



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INFLUENCIA DE CULTIVOS PISCÍCOLAS EN LA CALIDAD DEL AGUA Y COMUNIDADES BACTERIANAS EN EL SEDIMENTO DEL LAGO GUAMUEZ

Elizabeth Burbano Gallardo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Administración
Palmira, Valle del Cauca, Colombia

2018

INFLUENCIA DE CULTIVOS PISCÍCOLAS EN LA CALIDAD DEL AGUA Y COMUNIDADES BACTERIANAS EN EL SEDIMENTO DEL LAGO GUAMUEZ

Elizabeth Burbano Gallardo

Proyecto de investigación presentado 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, Valle del Cauca, Colombia

2018

Dedicatoria

A Dios, por ser la guía y forjador de enseñanzas en el camino de mi vida y por ofrecerme la fuerza y la sabiduría necesaria para cumplir este gran logro de aprendizaje personal y académico.

A mis padres y a mi hermano que son mi fuerza de impulso para realizar todas las cosas que amo hacer, por brindar constantemente su apoyo incondicional, con el objetivo de lograr con éxito cada una de las metas que me propongo, ya que ellos son un ejemplo a seguir por todas esas grandes cualidades humanas que ellos poseen.

A mi novio por brindarme su amor, su apoyo y la alegría que lo caracteriza, para cumplir este sueño tan anhelado.

Agradecimientos

A mi Director Guillermo Duque Nivia por su gran disposición y apoyo incondicional, por compartir sus grandes conocimientos, experiencia e importantes valores humanos que contribuyo a mi formación profesional y experiencia académica.

A mi Codirector Marco Antonio Imués Figueroa, por estar siempre presente en las metas académicas que me propongo, por su esfuerzo, dedicación y sugerencias para hacer de este un excelente trabajo.

Al ingeniero Camilo Lennin Guerrero encargado de los laboratorios de acuicultura de la Universidad de Nariño, por su apoyo experimental, preparación y análisis bacterianos desarrollados durante esta investigación.

A todos mis familiares y amigos que me brindaron fuerza y ánimos, durante el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, a Ceiba, a la Gobernación de Nariño y a Colciencias, por la financiación de mi maestría y proyecto de tesis.

¡Muchas Gracias!

Resumen

La piscicultura, es una alternativa mundial en la producción de alimentos de calidad y alto contenido de proteína; sin embargo, las consecuencias de la actividad se reflejan en alteraciones de diferentes variables en el ecosistema acuático. El presente estudio se desarrolló durante la temporada de lluvias bajas en el Lago Guamuez, entre zonas de cultivo y un punto control, tomando muestras de agua a 0, 10 y 20 metros de profundidad y de sedimento a 20 metros, donde se evaluó la influencia de la intensidad de los cultivos (extensiva, semi-intensiva e intensiva) de trucha arcoíris en jaulas flotantes, en parámetros fisicoquímicos del agua (oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica, pH, turbidez, DBO₅ y DQO), nutrientes (amonio, nitritos, nitratos, fósforo total) y sedimentos (análisis de bacterias oxidantes de amonio (BOA) y bacterias oxidantes de nitritos (BON), nitrógeno total, fósforo total, carbono orgánico total y materia orgánica). La contaminación ambiental de las variables se evaluó mediante una correlación múltiple y un análisis de componentes principales entre la abundancia de las bacterias oxidantes de amonio (BOA) y bacterias oxidantes de nitritos (BON) con los parámetros fisicoquímicos y nutrientes del agua y de los sedimentos. Los parámetros fisicoquímicos al igual que los nutrientes del agua presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las zonas y profundidades de muestreo, demostrando mayores alteraciones a medida que se incrementa la intensidad de cultivo. De igual forma los nutrientes del sedimento, el carbono orgánico total y la materia orgánica, presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$), presentando los valores menos favorables en los cultivos semi-intensivos e intensivos, a diferencia del cultivo extensivo y punto control, cuyos valores expresan mejor calidad del estado del sedimento. Se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las proporciones y las densidades celulares de las bacterias oxidantes de amonio (BOA) y bacterias oxidantes de nitritos (BON), siendo mayores en el cultivo intensivo, de igual forma, las BOA presentaron menor proporción que las BON, debido a la excreción de amonio en la parte superficial de la columna del agua y a su degradación mediante el ciclo del nitrógeno hasta llegar al sedimento. Finalmente, se pudo comprobar

que el cultivo de trucha arcoíris en jaulas flotantes altera negativamente la calidad de agua y los sedimentos, principalmente en cultivos de mayor intensidad productiva, al igual que influye en el comportamiento de la actividad bacteriana.

Palabras clave: Acuicultura, trucha arcoíris (*Onchorhynchus mykiss*), contaminación, calidad del agua, sedimentos, bacterias oxidantes de amonio (BOA) y bacterias oxidantes de nitritos (BON).

Abstract

Fish farming is a global alternative in the production of quality food and high protein content; however, the consequences of the activity are reflected in alterations of different variables in the aquatic ecosystem. The present study was developed during the low rainfall season in Lake Guamuez, between fish farming zones and a control point, taking water samples at 0, 10 and 20 meters depth and sediment at 20 meters, where was evaluated the influence of farming intensity (extensive, semi-intensive and intensive) of rainbow trout in floating cages, in water physicochemical parameters (dissolved oxygen, temperature, electrical conductivity, pH, turbidity, BOD5 and COD), nutrients (ammonium, nitrites, nitrates, total phosphorus) and sediments (analysis of ammonium oxidizing bacteria (AOB) and nitrite oxidizing bacteria (NOB), total nitrogen, total phosphorus, total organic carbon and organic matter). The environmental contamination of the variables was evaluated through a multiple correlation and a principal component analysis between the abundance of ammonium oxidizing bacteria (BOA) and nitrite oxidizing bacteria (BON) with physicochemical parameters and nutrients from the water and sediments. The physicochemical parameters as well as the water nutrients showed significant differences ($p < 0,05$) between the zones and depths of sampling, showing greater alterations as the intensity of cultivation increases. Similarly, the nutrients of the sediment, the total organic carbon and the organic matter, presented significant differences ($p < 0,05$), presenting the less favorable values in the semi-intensive and intensive crops, unlike the extensive culture and control point, whose values express better quality of the sediment state. There were significant differences ($p < 0,05$) between the proportions and the cellular densities of ammonium oxidizing bacteria (BOA) and nitrite oxidizing bacteria (BON), being higher in the intensive culture, likewise, the AOB had a lower proportion than the NOB, due to the excretion of ammonium in the superficial part of the water column and its degradation through the nitrogen cycle until reaching the sediment. Finally, it was found that the farming of rainbow trout in floating cages negatively affects the quality of water and sediments, mainly in fish cultures of greater productive intensity, as well as influencing the behavior of bacterial activity.

Keywords: Aquaculture, Rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*), contamination, water quality, Sediments, ammonium oxidizing bacteria (AOB) and nitrite oxidizing bacteria (NOB)

Contenido

Resumen.....	V
Lista de figuras.....	X
Lista de tablas.....	XI
Introducción.....	XIV
1. Planteamiento y justificación del problema.....	16
2. Objetivos	20
2.1 Objetivo general	20
2.2 Objetivos específicos.....	20
3. Marco teórico y estado del arte.....	21
3.1 Cultivos extensivos, semi-intensivos e intensivos de trucha arcoíris en jaulas flotantes.....	21
3.2 Contaminación del agua y sedimentos a causa de la piscicultura.	22
3.3 Parámetros fisicoquímicos, nutrientes y factores asociados a la actividad piscícola.	24
3.4 Importancia de las bacterias nitrificantes en la acuicultura.	26
4. Materiales y métodos	29
4.1 Área de estudio	29
4.2 Áreas y puntos de muestreo.....	29
4.3 Determinación de la calidad del agua y sedimentos en las estaciones de cultivo	
32	
4.3.1 Parámetros fisicoquímicos del agua (in situ).	32
4.3.2 Parámetros físicoquímicos analizados en laboratorio.	33
4.3.3 Sedimentos.....	33
4.3.4 Análisis microbiológico.....	34
4.4 Análisis estadístico	35
5. Resultados	37
5.1 Variabilidad fisicoquímica y contenido de nutrientes del agua.	37
5.1.1 Parámetros fisicoquímicos.....	37
5.1.1.1 Oxígeno Disuelto (OD).	38
5.1.1.2 Temperatura (°C).....	38
5.1.1.3 Conductividad (CE).....	39
5.1.1.4 Potencial de hidrógeno (pH).....	40
5.1.1.5 Turbidez (UNT).....	41
5.1.2 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5) y Demanda Química de Oxígeno.....	42

5.1.2.1 Demanda biológica de oxígeno (DBO5).	42
5.1.2.2 Demanda química de oxígeno (DQO).	43
5.1.3 Contenido de Nutrientes en el agua.	44
5.1.3.1 Amonio (mg/L).	45
5.1.3.2 Nitritos (mg/L).	45
5.1.3.3 Nitratos (mg/L).	46
5.1.3.4 Fósforo Total (mg/L).	47
5.2 Contenido de nutrientes en los sedimentos.	48
5.2.1 Nitrógeno Total (mgN/kg).	49
5.2.2 Fósforo Total (mgP/kg).	50
5.2.3 Carbono Orgánico Total (mg/kg).	51
5.2.4 Materia Orgánica (%).	52
5.3 Población de bacterias oxidantes de amonio (BOA) y bacterias oxidantes de nitritos (BON) en los sedimentos según la intensidad de cultivo.	53
5.3.1 Densidades de bacterias oxidantes de amonio (BOA) y bacterias oxidantes de nitritos (BON).	54
5.4 Análisis de Correlación Múltiple (Correlación de Pearson).	55
5.4.1 Análisis de correlación múltiple para parámetros fisicoquímicos.	57
5.4.2 Análisis de correlación múltiple para contenido de nutrientes en agua y sedimento.	58
5.4.3 Análisis de correlación múltiple para bacterias oxidantes de amonio (BOA) y bacterias oxidantes de nitritos (BON).	60
5.5 Análisis multivariado (Análisis de componentes principales-ACP)	61
6. Discusión de resultados	66
6.1 Variabilidad fisicoquímica y contenido de nutrientes del agua.	66
6.2 Contenido de nutrientes en los sedimentos en relación con la intensidad productiva.	71
6.3 Proporción y densidad celular de BOA y BON en los sedimentos según la intensidad de cultivo.	74
6.4 Correlación y componentes principales entre las bacterias nitrificantes, parámetros fisicoquímicos y nutrientes del agua y del sedimento del Lago Guamuez.	77
7. Conclusiones y recomendaciones	83
7.1 Conclusiones	83
7.2 Recomendaciones	84
8. Bibliografía	86
9. Anexos	100

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Factores de contaminación por cultivos piscícolas en jaulas flotantes.....	24
Figura 2. Bacterias que intervienen en el proceso de nitrificación en sistemas acuáticos de agua dulce.	27
Figura 3. Ubicación geográfica del Lago Guamuez.	29
Figura 4. Zonas de muestreo Lago Guamuez.	31
Figura 5. Monitoreo de parámetros fisicoquímicos en las diferentes zonas de cultivo por medio de sondas multiparametricas.	32
Figura 6. Toma de muestras de agua para análisis fisicoquímicos y nutrientes de las diferentes zonas de cultivo.	33
Figura 7. Toma de muestras de sedimento con draga Eckman 250 cm ³	34
Figura 8. Técnica de dilución y cuenta en placa de bacterias nitrificantes (BOA y BON). 35	
Figura 9. Valores promedio y desviación estándar de oxígeno disuelto (mg/L) de las zonas y profundidades de muestreo.	38
Figura 10. Valores promedio y desviación estándar de temperatura (mg/L) de las zonas y profundidades de muestreo.	39
Figura 11. Valores promedio y desviación estándar de conductividad (μS/cm) de las zonas y profundidades de muestreo.	40
Figura 12. Valores promedio y desviación estándar de potencial de hidrógeno (pH) de las zonas y profundidades de muestreo.	41
Figura 13. Valores promedio y desviación estándar de turbidez (UNT) de las zonas y profundidades de muestreo.	42
Figura 14. Valores promedio y desviación estándar de DBO ₅ (mgO ₂ /L) de las zonas y profundidades de muestreo.	43
Figura 15. Valores promedio y desviación estándar de DQO (mgO ₂ /L) de las zonas y profundidades de muestreo.	44
Figura 16. Valores promedio y desviación estándar de Amonio (mg/L) de las zonas y profundidades de muestreo.	45
Figura 17. Valores promedio y desviación estándar de Nitritos (mg/L) de las zonas y profundidades de muestreo.	46
Figura 18. Valores promedio y desviación estándar de Nitratos (mg/L) de las zonas y profundidades de muestreo.	47

Figura 19. Valores promedio y desviación estándar de fósforo total (mg/L) del agua en las zonas y profundidades de muestreo.	48
Figura 20. Valores promedio y desviación estándar de Nitrógeno Orgánico Total (mgN/kg) de las cuatro zonas de muestreo.	50
Figura 21. Valores promedio y desviación estándar de fósforo total (mgP/kg) del sedimento en las cuatro zonas de muestreo.	51
Figura 22. Valores promedio y desviación estándar de carbono orgánico total (mg/kg) de las cuatro zonas de muestreo.	52
Figura 23. Valores promedio y desviación estándar de materia orgánica (%) de las cuatro zonas de muestreo.	53
Figura 24. Valores de proporción (%) entre bacterias oxidantes de amonio (BOA) y bacterias oxidantes de nitritos (BON).	54
Figura 25. Grafica análisis de componentes principales.	62
Figura 26. Comportamiento de los componentes según las variables de influencia.	64
Figura 27. Comportamiento de los componentes 1 y 3.	65
Figura 28. Interacción de las variables y las zonas de estudio.	65

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Bacterias responsables de la nitrificación.....	28
Tabla 2. Valores (media \pm Desviación estándar) de parámetros fisicoquímicos del agua medidos en las zonas y profundidades de muestreo.....	37
Tabla 3. Valores (media \pm Desviación estándar) de DB05 Y DQO del agua medidos en las zonas y profundidades de muestreo.	42
Tabla 4. Valores (media \pm Desviación estándar) de nutrientes del agua medidos en las zonas y profundidades de muestreo.	44
Tabla 5. Valores (media \pm Desviación estándar) de nutrientes del sedimento medidos en las cuatro zonas de muestreo.	49
Tabla 6. Porcentajes de proporción (media \pm Desviación estándar) entre las bacterias oxidantes de amonio (BOA) y bacterias oxidantes de nitritos (BON).	54
Tabla 7. Valores (media \pm Desviación estándar) de densidad celular de bacterias nitrificantes del sedimento medidos en las cuatro zonas de muestreo.....	55
Tabla 8. Correlación entre parámetros fisicoquímicos, nutrientes y bacterias nitrificantes (BOA y BON).	56
Tabla 9. Análisis de Componentes Principales.....	62
Tabla 10. Valor de Peso de influencia por variable y por componente.....	63

Introducción

El desarrollo de la piscicultura se ha intensificado y avanzado tecnológicamente, lo que ha dado lugar a un incremento en la producción piscícola en los últimos treinta años en la mayoría de los países. En el año 2016, se reportaron 37 países en los que se dedican al cultivo de peces en cautiverio y en los cuales superaron la actividad de extracción de peces en el medio natural y hasta dicho año, según las últimas estadísticas publicadas por la FAO a nivel mundial, reportó que la producción de peces cultivados aumento a 54,1 millones de toneladas (FAO, 2018). A nivel mundial la producción de peces cultivados en cautiverio se realiza cada vez más en ecosistemas de agua dulce, donde esta actividad se denomina como acuicultura continental. Entre los sistemas más utilizados en la producción acuícola continental se encuentran los estanques escavados en tierra o en geo membrana y jaulas flotantes donde se utilizan en represas, lagos o lagunas donde las condiciones ambientales del lugar lo permiten (MADR, 2010). Los anteriores sistemas de producción son los más utilizados en la acuicultura realizada en agua dulce, aunque en ellos, afecte significativamente en la calidad de agua y los sedimentos de estos ecosistemas acuáticos, debido al ingreso de materia orgánica proveniente de los concentrados comerciales y los sólidos excretados por los peces, que liberan nutrientes y constituyen un medio para el desarrollo de compuestos orgánicos y bacterias (Steeby et al., 2004).

