 98-110.

---

[28] Carmouze, J. (1994). O metabolismo dos ecossistemas aquáticos. Fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. Editora Edgar Blücher Ltda. Fapesp. São Paulo-SP.

[29] Carneiro, C; Kelderman, P. y Irvine, K. (2016). Assessment of phosphorus sediment–water exchange through water and mass budget in Passaúna Reservoir (Paraná State, Brazil). *Environ Earth Sci.* 75: 564.

[30] Campoverde, L; Vigo, M. y Fukushima, N. (2011). Evaluación de áreas agrícolas con problemas de salinización para uso potencial en acuicultura en valle bajo del río Santa. 22(2). 413-419

[31] Cardoso, J; Paez, F; Amezcua, F; Ruiz, A; Resendiz, G. and Sanchez, J. (2016). Combined environmental stress from shrimp farm and dredging releases in a subtropical coastal lagoon (SE gulf of California). *Marine Pollution Bulletin*, 104, 83–91.

[32] Carroll, M; Cochrane, S; Fieler, R; Velvin, R. y White, P. (2003). Organic enrichment of sediments from salmon farming in Norway: environmental factors, management practices, and monitoring techniques. *Aquaculture*. 226. 165-180.

[33] Casallas, J. y Gunkel, G. (2002). Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: El Lago San Pablo, Ecuador. *Limnetica*. 20(2), 29-46.

[34] Castillo, G. y Martínez, D. (1996). Evaluación preliminar de los efectos de los cultivos de trucha arcoíris en jaulas flotantes, sobre la calidad del agua del lago Guamues. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. 102.

[35] Cedep (2009). Manual de Crianza. Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Ragash, Perú. 25.

[36] Claros, J. (2012). Estudio del Proceso de Nitrificación y Desnitrificación Vía Nitrito para el Tratamiento Biológico de Corrientes de Agua Residual con Alta Carga de Nitrógeno Amoniacal (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.

[37] Cole, G. (1982). Manual de Limnología. Buenos Aires: Editorial Hemisferio Sur. Argentina. 405.

---

[38] 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

[39] 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.

[40] CURRAS, A. (1990). Estudio de la fauna bentónica de la Ría de Eo (Lugo). Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela, 450.

[41] Chapman, D. (1996). *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. Chapman Hill. London. 626.

[42] David, C. y Castañeda, G. (2014). Sistemas de recirculación para la producción de peces comerciales. *Journal of Engineering and Technology*. 3(2). 62-78.

[43] Davinson, J; Good, Ch; Welsh, C and Summerfelt, S. (2014). Comparing the effects of high vs. low nitrate on the health, performance, and welfare of juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* within water recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*. 59. 30-40.

[44] 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.

[45] Díaz, M; Elizalde, E; Quiróz, H; García, J. y Molina, E. (2005). Caracterización de Algunos Parámetros Físico Químicos del Agua y Sedimento del Lago Zempoala, Morelos, México. *Revista Universitaria, Universidad de Guanajuato*. México. 57-65.

[46] Drake, P. y Arias, A. (1997). The effect of aquaculture practices on the benthic macroinvertebrate community of a lagoon system in the Bay of Cádiz (southwestern Spain). *Journal of the Coastal and Estuarine Research Federation*. 20. 677.

---

[47] Duran, Z. (2007). Evaluación del desempeño de un conjunto de lagunas para el tratamiento de las aguas de riego provenientes del canal Tibanica. Tesis de grado para optar al título de Magister en Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia. 170.

[48] Environmental Protection Agency. (2012). Water quality standards handbook: second edition. EPA-823-B-12-002. Available at: <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/handbook/index.cfm>

[49] Espinoza, J. (1979). Resultados preliminares sobre la distribución superficial de parámetros fisicoquímicos en la ensenada de la Paz, Baja California Sur, durante la primavera de 1976. CalCOFI. 20. 150–163.

[50] Espinosa, T. and Paz, Carmen. (2016). Determination of water quality index (WQI) of Moron river and Patanemo river of Carabobo state in Venezuela. Journal of Engineering University of Carabobo. 23(2). 204-2015.

[51] ESTACIO, F. (1996). Distribución y variación espacio-temporal de las comunidades macrobentónicas del sedimento en la Bahía de Algeciras. Implicaciones en la evaluación de la calidad ambiental del medio marino. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla, 483.