En Colombia una de las especies de producción piscícola más representativa es la trucha arcoíris, la cual se cultiva tanto en estanques como en jaulas flotantes (Quiñones, 2014). Dentro de los departamentos que se dedican a la producción de trucha arcoíris en jaulas flotantes esta Nariño, en el Lago Guamuez o laguna de la Cocha y Boyacá en la laguna de la Tota, zonas en donde existen problemas para la realización de la piscicultura y que no cuentan con Planes de Ordenamiento establecidos para la Acuicultura (AUNAP, 2014). El Lago Guamuez ha sido utilizado históricamente por los piscicultores para el

cultivo de trucha arcoíris desde el año de 1980, siendo esta una especie exótica que fue adaptada para su crianza en sistemas de jaulas flotantes (Montenegro, 2010), donde es cultivada principalmente en sistemas extensivos, semi-intensivos e intensivos (Gobernación de Nariño, 2010). Cabe resaltar que el cultivo de trucha arcoíris en este cuerpo lacustre se estaba desarrollando sin ninguna restricción, por lo cual el problema radica que el Lago por ser declarado como sitio Ramsar por la Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional, la autoridad ambiental esta protegiendo esta zona por la contaminación que puede estar causando el crecimiento y desarrollo de la actividad piscícola en la laguna (AUNAP, 2013).

A pesar del crecimiento de esta actividad y su importancia para la región, los estudios e investigaciones sobre los efectos negativos que pueda causar al ambiente no han sido suficientes. A pesar de que la acuicultura es considerada como una de las actividades más amigables con el ambiente, y que presenta mayor promedio de crecimiento en comparación a otras actividades, la utilización de alimento comercial y otros productos de cultivo alteran la calidad del agua y de los sedimentos de influencia (Pérez, 1996). Sin embargo, aun cuando el crecimiento de la piscicultura sobrepasa en mucho al del resto de las actividades agropecuarias, se ha hecho sin planificación, de manera desordenada, sin prevención de los efectos que esta actividad puede causar en el ambiente y principalmente, se posee una carencia de política gubernamental que sirva de apoyo efectivo y eficiente para la actividad piscícola. Por otro lado, los productores también se les presenta problemas de orden técnico, económico y social, para subsanar dichos efectos negativos que presenta la actividad al ambiente y por ende se presentan varias dudas e inquietudes las cuales afectan en la competitividad del subsector (AUNAP, 2013).

Con la realización de este estudio se evaluó la contaminación que ocasionan los cultivos piscícolas en tres estaciones de producción en jaulas flotantes, identificadas en sistemas extensivos, semi-intensivos e intensivos, ubicados en el Lago Guamuez, mediante el conteo de bacterias oxidantes de amonio y bacterias oxidantes de nitritos en los sedimentos y evaluación en la variabilidad fisicoquímica de la columna del agua y contenido de nutrientes en los sedimentos.

1. Planteamiento y justificación del problema

El agua en el planeta tierra está distribuida en un 97,5% como agua salada depositada en los océanos y el 2,5% es agua dulce disponible en su mayoría en los glaciares con un 69,7% de agua congelada, un 30% es agua subterránea y el 0,3% se encuentra en los ríos y lagos, dando la importancia que dentro de este último porcentaje el 90% se almacena en los cuerpos lacustres (Scuka, 2009). Por lo anterior los lagos son de gran importancia para la preservación de los ecosistemas y la biodiversidad del planeta. Sin embargo, estos ecosistemas acuáticos son los más vulnerables y frágiles, puesto que son el sumidero de minerales, sedimentos, nutrientes de plantas acuáticas y desechos orgánicos derivados de su cuenca (Reques, 2005). La eutrofización de los lagos puede ocurrir por procesos naturales y también por causas antropogénicas como vertidos de residuos industriales, agrícolas y urbanos, deforestación, uso de fertilizantes, detergentes o sistemas de alcantarillado provenientes de ciudades o pueblos y entre otras actividades que pueden alterar el equilibrio de estos ecosistema (Margalef, 1983).

El Lago Guamuez, ubicado en el departamento de Nariño, es un lago tropical de alta montaña que es catalogado como humedal de importancia internacional RAMSAR. Este lago, a pesar de ser un área protegida, presenta un nivel de contaminación causado por diversos factores como: el vertimiento de aguas residuales provenientes de la cabecera del corregimiento y las veredas circundantes; la contaminación por hidrocarburos generada por los motores de las lanchas que transitan principalmente para el transporte turístico; la producción de carbón vegetal en las zonas aledañas que genera deforestación de los bosques nativos, siembra de cultivos agrícolas y piscícolas alrededor del lago (López y Madroño, 2015).

Una de las alternativas que planteó el gobierno regional para mitigar los efectos de la actividad carbonera en el ecosistema de la laguna, se basó en fomentar la actividad piscícola tras el cultivo legal de la trucha arcoíris, en sistemas de estanques y jaulas flotantes; donde la comunidad campesina acogió este fomento alternativo como una gran oportunidad de incrementar sus ingresos económicos. Por tal motivo dicha actividad se incrementó considerablemente, jugando un papel fundamental para el desarrollo de la región. Sin embargo, a pesar de que la piscicultura se consideró como un factor de desarrollo y de provisión de alimentos para la comunidad, no se tuvo en cuenta el nivel de contaminación que podía causar al sistema del lacustre (Corponariño, 2014).

El nivel de contaminación ambiental que causa la acuicultura está directamente relacionado con el sistema de producción de cultivo (extensivo, semi-intensivo e intensivo). Cuando más se intensifica el sistema, mayor cantidad de insumos y materias primas son utilizados. Por ejemplo: El alimento comercial deja residuos, la cual una parte no es consumida y se degrada en la columna del agua produciendo sedimentos. También se producen residuos por la acumulación de las excretas de los peces, resultado del alimento consumido y metabolizado (Eley et al., 1972). Esta degradación de residuos altera diversos parámetros físicos y químicos del agua, al igual que estimula la producción bacteriana debido al alto contenido de materia orgánica, cambiando así la composición química, la estructura y funciones de la interface agua y sedimento (Tsutsumi y Kikuchi, 1983) (Brown et al., 1987).

Como consecuencia de la excreción o defecación de los peces y la disolución de los pellets de alimentación, hay un aporte excesivo de nutrientes, incluyendo el nitrógeno (N) en el agua de cultivo (Wang et al., 2012). Este enriquecimiento de nitrógeno podría inhibir la fijación de nitrógeno por las comunidades bacterianas encargadas de este proceso (Rudnick et al., 1997), ocasionando un cambio en su estructura, densidad, abundancia y biomasa de las comunidades naturales de bacterias nitrificantes (Olsen et al., 2014) lo que podría ocasionar impactos ambientales adversos como la acidificación y la eutrofización de los cuerpos de agua (Rabalais et al., 2014). La abundancia y las actividades de las comunidades bacterianas nitrificantes son sensibles al aumento de las cargas de amonio. (Patrone et al., 2015). Por consiguiente, la aplicación de nitrógeno en exceso ocasiona que las bacterias pueden perder su capacidad de asimilación que

puede conducir al deterioro de la calidad del agua mediante la acumulación de compuestos nitrogenados (amoníaco y nitrito) que son tóxicos para los peces en cultivo. (Hargreaves, 1998).

En sistemas de jaulas flotantes, además de la acumulación de materia orgánica por causa de los restos de alimento y materia fecal de los organismos en cultivo se suma la aplicación de aditivos y productos farmacéuticos, que aportan altos niveles de sustancias químicas y macronutrientes (Cornell y Whoriskey, 1993). Estos desechos orgánicos e inorgánicos pueden causar un enriquecimiento de nutrientes e incluso afloración excesiva de fitoplancton, especialmente en el caso en que las zonas destinadas al cultivo sean sistemas lenticos como lagos, lagunas o reservorios (Molina, 2004). Cornell y Whoriskey (1993) y Buschmann (2001) reportaron casos de contaminación de lagos donde se cultivaban salmones y truchas arcoíris en sistemas de jaulas y que resultaron en la eutrofización del ecosistema y el fracaso de la empresas; situaciones que aún no han sido presentadas en la lago Guamuez.

A pesar de que la piscicultura genera impactos ambientales, se desconoce aún el nivel de contaminación que puede causar esta actividad. Este desconocimiento se debe a que no se han aplicado métodos confiables para determinar las consecuencias de la actividad piscícola. En la actualidad, el Lago Guamuez está siendo utilizado principalmente para el cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mikiss*), se han identificado 90 cultivos activos, con un total de 1056 jaulas instaladas en la laguna (AUNAP, 2016). La piscicultura en el lago Guamuez va en constante crecimiento, sin embargo, a medida que mejoran los ingresos y las posibilidades de desarrollo del sector, también se incrementa la incertidumbre respecto a los posibles impactos negativos que se generan en el agua y en los sedimentos del lago influenciados por las empresas de cultivos y más aún cuanto no hay argumentos suficientes que sustenten que puede haber o no una degradación ambiental (González, 2018).

Por lo anterior se puede concluir que el crecimiento y desarrollo de la actividad piscícola carece del acompañamiento en su totalidad de la investigación científica que respalde las normativas ambientales que la regulan. De igual forma, el marco regulatorio es ineficiente

y no sólo está en riesgo la sostenibilidad ambiental del ecosistema acuático, sino también la prevalencia de la actividad en el futuro, debido a los efectos en el medio acuático y la variedad de conflictos socioeconómicos que se pueden formar por la inconsciente utilización de los recursos naturales (Bordehore, 2005). De acuerdo a lo anterior, se hace necesario realizar esta investigación con el objetivo de analizar algunos aspectos que permitan determinar la afectación ocasionada por las piscifactorías de alta, media y baja producción sobre la calidad del agua y los sedimentos del Lago Guamuez, mediante análisis físicos y químicos tanto de la columna de agua como de los sedimentos. Así mismo realizar un análisis sobre la densidad de las bacterias nitrificantes que contribuyen en los procesos de oxidación de amonio y nitritos, las cuales son comunidades de gran importancia ecológica y poco se sabe acerca de estas bacterias que oxidan el amoniaco en ecosistemas loticos de agua dulce en la interacción con producciones piscícolas. De igual forma se pretende que este estudio no solo se dé a conocer en la comunidad académica, sino compartir los resultados obtenidos a la comunidad de la región, a los piscicultores y a las entidades gubernamentales implicadas en la protección y conservación de los recursos naturales.

HIPÓTESIS

A mayor intensidad de cultivo, mayor es la densidad de bacterias oxidantes de amonio (BOA) y bacterias oxidantes de nitritos (BON), al igual que la contaminación en la columna del agua y los sedimentos.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Determinar la influencia de la piscicultura en la proliferación de comunidades bacterianas nitrificantes y en la calidad del agua y los sedimentos, en tres sistemas productivos (extensivo, semi-intensivo e intensivo) del Lago Guamuez.

2.2 Objetivos específicos

- Estimar la variabilidad fisicoquímica y contenido de nutrientes del agua en las tres zonas de estudio según su sistema productivo.
- Determinar la variación del contenido de nutrientes en los sedimentos en relación con la intensidad productiva (extensivo, semi-intensivo e intensivo).
- Determinar la correlación entre la densidad celular de la población de bacterias oxidantes de amonio (BOA) y bacterias oxidantes de nitritos (BON) con las variables fisicoquímicas y el contenido de nutrientes en el agua y los sedimentos de los sistemas productivos.

3. Marco teórico y estado del arte

3.1 Cultivos extensivos, semi-intensivos e intensivos de trucha arcoíris en jaulas flotantes.

La producción piscícola es una actividad agropecuaria que hace uso principalmente de los recursos hídricos entre los cuales se encuentran los lagos o lagunas que se utilizan cuando cumplen condiciones favorables para el cultivo de organismos acuáticos domesticados (Meyer, 2004), dentro de esta actividad productiva esta se desarrolla en diferentes sistemas de cultivo como son extensivos, semi-intensivos e intensivos que pueden afectar en diferentes grados la calidad del agua, los sedimentos y los organismos que habitan en estos cuerpos de agua (OESA, 2015).

La producción extensiva es la que se realiza con la finalidad de repoblación o aprovechamiento de cuerpos de agua sean naturales o artificiales, en este sistema de cultivo la intervención del hombre se limita a la siembra y al aprovechamiento de estos organismos para autoconsumo y una pequeña parte para comercialización (Huipé y Bernal, 2009). Dentro de esta clasificación se puede integrar al pequeño productor, el cual se categoriza cuando tienen un área de cultivo menor a 1,5 ha y una producción de 22 toneladas anuales (AUNAP, 2016).

En la producción semi-intensiva, el mediano productor hace parte de este sistema, este se caracteriza por producir hasta 240 toneladas al año, en un área máxima de 15 hectáreas de espejo de agua. En este tipo de cultivo se realiza inicialmente un control mínimo en el desarrollo del cultivo y suministro del alimento comercial (AUNAP, 2016). Finalmente la piscicultura intensiva se efectúa básicamente con fines comerciales, presentan una mayor demanda de alimento concentrado con elevados niveles de proteína, mayor densidad de siembra, se requiere de instalaciones técnicamente adecuadas y personal calificado para el control de todas las fases de producción y requerimientos del cultivo (MARM, 2011). Dentro de este sistema se integran los grandes productores, los cuales se caracterizan por producir 240,1 toneladas en adelante y en un área mayor de 15,1 hectáreas (AUNAP, 2016).

Las producciones piscícolas en sistemas de jaulas flotantes pueden afectar el agua por su presencia física como tal, ya que pueden inducir a una transformación en las características físicas, químicas y biológicas del cuerpo de agua y los sedimentos que lo conforman, según el método de cultivo (extensivo, semi-intensivo e intensivo) y las especies cultivadas, así mismo, la implementación de cultivos de peces en jaulas dentro de aguas continentales puede afectar varios cambios en los componentes bióticos y abióticos en el medio (Molina y Vergara, 2005). Aunque los efectos de los sistemas intensivos, semi-intensivos y extensivos de cultivo son diferentes tanto cualitativa como cuantitativamente es importante que estos sistemas se evalúen por separado, para determinar las repercusiones ambientales que pueden ocasionar en cuerpos lacustres (Beveridge, 1986).

Varias investigaciones que se han realizado en producciones piscícolas intensivas en jaulas demuestran que los cambios en la calidad del agua tienen efectos negativos para el desarrollo y la sobrevivencia de los peces enjaulados. No obstante, la información reportada hasta la fecha indica que el método o el sistema de cultivo es la causa principal que afecta en diferentes niveles el medio acuático, puesto que es perturbado por la concentración de nutrientes provenientes de los peces, la variación en los niveles de oxígeno disuelto y el contenido de metabolitos tóxicos presentes en la columna de agua (Molina y Vergara, 2004).

Se necesita tener amplio conocimiento sobre la interacción entre la implementación de cultivos extensivos, semi-intensivos e intensivos de peces en jaulas flotantes y los ecosistemas lacustres estratégicos en donde se realiza esta actividad productiva, ya que es importante conocer sobre los posibles impactos ecológicos que puede causar la piscicultura al ambiente natural como también es primordial saber si repercute en los parámetros zootécnicos que son de importancia para el productor en donde le interesa el óptimo desarrollo del cultivo y en ofrecer un producto inocuo y de calidad para el consumidor final (Useche et al., 2001).

3.2 Contaminación del agua y sedimentos a causa de la piscicultura.

Toda actividad productiva, genera un grado de contaminación en el ambiente; por lo general y siendo más específicos, en el desarrollo de las producciones agropecuarias,

a mayor nivel de producción mayor será la contaminación en el ambiente (MADR, 2008). Esta lógica productiva no es ajena al mundo de la piscicultura, pues los sistemas productivos de carácter extensivo, semi-intensivo e intensivo correspondientes a pequeños, medianos y grandes productores respectivamente, generan un grado de contaminación que es directamente proporcional al tamaño del cultivo (FAO, 2001).

La columna de agua se ve afectada principalmente en la descarga de nutrientes procedentes de los animales cultivados y el proceso productivo, si el flujo de estos compuestos en particular concentraciones de fósforo y nitrógeno son desechados al ambiente y superan la capacidad de asimilación del ecosistema, puede causar impactos severos tanto en la columna de agua como en el bentos, tales como eutrofización, agotamiento de oxígeno y alteración de la biodiversidad local (Buschmann y Fortt, 2005). De igual forma el uso y la cantidad de sustancias químicas y antibióticos depende de las especies y la intensidad del cultivo; si bien se utilizan de forma muy diluida, estos son disueltos en el agua y son acumulados en los sedimentos, afectando la calidad y naturaleza de estos dos factores (Read et al., 2003).

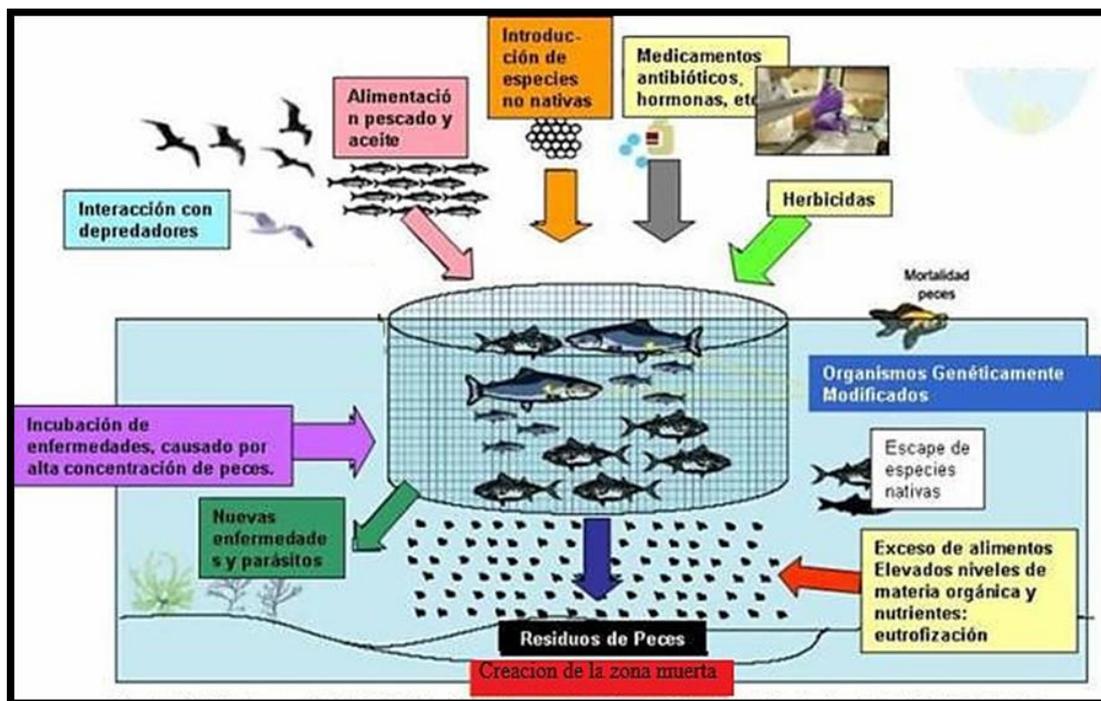
En cuanto al sedimento este se forma continuamente por la precipitación de nutrientes, sólidos y otras partículas del suelo que están en contacto con el agua. En la producción de peces, la interfase agua-sedimento es muy dinámica y es en donde ocurren muchas interacciones y reacciones químicas (Yossa et al., 2011). Los desechos provenientes de los cultivos piscícolas en jaulas son ricos en materia orgánica y es la principal preocupación ambiental para las operaciones de cultivo y las condiciones de la calidad del agua, puesto que el proceso de descomposición de compuestos orgánicos conlleva a mayor consumo de oxígeno y a la generación de dióxido de carbono y de amoníaco, alcanzando a originar entornos anóxicos (Magni et al. 2008).

Se tiene que la materia orgánica en granjas piscícolas se genera por la acumulación de elementos como alimento, heces de los peces, desechos metabólicos, bentos, plancton, hongos, bacterias y organismos de origen animal y vegetal en distintas etapas de descomposición, asimismo gran aporte de compuestos como carbono, oxígeno, nitrógeno y fósforo (González, 2015). El sedimento cumple un papel importante en la dinámica global de un ecosistema lacustre, ya que el fondo o el suelo

de un lago se encuentra en un constante intercambio de compuestos entre los dos ambientes, agua y sedimento, produciendo así efectos sobre la composición del agua del medio natural (Boyd, 1995).

Dentro de la definición de huella ecológica se determina que una estación piscícola tiene una influencia en el ambiente diez mil veces superior a su superficie. Este impacto tiene un costo ambiental, económico y social, a pesar de que es menor que el de otras actividades agropecuarias, surge la duda si esto será sustentable en el tiempo (Espinoza y Bermudez, 2012).

Figura 1. Factores de contaminación por cultivos piscícolas en jaulas flotantes.



Fuente: Modificado a partir de Acuicultura insostenible en Chile. Sommer (2009). Disponible en:
[<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n030309/030910.pdf>]

3.3 Parámetros fisicoquímicos, nutrientes y factores asociados a la actividad piscícola.

La estabilidad de ciertos parámetros de importancia en los cultivos de peces, es una de las preocupaciones para los productores, ya que al mantener constantes los

parámetros fisicoquímicos demuestra la calidad del agua para el cultivo y al óptimo desarrollo de las especies que se están explotando. Los sistemas de cultivo tanto extensivos como intensivos, habitualmente se desarrollan en medios muy diversos pero pueden causar una fuerte variabilidad en el medio natural (Polanco et al., 2000).

La producción acuícola está sujeta tanto a la calidad hidrobiológica del medio, determinada por sus parámetros físicos, químicos y biológicos que influyen en la reproducción y crecimiento de las especies, como a determinados factores, por ejemplo a las alteraciones de los parámetros que dependen de los procesos productivos y que pueden afectar a la salubridad de las especies, como la calidad del agua y los sedimentos del ecosistema bajo la influencia del cultivo (Espinoza y Bermúdez, 2012). Entre los parámetros fisicoquímicos de mayor importancia en la piscicultura se encuentran: la temperatura, el oxígeno disuelto, la transparencia o también expresada como turbidez, pH, y conductividad. Por lo general estos parámetros tienen relación entre sí, permitiendo establecer la calidad del agua o el grado de contaminación según su comportamiento (Boyd, 1996).

De igual forma, el análisis de la demanda biológica de oxígeno DBO_5 y la demanda química de oxígeno DQO, son fundamentales para determinar el grado de contaminación ambiental de un ecosistema acuático afectado por la piscicultura u otras actividades agrícolas y agropecuarias (López et al., 2005). La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de sustancias que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida susceptibles de ser oxidadas por medios químicos. La medición de DBO_5 está relacionada con la cantidad de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica (CENIACUA-COLCIENCIAS, 2009).

Otro de los factores de importancia en la piscicultura son los nutrientes, principalmente los compuestos nitrogenados. Estos se originan en los sistemas productivos como producto del metabolismo de los organismos bajo cultivo, por el alimento no consumido, la aplicación de aditivos y otros productos que generan amonio, nitritos, nitratos y fosforo, los cuales son liberados durante la descomposición que hacen las bacterias sobre la materia orgánica animal y vegetal (Zarco et al., 2005).

3.4 Importancia de las bacterias nitrificantes en la acuicultura.

Uno de los procesos biológicos más importantes que ocurren en la naturaleza es el ciclo del nitrógeno, el cual realiza la transformación de ciertos elementos que, de no interrumpirse, mantendrá de manera correcta el estado del agua. Este ciclo particularmente convierte el nitrógeno encontrado en el ambiente a compuestos simples, por medio de diferentes bacterias nitrificantes benéficas las cuales realizan la oxidación del amonio (NH_4) a nitritos (NO_2) y luego a nitratos (NO_3) (Pacheco et al., 2002).

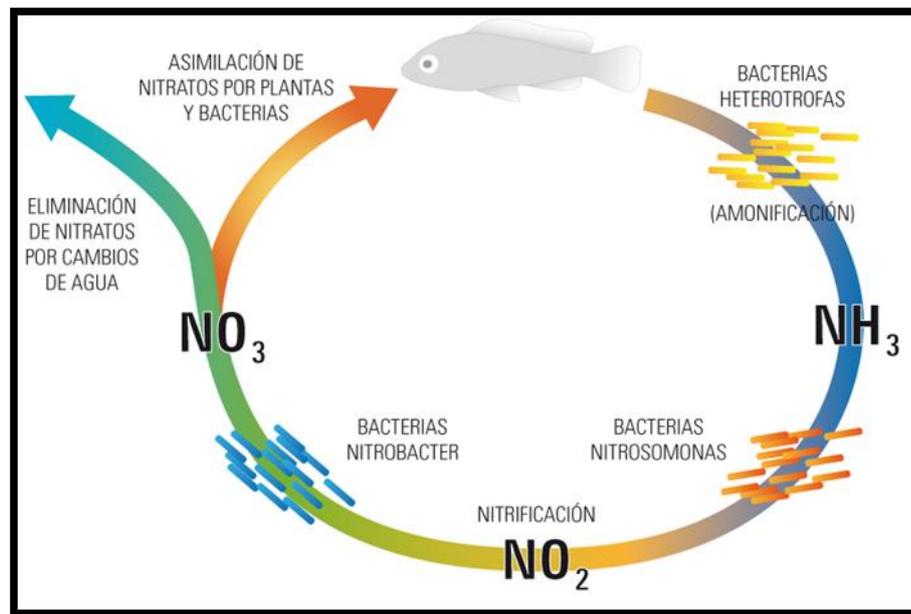
Las bacterias nitrificantes son bacterias quimiolitotróficas, lo cual significa que dentro de este grupo su función es la oxidación de compuestos inorgánicos, con el objetivo de obtener energía durante este proceso (Perés y Juárez, 2002). Estas bacterias se encuentran en diferentes hábitat, como es en el suelo, en el agua de mar, agua salobre y en agua dulce como en los lagos y ríos con elevado contenido en aguas residuales, por consiguiente su importancia es principal en la participación en el ciclo del nitrógeno en la naturaleza (Gerardi, 2002).