[52] FAO (2011). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 561. Rome. 81.

[53] FAO. (2014). El estado mundial de la acuicultura y pesca. Oportunidades y desafíos. Roma. 274.

[54] FAO (2016). Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of World Fisheries and Aquaculture. Roma. 243.

- 
- [55] FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). Manual Práctico para el Cultivo de la Trucha Arcoíris. Guatemala. 44
- Fernández, N. y Solano, F. (2005). Dinámica fisicoquímica y calidad del agua en la microcuenca el Volcán, municipio de Pamplona, Colombia. Revista de la Facultad de Ciencias Básicas. 3(1). Universidad de Pamplona. 5-17.
- [56] 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.
- [57] 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.
- [58] Figueroa, R. Macroinvertebrados bentónicos en Sistemas Fluviales Chilenos. [En línea]. Disponible en internet, URL: <http://www2.udec.cl/~rfiguero/> [citado el 28 de diciembre de 2017]
- [59] Figueroa, R; Palma, A; Ruiz, V. y Niell, X. (2007). Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: Río Chillan, VIII Región. *Revista Chilena de Historia Natural*. (80)2. 225-242.
- [60] Folch, A; Huanes, M; Bach, J; Mas-Pla, J y Campos V. (2009). Distribución y origen de la presencia de nitrato en el sistema acuífero de la cuenca del Río Moche - Región de La Libertad (Perú). *Revista Pueblo Continente*. 20(1). 2011-219
- [61] FONDEPES. Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero. (2004). Manual de Cultivo de Trucha Arcoíris en jaulas flotantes. Mendoza, R y Palomino, A editores. Perú. 123.
- [62] FONDO DE PREVENCIÓN TURÍSTICA DE COLOMBIA. (2013). Plan de Desarrollo Turístico de Nariño. Departamento de Nariño. Colombia. 299
- [63] Fundación Universitaria Iberoamericana. (2010). Gestión ambiental de la empresa. FUNIBER, Campus Virtual.

---

[64] García, R; Mora, A; y Rodríguez, H. (2001). Evaluación de parámetros fisicoquímicos como indicadores del grado de eutrofización del lago Guamuez, municipio de Pasto, Nariño, Colombia. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Pecuarias, Programa de Ingeniería en Producción Acuícola. Tesis de Grado para optar al título de Ingeniero en producción acuícola. 108.

[65] 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.

[66] Guerrero, F; Manjarres, A y Núñez, L. (2003). Los Macroinvertebrados Bentónicos de Pozo Azul (Cuenca del Rio Gaira, Colombia) y su Relación con La Calidad Del Agua. *Acta Biológica Colombiana*. 8(2). 43-55

[67] Gobernación de Nariño (2010). Acuerdo de Competitividad de la Cadena Piscícola en el Departamento de Nariño. Pasto. 123.

[68] 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.

[69] Grosman, F; González, P; Sanzano, D. y Agüería, D. (2002). Alimentación, nichos tróficos y competencia interespecífica de peces de la laguna de Monte. En: *Actas del Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura CIVA*. 129-140.

[70] 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 Chiriqui, Panamá. *Revista Gestión y Ambiente*. 16(2). 61-70

[71] Hall, P; Holby, O; Kollberg, S. y Samuelsson, M. (1990). Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. IV. Nitrogen. *Marine Ecology Progress Series*. 89. 81-91.