El nitrógeno puede llegar al suelo o a los sedimentos de un cuerpo de agua a través del amoníaco (NH_3) procedente de la materia orgánica de los seres vivos, que al entrar en contacto con el agua, la mayor parte del amoníaco se transforma en forma iónica, conocida como iones de amonio (NH_4^+); en pozos, ríos, lagos y suelos húmedos, la forma iónica del amoníaco es la más común (ATSDR, 2016). En los sistemas de cultivo acuícolas, se excretan altos niveles de nitrógeno amoniacal debido al alto contenido de proteína del alimento y a la alta densidad de producción; las altas cantidades de amoníaco sin ionizar en el medio puede ser altamente tóxico para los peces y la vida acuática, afectando de manera negativa la calidad del agua y los sedimentos del cuerpo de agua receptor (Ebeling et al., 2006).

EL ciclo del nitrógeno se caracteriza por varias etapas, la primera es la amonificación en la cual convierte el nitrógeno orgánico en amoníaco. Posteriormente ocurre el proceso de nitrificación, en el cual el amoníaco o el ion amonio (NH_4^+) se oxida a nitritos por parte de las bacterias oxidantes de amonio (BOA) y los nitritos son oxidados a nitratos por las bacterias oxidantes de nitritos (BON). Como última etapa

se encuentra la desnitrificación donde convierte el nitrato a nitrógeno libre por parte de las bacterias desnitrificantes (Capone, 2000) (Figura 2).

Figura 2. Bacterias que intervienen en el proceso de nitrificación en sistemas acuáticos de agua dulce.



Fuente: Acuariofila Madrid (2015). Disponible en: [<http://acuariofiliamadrid.org/Thread-Ciclo-del-nitr%C3%B3geno-en-los-acuarios-de-agua-dulce>]

Los oxidadores de amonio son bacterias que utilizan el amoníaco como sustrato y realizan la primera etapa de la nitrificación, formando nitrito. El género que más caracteriza a este grupo son las Nitrosomonas, ya que se encuentra mejor adaptada a las condiciones que suelen darse en medios acuáticos. Asimismo, se han descrito bacterias pertenecientes a los géneros Nitrospira, Nitrosococcus y Nitrosolobus, capaces de realizar esta transformación pero con una eficiencia menor, ya que tienen unos requerimientos nutricionales y ambientales más estrictos (Perés y Juárez, 2002).

Dentro del grupo de bacterias oxidadoras de nitrito a nitrato, el género más característico es Nitrobacter, aunque también se han descrito los géneros Nitrospina y Nitrococcus. El proceso de nitrificación puede verse afectado por cualquier tipo de estrés ambiental debido a que son pocos los géneros bacterianos que intervienen en él (Atlas y Bartha 2002). Los géneros de bacterias que intervienen en el proceso de nitrificación se presentan a continuación en la tabla 1, donde se discrimina el hábitat donde se pueden encontrar cada una de ellas.

Tabla 1. Bacterias responsables de la nitrificación.

Tipos de bacterias	Genero	Hábitat
Oxidadoras de amonio	<i>Nitrosomonas</i>	Suelos, marinas, agua dulce.
	<i>Nitrospira</i>	Suelo, no crecen en agua de mar.
	<i>Nitrosococcus</i>	Suelos, marinas, agua dulce.
	<i>Nitrosolobus</i>	Suelos
Oxidadoras de nitrito	<i>Nitrobacter</i>	Suelos, marinas, agua dulce
	<i>Nitrospira</i>	Marina
	<i>Nitrococcus</i>	Marina

Fuente: Ecología microbiana y Microbiología ambiental, Atlas y Bartha 2002.

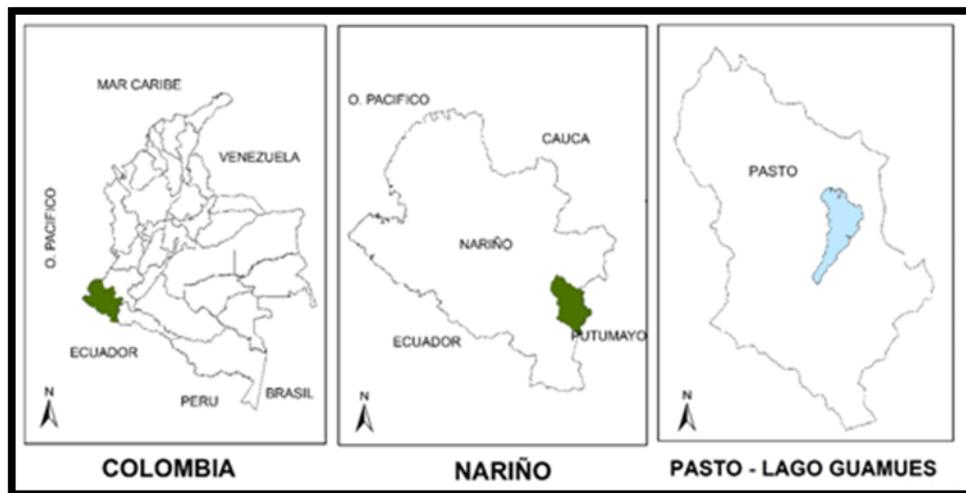
Dentro de los efectos ambientales que causa la acuicultura, el nitrógeno es el elemento principal de preocupación, puesto que es un componente de los residuos generados en la producción piscícola. Principalmente los peces excretan varios productos nitrogenados residuales por difusión e intercambio iónico a través de las branquias, orina y heces; y en el desarrollo productivo aporta descomposición de materia orgánica debido al alimento no consumido, desecho de sustancias químicas, animales muertos, etc (Torres et al., 2015); contribuyendo a incrementar los niveles de amoníaco, como también al crecimiento de bacterias encargadas de descomponer estos compuestos complejos a unos más simples y asimilables para el ambiente acuático (Merino y Sal, 2007). Las comunidades bacterianas son importantes al igual que los peces en términos de los procesos directamente relacionados con su actividad y su efecto sobre la calidad del agua, en este sentido se debe relacionar y llevar control de los principales parámetros de cultivo como el nitrógeno y el fosforo con el propósito de evitar la contaminación del ambiente acuático (Koops y Pommerening, 2001).

4. Materiales y métodos

4.1 Área de estudio

El Lago Guamuez o Laguna de la Cocha, es uno de los mayores humedales de los Andes Colombianos, se encuentra en la vertiente oriental del Nudo de los Pastos al sur de Colombia en límites con la República de Ecuador (Figura 3). Fue declarado Humedal de Importancia Internacional, mediante Decreto 0698/2000 del Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible. El humedal hace parte del Corredor Andino Amazónico Norte, Ecorregión Bordoncillo Patascoy – La Cocha, ubicado entre los departamentos de Nariño y Putumayo, con coordenadas al latitud Norte a los $0^{\circ} 53' 28.55''$ y $1^{\circ} 20' 36.40''$ y longitud Oeste a los $76^{\circ} 50' 50.41''$ y $77^{\circ} 14' 17.37''$. Es un área rica en diversidad de ecosistemas, especies y en recursos hídricos de las cuencas Pacífica y Amazónica (CORPONARIÑO, 2011).

Figura 3. Ubicación geográfica del Lago Guamuez.



Fuente. Estructura térmica del Lago Guamuez, un lago tropical de alta montaña, Lopez et al. (2017).
Disponible en: [<http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n44/n44a07.pdf>]

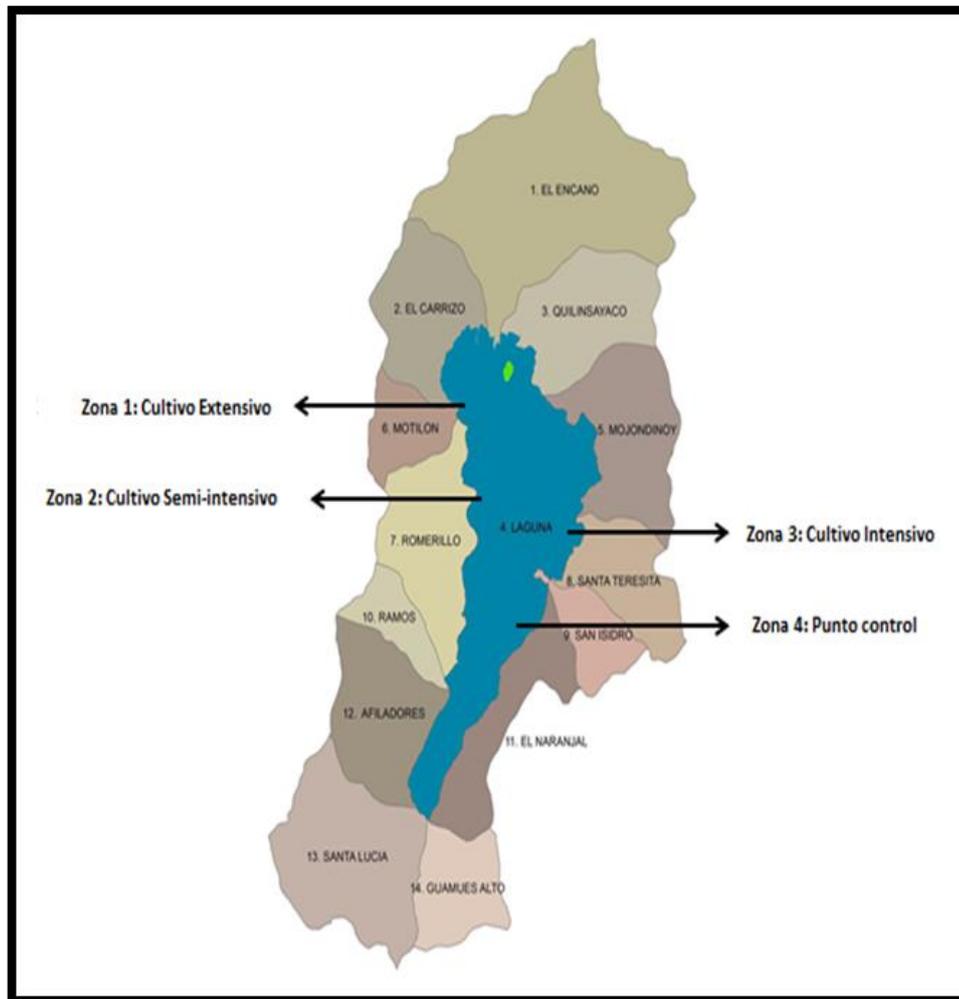
4.2 Áreas y puntos de muestreo

El trabajo de campo y análisis de información se realizó en tres estaciones piscícolas productoras de trucha arcoíris, se eligió una por cada sistema productivo (extensivo,

semi-intensivo e intensivo) (Figura 4). Los establecimientos piscícolas elegidos reportaron una producción aproximada de 21, 120 y 300 toneladas anuales respectivamente. De igual forma se tomó un punto control en una zona donde no se presentaba intervención piscícola. El punto control se determinó bajo coordenadas geográficas utilizando un GPS marca Garmin Map 64s, con el fin de muestrear el mismo punto, según la frecuencia de muestreos.

Para el análisis fisicoquímico del agua se establecieron tres puntos de muestreo de acuerdo al nivel de producción de las empresas y el del punto control, en cada punto se tomaron tres muestras de agua a diferentes profundidades con tres replicas por cada profundidad, esto dependiendo de la batimetría de la zona. En total se obtuvieron 27 datos por zona de cultivo para cada variable fisicoquímica (Oxígeno disuelto, pH, temperatura, conductividad y turbidez), para un total de 108 datos por variable para las cuatro zonas. Para el análisis de DBO₅, DQO y nutrientes (amonio, nitritos, nitratos, fosforo total), se obtuvieron 9 datos por variable en cada zona (3 puntos a 3 profundidades).

Los sedimentos se analizaron mediante la toma de tres muestras con tres replicas en cada una de las tres zonas de cultivo y el punto control, para un total de 36 muestras, donde se analizó el contenido de nutrientes del sustrato, además del análisis de bacterias que contribuyen a los procesos de reducción de Amonio y Nitritos.

Figura 4. Zonas de muestreo Lago Guamuez.

Fuente. Corponariño 2014., modificado para este estudio.

4.3 Determinación de la calidad del agua y sedimentos en las estaciones de cultivo

4.3.1 Parámetros fisicoquímicos del agua (in situ). Los parámetros de temperatura y oxígeno disuelto se tomaron utilizando una sonda multiparamétrica de calidad de agua YSI 6600 V2. Para medir pH y conductividad se utilizó un pHmetro marca ALTRONIX TPA-V, estos parámetros se determinaron a diferentes profundidades de la columna de agua dependiendo de la batimetría del área. Para la medición de turbidez se empleó una botella Van Dorn con la que se extrajeron las muestras para luego medir este parámetro con un turbidímetro marca Hach 2100Q (Figura 5).

Figura 5. Monitoreo de parámetros fisicoquímicos en las diferentes zonas de cultivo por medio de sondas multiparametricas.



4.3.2 Parámetros físicoquímicos analizados en laboratorio. Para la recolección de muestras de agua se utilizó una botella muestreadora Van Dorn, con la cual se tomaron las muestras a diferentes profundidades para luego preservarlas con base en los protocolos de métodos estandarizados (APHA, AWWA, & WEF, 2012) (Figura 6). Los análisis de DBO_5 , DQO, amonio, nitritos, nitratos y fósforo total se determinaron bajo los lineamientos del “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”. Estas muestras fueron analizadas en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño.

Figura 6. Toma de muestras de agua para análisis físicoquímicos y nutrientes de las diferentes zonas de cultivo.



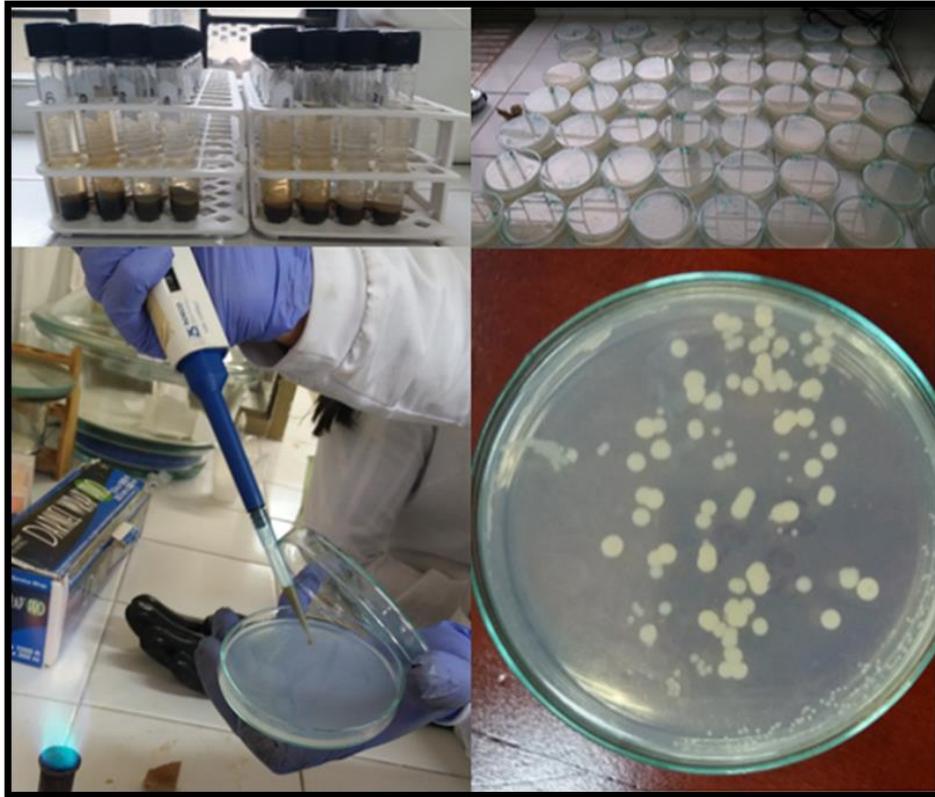
4.3.3 Sedimentos. Con la ayuda de una draga Eckman de 250 centímetros cúbicos, se realizó la colecta de sedimentos tomando tres muestras por cada área de estudio (empresas de cultivo y punto control); las cuales se depositaron en bolsas selladas recubiertas en papel aluminio y se mantuvieron en refrigeración hasta llegar al laboratorio (Figura 7). Con el sedimento recolectado se determinó, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo total y carbono orgánico total. Las muestras recolectadas se enviaron al laboratorio GAIA de la universidad de Antioquia, los parámetros fueron analizados con base a la norma NTC-ISO/IEC 17025 del 2005.

Figura 7. Toma de muestras de sedimento con draga Eckman 250 cm³.



4.3.4 Análisis microbiológico. Igualmente con el sedimento recolectado se tomaron 10g de cada muestra para realizar recuentos de bacterias oxidantes de amonio (BOA) y recuentos de bacterias oxidantes de nitritos (BON), las muestras se suspendieron en 90 mL de solución de nutrientes esterilizada y se homogenizó la muestra por medio de un mezclador tipo vortex durante cinco minutos. Consecutivamente se realizó un recuento de células viables empleando el método de dilución seriada o número más probable (NPM), la cual proporciona una estimación estadística de la densidad microbiana presente. Este procedimiento consiste en hacer diluciones decimales del cultivo en condiciones estériles, posteriormente se realizó la siembra en placa con agar o medios de cultivo selectivos y/o diferenciales para bacterias reductoras de amonio y nitritos y se incubaron en un tiempo de 24 horas para luego realizar el conteo de unidades formadoras de colonia que determinaron la densidad celular de la población bacteriana presente (Figura 8). Este análisis se realizó en los laboratorios de microbiología de la universidad de Nariño, bajo los lineamientos de los Métodos Analíticos del laboratorio de suelos (Motta De Muñoz et al., 1990).

Figura 8. Técnica de dilución y cuenta en placa de bacterias nitrificantes (BOA y BON).



4.4 Análisis estadístico

Para la comparación de los valores medios de los parámetros fisicoquímicos y de los nutrientes medidos en el agua y en los sedimentos, se realizó la verificación de los supuestos estadísticos de Normalidad, aplicando las pruebas de Chi-cuadrado, Shapiro-Wilk y Z de asimetría, de las cuales, por lo menos una demostró que los datos corresponden a una distribución normal ($p > 0,05$); en cuanto al supuesto de homogeneidad de varianzas, se pudo probar la hipótesis de que las varianzas de los datos obtenidos en cada una de las zonas muestreadas no tienen diferencias significativas ($p > 0,05$), mediante la prueba de Bartlett, dado que se trata de muestras que provienen de una misma población; también se verificó el supuesto de independencia, mediante la prueba de Durbin-Watson, según la cual fue posible demostrar que las muestras son independientes al no estar autocorrelacionadas en una serie temporal ($p > 0,05$). Con lo anterior, se aseguró la posibilidad de aplicar un

análisis de varianzas (ANOVA), una prueba paramétrica para comparar y demostrar la presencia de diferencias significativas ($\alpha=0,05$) entre zonas, puntos y profundidades en las diferentes variables medidas en este estudio. En los casos en los cuales se encontró diferencias significativas entre las zonas muestreadas, se realizó una prueba de comparación múltiple de Tukey, con el fin de establecer diferencias significativas entre las medias y así poder determinar el efecto de las zonas estudiadas en cada una de las variables evaluadas. En cuanto a los datos recolectados de BOA y BON, no cumplieron con los supuestos estadísticos del ANOVA, por lo cual se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis, un método no paramétrico para comparar las varianzas de las muestras y probar la existencia de diferencias significativas ($\alpha=0,05$), luego se utilizó la prueba de *t* de Student para comparar las medias de las proporciones BOA/BON y determinar la existencia de diferencias significativas en las zonas estudiadas (Z1:Z2, Z1:Z3, Z1:Z4, Z2:Z3, Z2:Z4 y Z3:Z4). Además se realizó un análisis multivariado para mostrar la correlación existente entre las diferentes variables evaluadas, mediante el coeficiente de correlación de Pearson y de esa manera para determinar las relaciones de asociación entre los parámetros fisicoquímicos, el contenido de nutrientes y las poblaciones bacterianas de BOA y BON. Finalmente se aplicó un Análisis de Componentes Principales (ACP), con el fin de observar el comportamiento conjunto en el sistema facilitando su análisis. Todas las pruebas fueron efectuadas utilizando software Statgraphics Centurion XV y Microsoft Excel 2010.

5. Resultados

5.1 Variabilidad fisicoquímica y contenido de nutrientes del agua.

5.1.1 Parámetros fisicoquímicos. Los valores de parámetros fisicoquímicos (Anexo A) con sus respectivas desviaciones estándar analizados para cada sistema productivo (extensivo, semi-intensivo, e intensivo) se muestran en la Tabla 2 (Anexo B), dichos datos fueron promediados para cada variable aplicando los supuestos estadísticos, donde las variables oxígeno disuelto, temperatura, pH, conductividad y turbidez cumplieron con todos los supuestos (Normalidad, Homogeneidad de Varianza e independencia) (Anexo C).

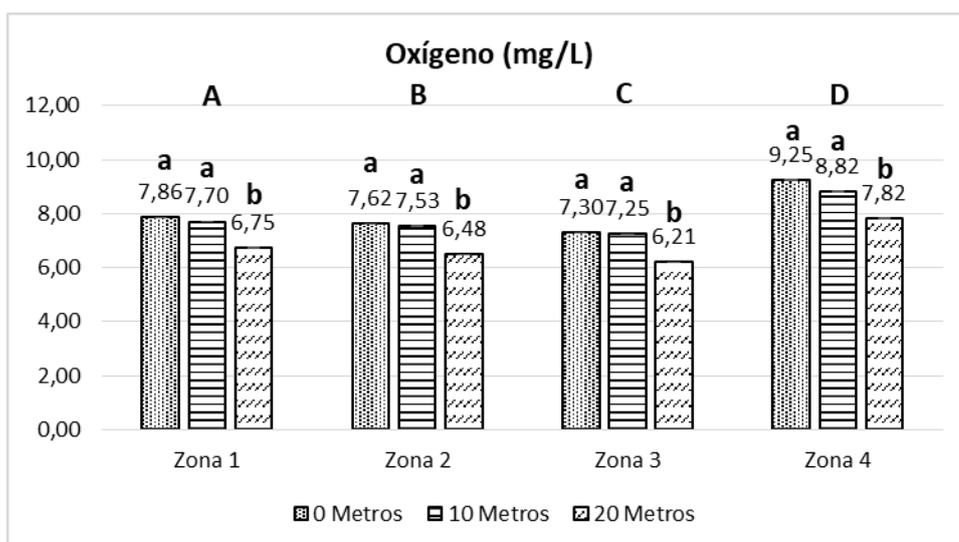
Tabla 2. Valores (media \pm Desviación estándar) de parámetros fisicoquímicos del agua medidos en las zonas y profundidades de muestreo.

Parámetro	Profundidad	Zona 1 (Cultivo Extensivo)	Zona 2 (Cultivo Semi-intensivo)	Zona 3 (Cultivo Intensivo)	Zona 4 (Punto control)
Oxígeno Disuelto (mg/L)	0 metros	7,86 \pm 0,04 ^a	7,62 \pm 0,04 ^a	7,30 \pm 0,03 ^a	9,25 \pm 0,06 ^a
	10 metros	7,70 \pm 0,05 ^a	7,53 \pm 0,06 ^a	7,25 \pm 0,03 ^a	8,82 \pm 0,06 ^a
	20 metros	6,75 \pm 0,07 ^b	6,48 \pm 0,04 ^b	6,21 \pm 0,02 ^b	7,82 \pm 0,05 ^b
Temperatura (°C)	0 metros	16,8 \pm 0,17 ^a	17,32 \pm 0,08 ^a	17,63 \pm 0,10 ^a	17,20 \pm 0,14 ^a
	10 metros	16,54 \pm 0,16 ^b	16,73 \pm 0,10 ^b	17,02 \pm 0,08 ^b	16,42 \pm 0,07 ^b
	20 metros	15,57 \pm 0,20 ^c	15,66 \pm 0,07 ^c	16,02 \pm 0,10 ^c	15,23 \pm 0,10 ^c
Conductividad Eléctrica (μ S/cm)	0 metros	72,57 \pm 1,29 ^a	82,16 \pm 0,35 ^a	90,12 \pm 0,53 ^a	70,21 \pm 0,73 ^a
	10 metros	76,96 \pm 0,50 ^b	86,3 \pm 0,63 ^b	103,57 \pm 6,27 ^b	75,57 \pm 0,85 ^b
	20 metros	82,86 \pm 0,76 ^c	93,26 \pm 0,64 ^c	117,12 \pm 4,23 ^c	81,44 \pm 0,24 ^c
pH	0 metros	7,72 \pm 0,024 ^a	7,65 \pm 0,017 ^a	7,56 \pm 0,030 ^a	8,15 \pm 0,039 ^a
	10 metros	7,51 \pm 0,040 ^b	7,45 \pm 0,030 ^b	7,33 \pm 0,021 ^b	8,00 \pm 0,051 ^b
	20 metros	7,37 \pm 0,021 ^c	7,16 \pm 0,023 ^c	7,02 \pm 0,020 ^c	7,55 \pm 0,086 ^c
Turbidez (UNT)	0 metros	1,75 \pm 0,06 ^a	1,82 \pm 0,07 ^a	2,10 \pm 0,06 ^a	1,71 \pm 0,02 ^a
	10 metros	1,85 \pm 0,04 ^b	1,92 \pm 0,03 ^b	2,12 \pm 0,08 ^b	1,83 \pm 0,03 ^b
	20 metros	1,95 \pm 0,05 ^c	2,12 \pm 0,11 ^c	2,26 \pm 0,02 ^c	1,94 \pm 0,03 ^c

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

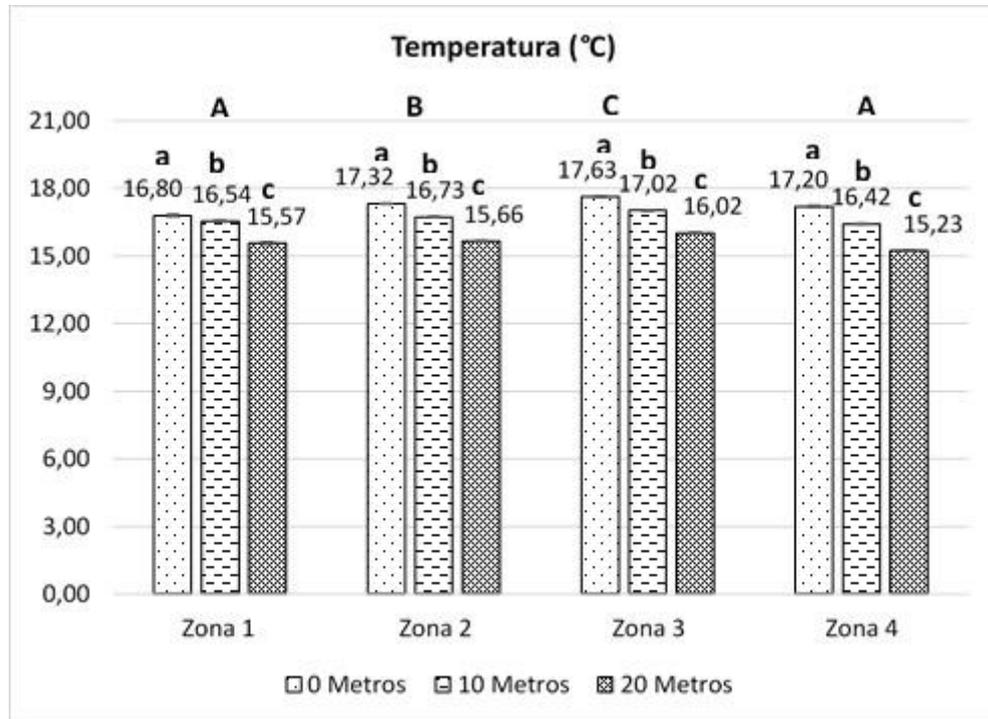
5.1.1.1 Oxígeno Disuelto (OD). El análisis de varianza para el oxígeno disuelto presentó diferencias significativas entre los tres sistemas de cultivo y el punto control ($p < 0,05$), obteniendo el mayor valor de disponibilidad de oxígeno en la zona 4 (punto control) con una media de $8,63 \pm 0,007$ mg/L, por el contrario los menores valores de oxígeno ($6,92 \pm 0,007$ mg/L) se encontraron en la zona 3 (cultivo intensivo) (Anexo D). De igual forma el ANOVA presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre profundidades de muestreo con valores de las medias estadísticas de $6,81 \pm 0,02$ mg/L, $7,82 \pm 0,03$ mg/L y $8,00 \pm 0,03$ mg/L para las profundidades de 20, 10 y 0 metros respectivamente siendo esta ultima la de mejor disponibilidad de oxígeno (Anexo D) (Figura 9).