- 
- [72] Hatje, V; Souza, M; Ribeiro, L; Eca, G. & Barros, F. (2016). Detection of environmental impacts of shrimp farming through multiple lines of evidence. *Environmental Pollution*, 219, 672–684.
- [73] Helson, J; Williams, D. and Turner, D. (2006). Larval chironomid community organization in four tropical rivers: human impacts and longitudinal zonation. *Hydrobiologia*. 559. 413-431
- [74] 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
- [75] Hering, D.; C. K. Feld; O. Moog & T. Ofenböck. 2006. Cook book for the development of a Multimetric Index for biological condition of aquatic ecosystems: experiences from the European AQEM and STAR projects and related initiatives. *Hydrobiologia* 566: 311-324.
- [76] Hinselhoff, W. (1998). Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *Journal North American Benthological Society*. (7)7. 65-68.
- [77] Jacobsen, D; Schultz, R. and Encalada, A. (1997). Structure and diversity of stream invertebrate assemblages: the influence of temperature with altitude and latitude. *Freshwater Biological Laboratory. University of Copenhagen*. 38 (2). 247-261.
- [78] Johansen, L; Jensen, I; Mikkelsen, H; Bjorn, P; Jansen, P. and Bergh, O. (2011). Disease interaction and pathogens exchange between wild and farmed fish populations with special reference to Norway. In: *Aquaculture*. 315, 167-186.
- [79] Karakassis, M; Tsapakis, E; Hatziyanni, K; Papadopoulou, N. and Plaiti, W. (2000). Impact of cage farming of fish on the seabed in three Mediterranean coastal areas. *Journal of Marine Science*, 57, 1462–1471.
- [80] Kormondoy, E. (1994). *Conceptos de Ecología Aplicada*. Alianza Editorial. Madrid España. 389.
- [81] Larned, S. (1998). Nitrogen versus phosphorus limited growth and the sources of nutrients for coral reef macroalgae. *Marine Biology*. 132. 409-421.

---

[82] Leiva, M. (2004). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en la Cuenca del Estero Peu Peu Comuna de Lautaro IX región de la Araucanía. Universidad Católica de Temuco, Facultad de ciencias, Chile. 111.

[83] Lenat, D. 1983. Chironomid Taxa Ricgness: Natural Variation and Use in Pollution Assessment. *Fresshwater Invertebrate Biology* 2(4). 192-198

[84] León, J; Alarcón, S; Fierro, J; Mariscal, M; Díaz, T. and Páez, F. (2017). Assessment of environmental loads of Cu and Zn from intensive inland shrimp aquaculture. *Environmental Monitoring and Assessment*. 189. 69.

[85] Lepine, C. Christiansona L; Sharrera K. and Summerfelt S. (2016). Optimizing Hydraulic Retention Times in Denitrifying Woodchip Bioreactors Treating Recirculating Aquaculture System Wastewater. *Journal of Environmental Quality*. 45(3). 813-821.

[86] López, J; salas, J; Gómez, V y Sanguino, W. (2008). Diagnóstico del estado de trofización y estudio de la variabilidad de los parámetros limnológicos y su interrelación con la producción de trucha arcoíris en jaulas flotantes en el Lago Guamuez. *Corponariño y Universidad de Nariño*. Colombia. 156.

[87] López, M. (2014). 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.

[88] 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.

[89] Magurran, A. (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement*. Ediciones Vedral, Barcelona, España. 192.

[90] 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.

---

[91] Maltby, W. (1991). Wetlands- their status and role in the biosphere. M.B. Jackson, D.D.Davies y H. Lambers (Ed). Plant life under oxygen deprivation. Academic Publ. The Hague: 3-12.

[92] Mariano, M; Huaman, P; Mayta, E; Montoya, H. y Chanco M. (2010). Contaminación producida por piscicultura en lagunas Andinas de Junín, Perú. Revista Peruana de Biología. 17(1). 137-140.

[93] Margalef, R. (1969). Diversity and stability: a practical proposal and a model of interdependence. Brookhaven Symp. Biology. 22, 25-37.

[94] 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.

[95] Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial, & CORPONARIÑO. (2011). Plan de Manejo Ambiental Integral Humedal Ramsar Laguna de La Cocha. Nariño, Colombia. 256.

[96] Mitsch, W. and Gosselink, J. (2000). Wetlands. John Wiley and Sons, Inc. New York. 920

[97] 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.

[98] NSF - National Sanitation Foundation. (2006). Consumer Information: Water Quality Index (WQI) (2006). Disponible en Internet. URL:[http://www.nsf.org/consumer/just\\_for\\_kids/wqi.asp](http://www.nsf.org/consumer/just_for_kids/wqi.asp). [Citado en 08 de febrero de 2017].

[99] Naumann, E. (1930). Einführung in die Bodenkunde der Seen. Die Binnengewässer IX. E. Schweizerbart, Stuttgart. Págs. 129-138 en: Esteves, F. 1983. Levels of phosphate, calcium, magnesium and organic matter in the sediments of some brazilian reservoirs and implications for the metabolism of the ecosystems. Archiv für Hydrobiologie. 96.