Figura 9. Valores promedio y desviación estándar de oxígeno disuelto (mg/L) de las zonas y profundidades de muestreo.



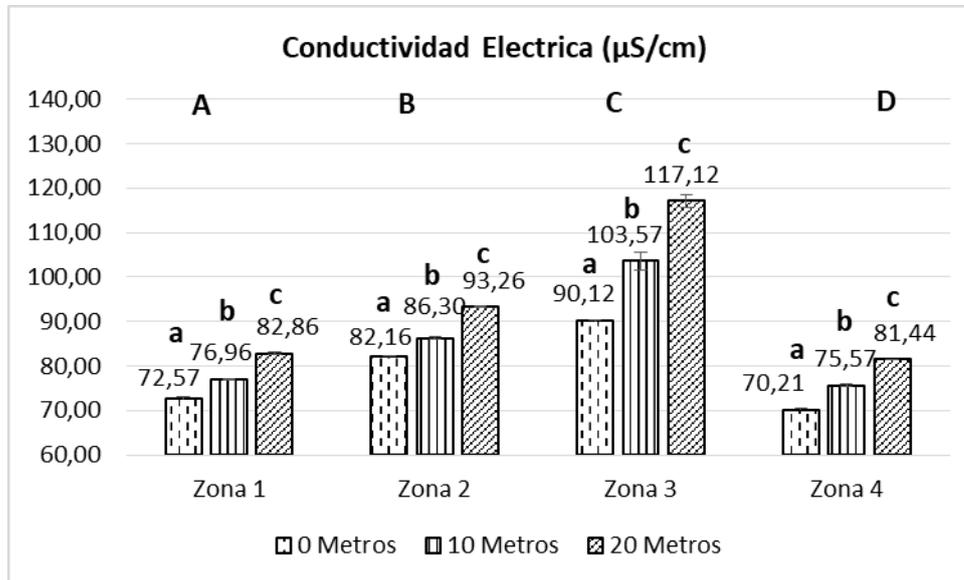
5.1.1.2 Temperatura (°C). El análisis de varianza para la temperatura presentó diferencias significativas entre los tres sistemas de cultivo y el punto control ($p < 0,05$), obteniendo el mayor valor en la zona 3 (cultivo intensivo) con una media de $16,89 \pm 0,024$ °C, por el contrario los menores valores de temperatura se encontraron en la zonas 1 y 4 (cultivo extensivo y punto control), con $16,30 \pm 0,024$ °C y $16,28 \pm 0,024$ °C respectivamente (Anexo E). De igual forma el ANOVA presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre profundidades de muestreo con valores de las medias estadísticas de $15,62 \pm 0,01$ °C, $16,68 \pm 0,02$ mg/L y $17,24 \pm 0,03$ °C para las profundidades de 20, 10 y 0 metros respectivamente (Anexo E) (Figura 10).

Figura 10. Valores promedio y desviación estándar de temperatura (mg/L) de las zonas y profundidades de muestreo.



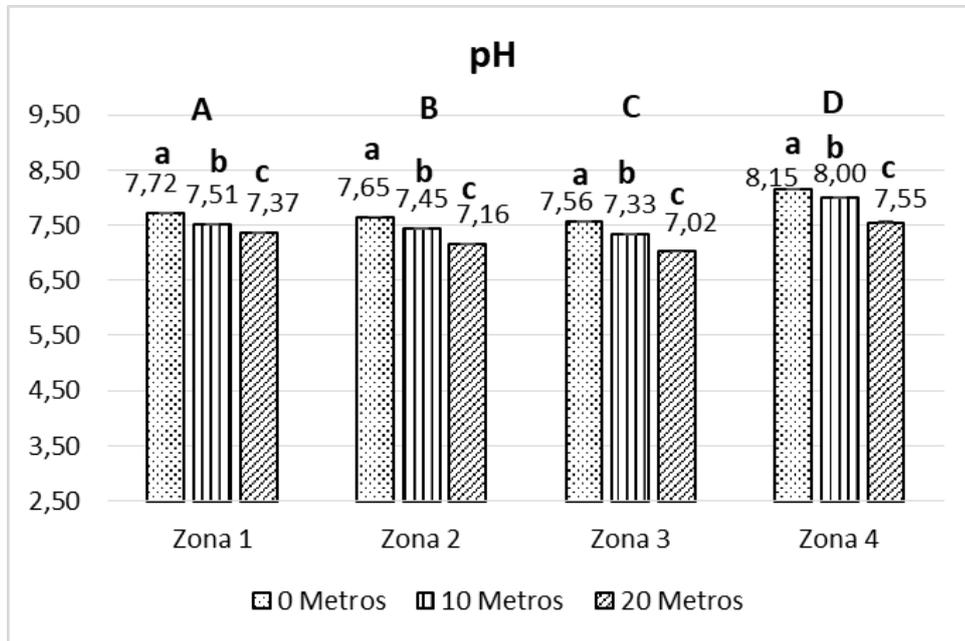
5.1.1.3 Conductividad (CE). El análisis de varianza para la conductividad eléctrica presentó diferencias significativas entre los tres sistemas de cultivo y el punto control ($p < 0,05$), obteniendo el mayor valor en la zona 3 (cultivo intensivo) con una media de $103,60 \pm 0,14 \mu\text{S/cm}$, seguido de la zona 2 con un valor de $87,24 \pm 0,14 \mu\text{S/cm}$, zona 1 con $77,46 \pm 0,14 \mu\text{S/cm}$ y finalmente la zona 4 siendo la de menor valor con $77,74 \pm 0,14 \mu\text{S/cm}$ (Anexo F). De igual forma el ANOVA presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre profundidades de muestreo con valores de las medias estadísticas de $78,76 \pm 0,13 \mu\text{S/cm}$, $85,60 \pm 0,13 \mu\text{S/cm}$ y $95,67 \pm 0,14 \mu\text{S/cm}$ para las profundidades de 0, 10 y 20 metros respectivamente (Anexo F) (Figura 11).

Figura 11. Valores promedio y desviación estándar de conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de las zonas y profundidades de muestreo.

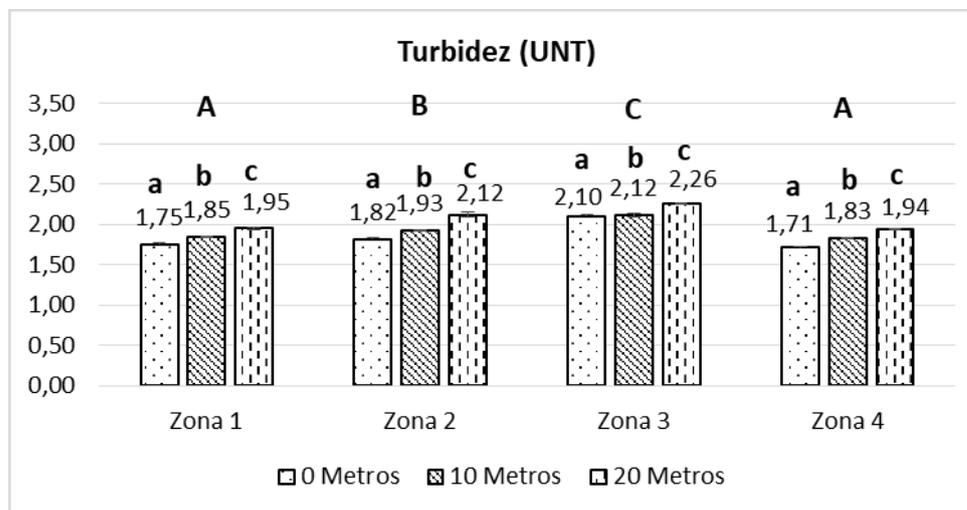


5.1.1.4 Potencial de hidrógeno (pH). El análisis de varianza para el pH presentó diferencias significativas entre los tres sistemas de cultivo y el punto control ($p < 0,05$), obteniendo el mayor valor en la zona 4 (punto control) con una media de $7,90 \pm 0,005$, seguido de la zona 1 con un valor de $7,53 \pm 0,005$, zona 2 con $7,42 \pm 0,005$ y finalmente la zona 3 presentando un valor de $7,30 \pm 0,005$ (Anexo G). De igual forma el ANOVA presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre profundidades de muestreo con valores de las medias estadísticas de $7,27 \pm 0,004$, $7,57 \pm 0,003$ y $7,77 \pm 0,004$ para las profundidades de 20, 10 y 0 metros respectivamente (Anexo G) (Figura 12).

Figura 12. Valores promedio y desviación estándar de potencial de hidrógeno (pH) de las zonas y profundidades de muestreo.



5.1.1.5 Turbidez (UNT). El análisis de varianza para la Turbidez presentó diferencias significativas entre los tres sistemas de cultivo y el punto control ($p < 0,05$), obteniendo el mayor valor en la zona 3 (cultivo intensivo) con una media de $2,16 \pm 0,007$, seguido de la zona 2 con un valor de $1,95 \pm 0,007$, zona 1 con $1,85 \pm 0,007$ y finalmente la zona 4 con un valor de $1,83 \pm 0,007$ presentando la menor turbidez (Anexo H). De igual forma el ANOVA presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre profundidades de muestreo con valores de las medias estadísticas de $1,85 \pm 0,006$, $1,93 \pm 0,006$ y $2,07 \pm 0,007$ para las profundidades de 0, 10 y 20 metros respectivamente (Anexo H) (Figura 13).

Figura 13. Valores promedio y desviación estándar de turbidez (UNT) de las zonas y profundidades de muestreo.

5.1.2 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). Los valores de DBO₅ y DQO (Anexo A) con sus respectivas desviaciones estándar analizados para cada sistema productivo (extensivo, semi-intensivo, e intensivo, se muestran en la Tabla 3 (Anexo B). Dichos datos fueron promediados para cada variable cumpliendo con los supuestos estadísticos de normalidad, homogeneidad de varianza e independencia (Anexo C).

Tabla 3. Valores (media ± Desviación estándar) de DB05 Y DQO del agua medidos en las zonas y profundidades de muestreo.

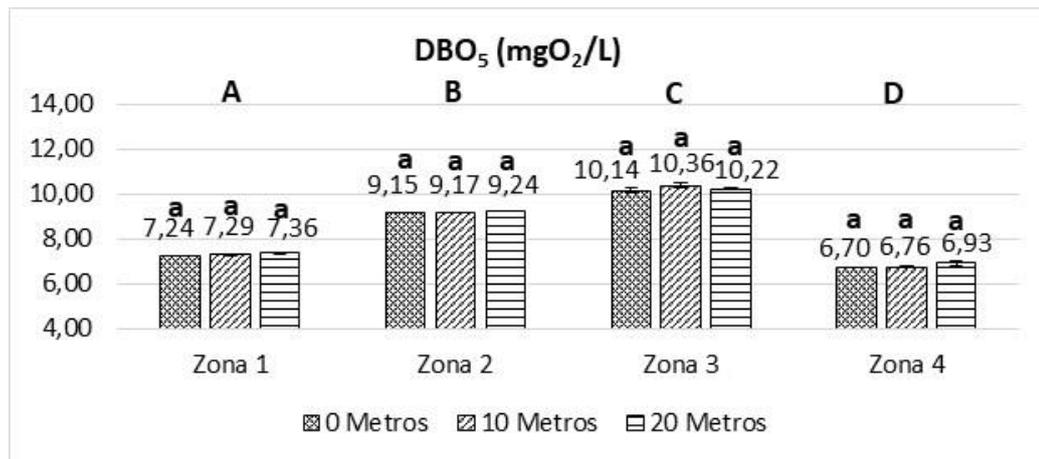
Parámetro	Profundidad	Zona 1 (Cultivo Extensivo)	Zona 2 (Cultivo Semi-intensivo)	Zona 3 (Cultivo Intensivo)	Zona 4 (Punto control)
DBO ₅ (mgO ₂ /L)	0 metros	7,24±0,02 ^a	9,15±0,01 ^a	10,14±0,17 ^a	6,70±0,01 ^a
	10 metros	7,29±0,02 ^a	9,17±0,01 ^a	10,36±0,16 ^a	6,76±0,05 ^a
	20 metros	7,36±0,03 ^a	9,24±0,02 ^a	10,22±0,06 ^a	6,93±0,14 ^a
DQO (mgO ₂ /L)	0 metros	8,24±0,04 ^a	11,21±0,05 ^a	14,36±0,05 ^a	7,15±0,25 ^a
	10 metros	8,36±0,09 ^a	11,30±0,03 ^a	13,76±0,53 ^a	7,25±0,21 ^a
	20 metros	8,42±0,10 ^a	11,57±0,10 ^a	14,28±0,58 ^a	7,40±0,24 ^a

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

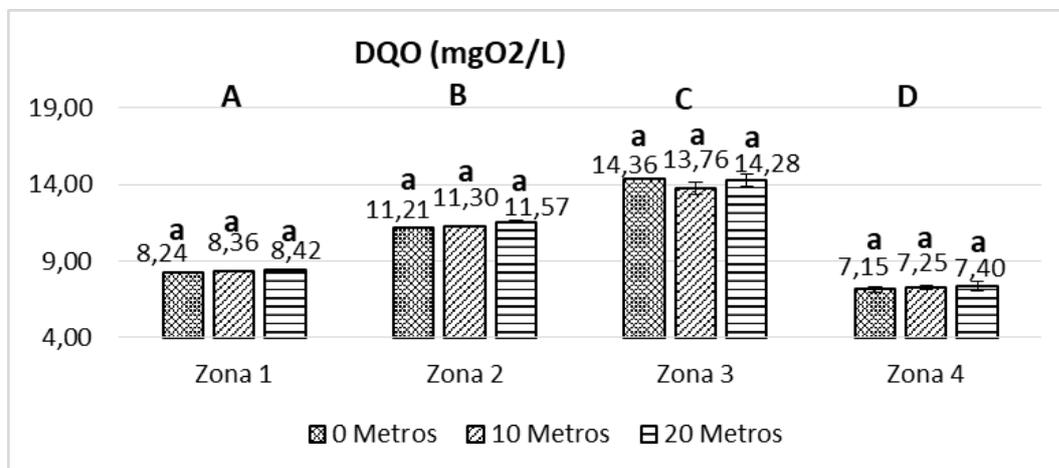
5.1.2.1 Demanda biológica de oxígeno (DBO₅). El análisis de varianza para la DBO₅ presenta diferencias significativas entre los tres sistemas de cultivo y el punto control (p<0,05), obteniendo el mayor valor de DBO₅ en la zona 3 (cultivo intensivo) con una media de 10,24±0,027 mgO₂/L, seguido de la zona 2 con un valor de

9,19±0,027 mgO₂/L, zona 1 con 7,29±0,027 mgO₂/L y finalmente la zona 4 con un valor de 6,80±0,027 mgO₂/L presentando la menor para la DBO₅ (Anexo I). Por el contrario, el ANOVA no presentó diferencias significativas ($p>0,05$) entre profundidades de muestreo (Anexo I) (Figura 14).

Figura 14. Valores promedio y desviación estándar de DBO₅ (mgO₂/L) de las zonas y profundidades de muestreo.



5.1.2.2 Demanda química de oxígeno (DQO). El análisis de varianza para la DQO presenta diferencias significativas entre los tres sistemas de cultivo y el punto control ($p<0,05$), obteniendo el mayor valor de DQO en la zona 3 (cultivo intensivo) con una media de 14,13±0,093 mgO₂/L, seguido de la zona 2 con un valor de 11,36±0,093 mgO₂/L, zona 1 con 8,34±0,093 mgO₂/L y finalmente la zona 4 con un valor de 7,27±0,093 mgO₂/L presentando la menor para la DQO (Anexo J). Por el contrario, el ANOVA no presentó diferencias significativas ($p>0,05$) entre profundidades de muestreo (Anexo J) (Figura 15).

Figura 15. Valores promedio y desviación estándar de DQO (mgO₂/L) de las zonas y profundidades de muestreo.

5.1.3 Contenido de Nutrientes en el agua. Los valores de nutrientes (Anexo K) con sus respectivas desviaciones estándar analizados para cada sistema productivo (extensivo, semi-intensivo, e intensivo), se muestran en la Tabla 4 (Anexo L). Dichos datos fueron promediados para cada variable cumpliendo con los supuestos estadísticos de normalidad, homogeneidad de varianza e independencia (Anexo M).

Tabla 4. Valores (media \pm Desviación estándar) de nutrientes del agua medidos en las zonas y profundidades de muestreo.

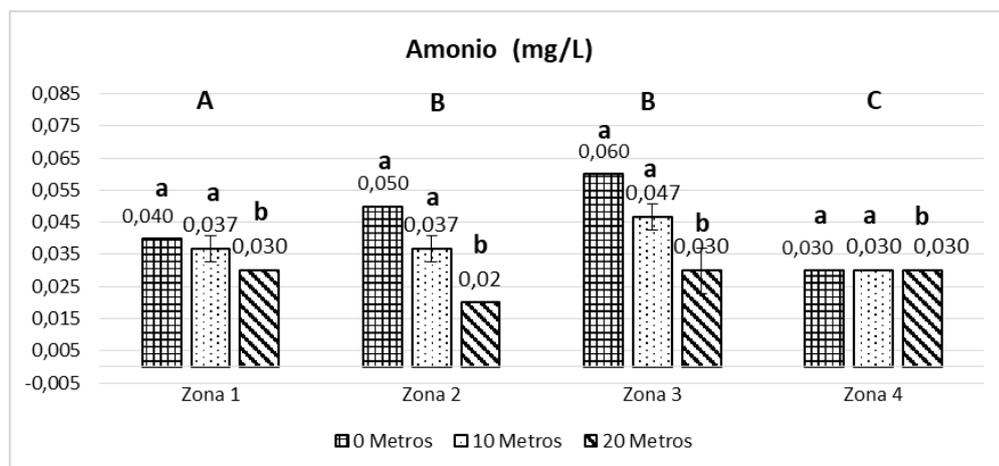
Parámetro	Profundidad	Zona 1 (Cultivo Extensivo)	Zona 2 (Cultivo Semi- intensivo)	Zona 3 (Cultivo Intensivo)	Zona 4 (Punto control)
Amonio (NH₄₊)	0 metros	0,040 \pm 0,00 ^a	0,050 \pm 0,00 ^a	0,060 \pm 0,00 ^a	0,03 \pm 0,00 ^a
	10 metros	0,037 \pm 0,01 ^a	0,037 \pm 0,01 ^a	0,047 \pm 0,01 ^a	0,03 \pm 0,00 ^a
	20 metros	0,030 \pm 0,00 ^b	0,020 \pm 0,00 ^b	0,030 \pm 0,01 ^b	0,03 \pm 0,00 ^b
Nitritos (NO₂-)	0 metros	0,005 \pm 0,0002 ^a	0,005 \pm 0,0001 ^a	0,006 \pm 0,0001 ^a	0,004 \pm 0,0001 ^a
	10 metros	0,005 \pm 0,0002 ^a	0,005 \pm 0,0001 ^a	0,006 \pm 0,0001 ^a	0,004 \pm 0,0000 ^a
	20 metros	0,005 \pm 0,0006 ^a	0,005 \pm 0,0001 ^a	0,007 \pm 0,0001 ^a	0,005 \pm 0,0001 ^a
Nitratos (NO₃-)	0 metros	0,23 \pm 0,01 ^a	0,41 \pm 0,02 ^a	0,47 \pm 0,01 ^a	0,20 \pm 0,01 ^a
	10 metros	0,30 \pm 0,01 ^a	0,45 \pm 0,01 ^a	0,54 \pm 0,01 ^a	0,30 \pm 0,01 ^a
	20 metros	0,34 \pm 0,01 ^a	0,47 \pm 0,01 ^a	0,58 \pm 0,02 ^a	0,32 \pm 0,02 ^a
Fósforo Total	0 metros	0,02 \pm 0,00 ^a	0,03 \pm 0,00 ^a	0,07 \pm 0,00 ^a	0,02 \pm 0,00 ^a
	10 metros	0,02 \pm 0,00 ^a	0,04 \pm 0,00 ^a	0,07 \pm 0,00 ^a	0,02 \pm 0,00 ^a
	20 metros	0,02 \pm 0,00 ^a	0,05 \pm 0,00 ^a	0,06 \pm 0,01 ^a	0,02 \pm 0,00 ^a

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

5.1.3.1 Amonio (mg/L). El análisis de varianza para el amonio demostró diferencias significativas entre los tres sistemas de cultivo y el punto control ($p < 0,05$); obteniendo el mayor valor de contenido de amonio en la zona 3 correspondiente al cultivo intensivo con un valor de la media de $0,046 \pm 0,0014$ mg/L. Las zonas 1 y 2 no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre sí, con un valor de la media de $0,036 \pm 0,0014$ mg/L para ambas zonas. Finalmente la zona 4 correspondiente al punto control presentó un valor de $0,03 \pm 0,0014$ mg/L, siendo el menor de las medias muestrales (Anexo N).

De igual forma el ANOVA presentó diferencias significativas ($p < 0,05$), para el contenido de amonio entre profundidades, con $0,027 \pm 0,0011$ mg/L para 20 metros, $0,037 \pm 0,0012$ mg/L para 10 metros y $0,045 \pm 0,0012$ mg/L para 0 metros de profundidad (Anexo N) (Figura 16).

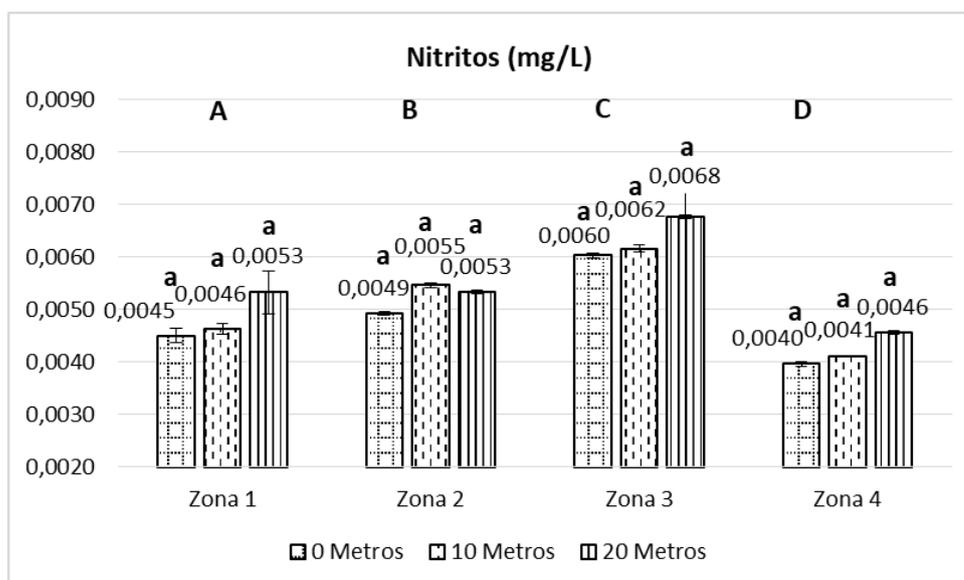
Figura 16. Valores promedio y desviación estándar de Amonio (mg/L) de las zonas y profundidades de muestreo.



5.1.3.2 Nitritos (mg/L). El análisis de varianza para nitritos presentó diferencias significativas entre los tres sistemas de cultivo y el punto control ($p < 0,05$); obteniendo el mayor valor de contenido de nitritos en la zona 3 correspondiente al cultivo intensivo con un valor de la media de $0,0063 \pm 0,00007$ mg/L, seguido de las zonas 2 y 1 con valores de la media de $0,0056 \pm 0,00007$ mg/L y $0,0048 \pm 0,00007$ mg/L respectivamente. Finalmente la zona 4 correspondiente al punto control presentó el menor valor con una media de $0,0042 \pm 0,00007$ mg/L (Anexo Ñ). El ANOVA realizado

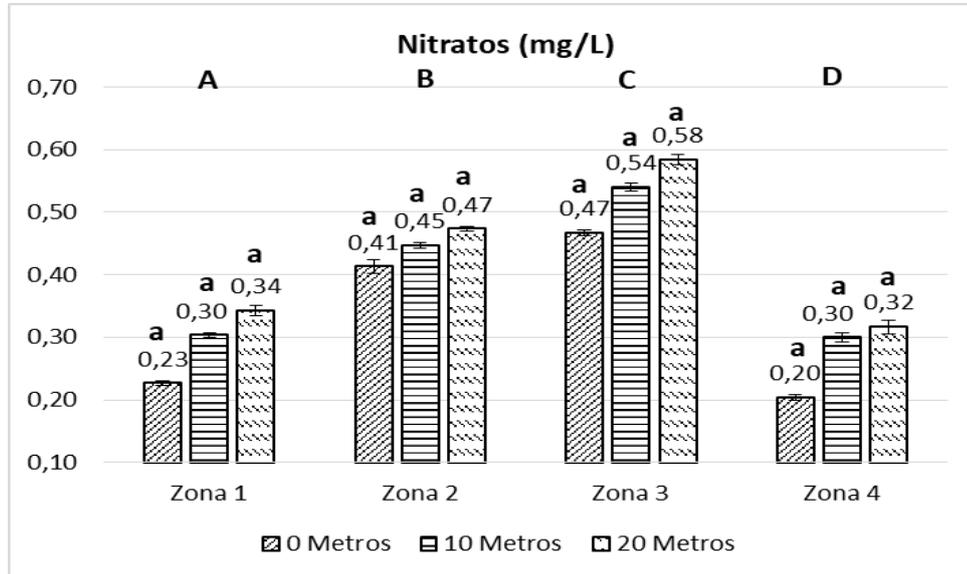
para profundidades no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$), entre ellas (Figura 17).

Figura 17. Valores promedio y desviación estándar de Nitritos (mg/L) de las zonas y profundidades de muestreo.



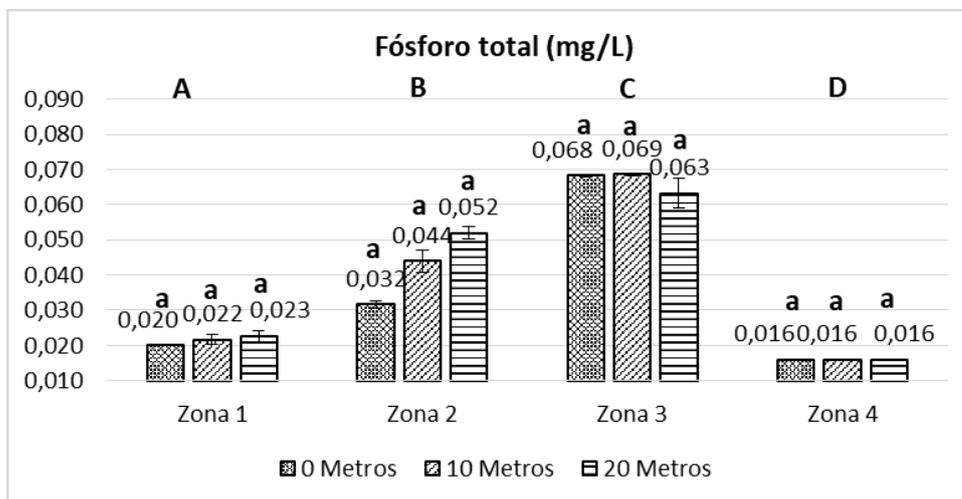
5.1.3.3 Nitratos (mg/L). El análisis de varianza para nitratos presentó diferencias significativas entre los tres sistemas de cultivo y el punto control ($p < 0,05$); obteniendo el mayor valor de contenido de nitratos en la zona 3 correspondiente al cultivo intensivo con un valor de la media de $0,53 \pm 0,0032$ mg/L, seguido de las zonas 2 y 1 con valores de la media de $0,44 \pm 0,0032$ mg/L y $0,29 \pm 0,0032$ mg/L respectivamente. Finalmente la zona 4 correspondiente al punto control presentó el menor valor con una media de $0,27 \pm 0,0032$ mg/L (Anexo O). El ANOVA realizado para profundidades no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$), entre ellas (Figura 18).

Figura 18. Valores promedio y desviación estándar de Nitratos (mg/L) de las zonas y profundidades de muestreo.