---

[100] Neumann, M; Liess, M. and Ralf, S. (2003). An expert system to estimate the pesticide contamination of small streams using benthic macroinvertebrates as bioindicators. Knowledge base of LIMPACT. *In*: Ecological indicators. 2 (4), Germany. 391 – 401.

[101] Nirmlraj, 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.

[102] Margalef, R. (1983). *Limnología*. Editorial Omega. Barcelona, España. 779-867

[103] Midlen, A. and Redding, T. (1998). *Environmental Management for Aquaculture*. Chapman & Hall, London. 223.

[104] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Rural. (2013). Recuperado de <https://www.minagricultura.gov.co/Paginas/default.aspx>.

[105] Molina, L.; Robaina, L. y Vergara, M. (2001a). Comparación del contenido de Nitrógeno en heces de lubina (*Dicentrarchus labrax*) recogidos por decantación y disección. *Monografías del Instituto Canario de Ciencias Marinas*. 4. 49-55.

[106] Muñoz, S., & Obando, M. (2000). Clasificación taxonómica, densidad y diversidad del plancton existente en el lago Guamuez. Tesis de pregrado para optar al título de Ingeniero en Producción Acuícola. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. 162.

[107] NEORI, A. y KROM, M. (1991). Nitrogen and Phosphorus budgets in an intensive marine fishpond: the importance of microplankton. *En: Nutritional Strategies & Aquaculture waste. Proceedings of the first International Symposium on Nutritional Strategies in management of Aquaculture waste (NSMAW)*. (Eds.: C.B. Cowey y C.Y. Cho), 223-230.

[108] Newman, M. and Unger. M. (2003). *Fundamentals of Ecotoxicology*. Lewis Publishers, United States. 458.

[109] 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.

[110] 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 Soriano, E. (2006). Tratamiento de Efluentes: Una Vía para la Acuicultura Responsable. *Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia*. 11(1). 20-29.

[111] 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

[112] Pérez, J. (1996). La acuicultura y la conservación de la biodiversidad. *Interciencia. Revista de Ciencia y Tecnología de América*. 21 (3). 1-9.

[113] Pérez, R; Pineda, R. y Nava, M. (2007). Integridad biótica de ambientes acuáticos. *Perspectivas de conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Mexico: SEMARNAT-INE-F&WS-UPC-UMSNH. 71-111.

[114] Pinilla, G. (2005). *Ecología del fitoplancton en un lago amazónico de aguas claras (Lago Boa, Caquetá Medio República de Colombia)*. Bogotá, Colombia: Editorial Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 401

[115] Pla, L. Biodiversidad: inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. (2006). *Revista Científica Scielo*, (31)8. 583-590.

[116] Plan Nacional de Desarrollo (2014 – 2018). *Prosperidad para Todos*, Expedido mediante Ley 1753 del 9 de Junio de 2015.

[117] Prieto, J. (2004). *El agua, sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación*. Eco Ediciones, Bogotá, Colombia. 275.

---

[118] QUIMICA DEL AGUA. Conceptos Teóricos Analíticos. pH [En línea]. Disponible en internet, URL: <http://www.quimicadelagua.com/Conceptos.Analiticos.pH.html>. [Citado en 08 de septiembre de 2015].

[119] Ramírez, A. (2007). Tratamiento y reuso de las aguas del canal Tibanica para el riego de cultivos mediante un sistema de lagunas. Tesis de grado para optar al título de Magister en Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia. 192.

[120] Ramírez, R. y Noreña, J. (2004). Caracterización del Sedimento de una Laguna Tropical Rasa. *Caldasia*. 26(1). 173-184.

[121] Resh, V; Myers, M. and Hannaford, M. (1995). Macroinvertebrates as biotic indicators of environmental quality. Hauer F.R & G.A. Lamberty (Eds). *Methods in Stream Ecology*. Academic Press. 674.

[122] Rodrigues, S; Filho, F; Araújo, E. y Bandeira, L. (2010). Granulometría de Sedimentos em Sistemas Lênticos e Lóticos da Bacia Gurgueia. *Universidade Federal do Piauí*. Brasil. 3.

[123] ROBERTS, J; DAVIES, P; y FIXTER. (1999). Symbiotic anemones can grow when starved: nitrogen budget for *Anemonia viridis* in ammonium supplemented seawater. *Marine Biology*, 133, 29-35.

[124] Rojas, Ch. (1998). Analisis físico-químico del agua en métodos normalizados. Programa Nacional de Calidad de aguas. Universidad de, Valle. Cali, Colombia. 117

[125] Roldan, G. (1988). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia, Bogotá, Colombia. 216

[126] Roldan, G. y Ramírez, J. (2008). Fundamentos de Limnología Neotropical. Segunda edición. Universidad de Antioquia, Colombia. 440.

[127] Roldán, G. (1991). Fundamentos de Limnología Tropical. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 529.

- 
- [128] Roldan, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Revista Académica Colombiana de Ciencia*. (23)8. 375-387
- [129] Rossaro, B; Lencioni, V; Boggero, A. and Marziali, L. (2006). Chironomids from Southern Alpine running waters. *Ecology, Biogeography. Hydrobiologia*. 562. 231-246.
- [130] Ruiz, M; Granero, M; Rodríguez, J; Bustamante, M; Laura, A. y Conti, R. (2005). Centro de la Región Semiárida (CIRSA) - Instituto Nacional del Agua (INA).
- [131] Salazar, G (2001). *Fundamentos de Acuicultura Continental*. Bogotá, Colombia: IMPA.
- [132] Samboni, N; Carvajal, Y; and Escobar, J. (2007). A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicator. *Engineering and Research*. 27(3). Bogotá, Colombia. 172-181.
- [133] Sanz-lázaro, C and Marín, A. (2011) Diversity Patterns of Benthic Macrofauna Caused by Marine Fish Farming. In: *Diversity*. Murcia, Spain. 3 (2), 176-199.
- [134] Sardiñas, O; Chiroles, S; Fernández, M; Hernández, Y. y Pérez, A. Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba). *Higiene y Sanidad Ambiental*. 6. 202-206.
- [135] Shannon, C and Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication* University of Illinois Press. Urbana Illinois. USA.
- [136] Sierra, J. (1983). *Análisis de aguas y aguas residuales*. Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería. Colombia. 46.
- [137] Sipaúba, L; Lourenço, E. and Souza, F. (2010) Water quality in six sequentially disposed fishponds with continuous water flow. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*. Universidade Estadual de Maringá. 32(1). 9-15

---

[138] Solórzano, L and Sharp, J. Determination of total dissolved phosphorus and particulate phosphorus in natural waters. *Journal, Limnology and Oceanography*. 25 (4), 175 – 758.

[139] 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]

[140] *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

[141] Stone, N; Shelton, J; Haggard, B. and Thomforde, H. (2013). *Interpretation of Water Analysis Reports for Fish Culture*. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC). Publication No. 4606. 12.

[142] Toro, M; Robles, S; Avilés, J; Nuño, C; Vivas, S; Bonada, N. y Álvarez, M. (2002). Características físico-químicas. *GUADALMED*, 21. 63–75.

[143] Torralba, A. y Ocharan, F. (2009). Efectos de diversas piscifactorías aragonesas de trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) sobre las comunidades de macroinvertebrados bentónicos. Sección de mediambiente. En XII Congreso Nacional de Acuicultura. España.

[144] Vásquez, w; Talavera, M. y Inga, M. (2015). Evaluación del impacto en la calidad del 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*. 81(1). 15-28.

[145] 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, Mexico*. 16 (3), 165-174.

- 
- [146] 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.
- [147] Vergara, J; Haroun, R. y González, M; Molina, L.; Miquel, B; Boyra, A; Gutiérrez M. y Ballesta, A. (2005). Evaluación de Impacto Ambiental de Acuicultura en Jaulas en Canarias. *Oceanográfica*, Telde 110.
- [148] Vitoria, I; Maraver, F; Sánchez, F y Valverde, F. (2015). Contenido en nitratos de aguas de consumo público españolas. *Gaceta Sanitaria*, 29 (3). 217-220
- [149] Wetzel, R. (1981). *Limnología*. Ediciones Omega S.A. Barcelona. 405
- [150] Wheaton, F. (1982). *Acuicultura: Diseño y construcción de sistemas*. AGT Ediciones. 704
- [151] Wymer, D. and Cook, S. (2003). Effects of Chironomidae (Diptera) Taxonomic Resolution on Multivariate Analyses of Aquatic Insect Communities. *Journal of Freshwater Ecology* 18(2). 179-186.