5.1.3.4 Fósforo Total (mg/L). El análisis de varianza para fósforo total presentó diferencias significativas entre los tres sistemas de cultivo y el punto control ($p < 0,05$); obteniendo el mayor valor de contenido de fósforo en la zona 3 correspondiente al cultivo intensivo con un valor de la media de $0,067 \pm 0,00083$ mg/L, seguido de las zonas 2 y 1 con valores de la media de $0,043 \pm 0,00083$ mg/L y $0,021 \pm 0,00083$ mg/L respectivamente. Finalmente la zona 4 correspondiente al punto control presentó el menor valor con una media de $0,016 \pm 0,00083$ mg/L (Anexo P). El ANOVA realizado para profundidades no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$), entre ellas (Figura 19).

Figura 19. Valores promedio y desviación estándar de fósforo total (mg/L) del agua en las zonas y profundidades de muestreo.



5.2 Contenido de nutrientes en los sedimentos.

Los valores de nutrientes (Anexo Q) con sus respectivas desviaciones estándar analizados para cada sistema productivo (extensivo, semi-intensivo, e intensivo), se muestran en la Tabla 5 (Anexo R). Dichos datos fueron promediados para cada variable aplicando los supuestos estadísticos, donde las variables Materia orgánica, Nitrógeno Total y Carbono orgánico cumplieron con todos los supuestos (Normalidad, Homogeneidad de Varianza e independencia), mientras que la variable Fosforo Total no cumplió con el supuesto de normalidad, sin embargo debido a que se tiene una cantidad numerosa de datos por muestra ($n > 30$), el teorema central del límite permite inferir que se aproxima a una distribución normal, puesto que se cumplió con los dos supuestos restantes (homogeneidad de varianza e independencia) (Anexo S).

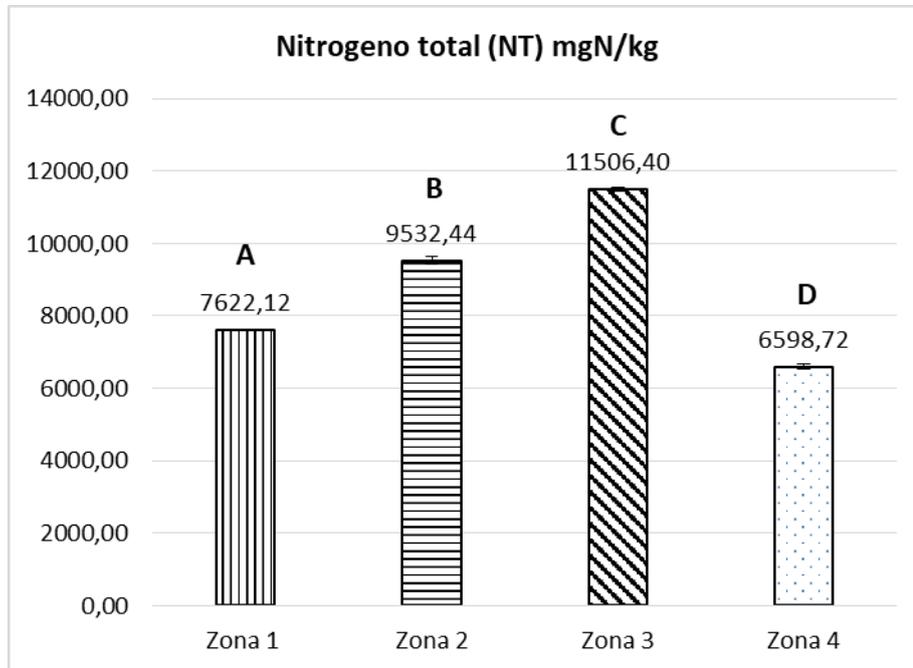
Tabla 5. Valores (media \pm Desviación estándar) de nutrientes del sedimento medidos en las cuatro zonas de muestreo.

Parámetro	Zona 1 (Cultivo Extensivo)	Zona 2 (Cultivo Semi-intensivo)	Zona 3 (Cultivo Intensivo)	Zona 4 (Punto control)
Nitrógeno total (mgN/kg)	7622,12 \pm 37,32 ^A	9532,44 \pm 314,16 ^B	11506,40 \pm 148,69 ^C	6598,72 \pm 248,23 ^D
Fosforo total (mgP/kg)	171,61 \pm 6 ^A	246,57 \pm 21 ^B	1030,02 \pm 39,54 ^C	155,49 \pm 2 ^A
Carbono orgánico Total (mg/kg)	29293,42 \pm 492 ^A	32577,98 \pm 226 ^B	33433,33 \pm 131,48 ^C	27953,28 \pm 753 ^D
Materia Orgánica (%)	5,05 \pm 0,09 ^A	5,65 \pm 0,09 ^B	5,78 \pm 0,05 ^B	4,72 \pm 0,17 ^C

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

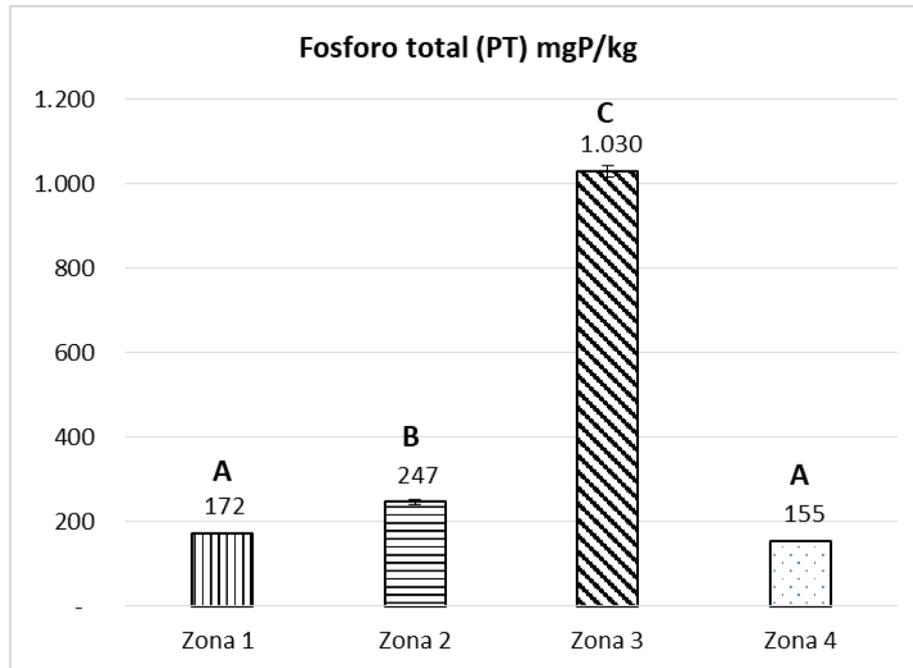
5.2.1 Nitrógeno Total (mgN/kg). El análisis de varianza para nitrógeno total presentó diferencias significativas entre los tres sistemas de cultivo y el punto control ($p < 0,05$) (Figura 21); obteniendo el mayor valor de contenido de nitrógeno en la zona 3 correspondiente al cultivo intensivo con un valor de la media de 11531,10 \pm 82,27 mgN/kg, seguido de las zonas 2 y 1 con valores de la media de 9532,44 \pm 82,27 mgN/kg y 7622,11 \pm 82,27 mgN/kg respectivamente. Finalmente la zona 4 correspondiente al punto control presentó el menor valor con una media de 6598,78 \pm 82,27 mgN/kg (Anexo T).

Figura 20. Valores promedio y desviación estándar de Nitrógeno Orgánico Total (mgN/kg) de las cuatro zonas de muestreo.



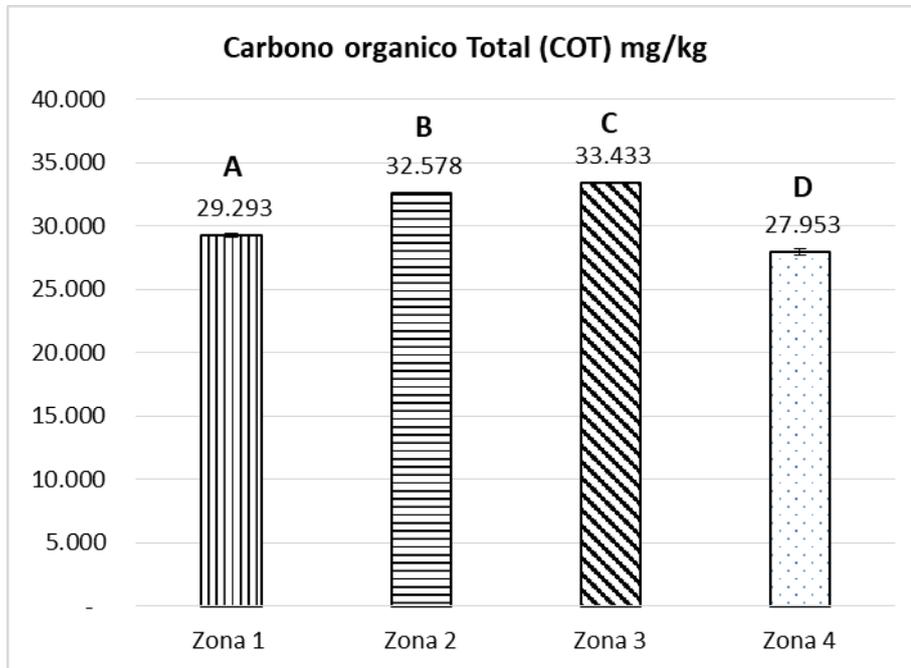
5.2.2 Fósforo Total (mgP/kg). El análisis de varianza para fósforo total demostró diferencias significativas entre los tres sistemas de cultivo y el punto control ($p < 0,05$) (Figura 23); obteniendo el mayor valor de contenido de fosforo en la zona 3 correspondiente al cultivo intensivo con un valor de la media de $1030,02 \pm 8,01$ mgP/kg, seguido de la zona 2 con un valor de $246,57 \pm 8,01$ mgP/kg. Las zonas 1 y 4 no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre sí, con valores de la media de $171,61 \pm 8,01$ mgP/kg y $155,49 \pm 8,01$ mgP/kg (Anexo U).

Figura 21. Valores promedio y desviación estándar de fósforo total (mgP/kg) del sedimento en las cuatro zonas de muestreo.



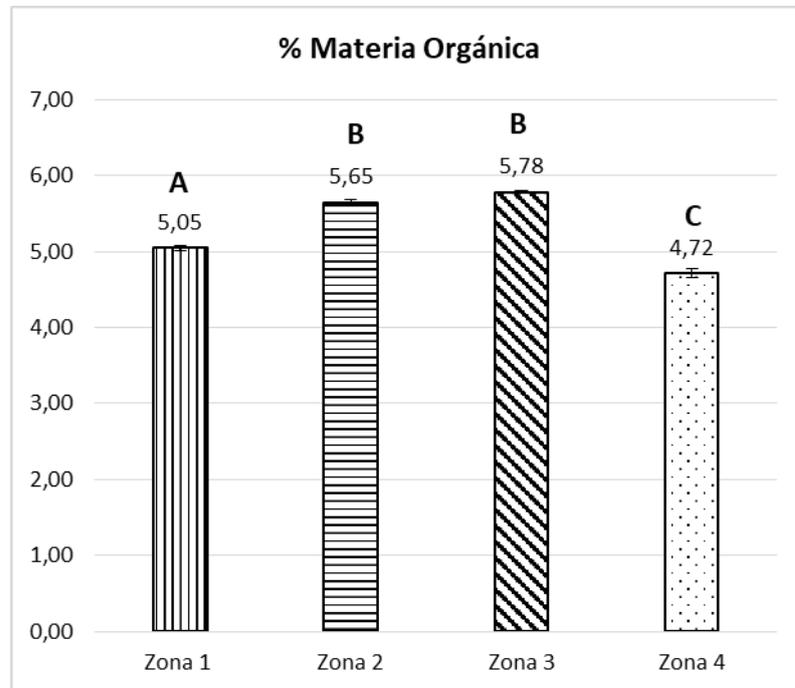
5.2.3 Carbono Orgánico Total (mg/kg). El análisis de varianza para COT presentó diferencias significativas entre los tres sistemas de cultivo y el punto control ($p < 0,05$) (Figura 22); obteniendo el mayor valor de contenido de nitrógeno en la zona 3 correspondiente al cultivo intensivo con un valor de la media de $33433,30 \pm 144,86$ mg/kg, seguido de las zonas 2 y 1 con valores de la media de $32578,00 \pm 144,86$ mg/kg y $29293,40 \pm 144,86$ mg/kg respectivamente. Finalmente la zona 4 correspondiente al punto control presentó el menor valor con una media de $27953,30 \pm 144,86$ mg/kg (Anexo V).

Figura 22. Valores promedio y desviación estándar de carbono orgánico total (mg/kg) de las cuatro zonas de muestreo.



5.2.4 Materia Orgánica (%). El análisis de varianza para la materia orgánica presentó diferencias significativas entre los tres sistemas de cultivo y el punto control ($p < 0,05$), donde las zonas 2 y 3 no presentaron diferencias significativas entre ellas, pero si entre las zonas 1 y 4 (Figura 20). El mayor valor de contenido de materia orgánica se presentó en la zona 3 con $5,78 \pm 0,40$ %, seguido de la zona 2 con $5,65 \pm 0,40$ %. Los valores de las zonas 1 y 4 corresponden a $5,05 \pm 0,040$ % y $4,72 \pm 0,040$ % respectivamente (Anexo W).

Figura 23. Valores promedio y desviación estándar de materia orgánica (%) de las cuatro zonas de muestreo.



5.3 Población de bacterias oxidantes de amonio (BOA) y bacterias oxidantes de nitritos (BON) en los sedimentos según la intensidad de cultivo.

Mediante el cálculo de proporciones entre BOA y BON (Anexo X) con los valores de densidad celular de las bacterias nitrificantes (Anexo X) tomadas de cada zona estudiada (extensivo, semi-intensivo, intensivo y punto control), se aplicó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis y se encontró diferencias significativas entre la comparación de las varianzas de estos datos. Posteriormente al aplicar la Prueba *t* de Student se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las zonas muestreadas, presentando los menores valores de proporción para las bacterias oxidantes de amonio, con respecto a las oxidantes de nitrito. Sin embargo entre las zonas 2 y 4 no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los valores de proporciones para el cultivo semi-intensivo y el punto control, presentando proporciones iguales para BOA con un valor de 0,56% y para BON con un 99,44%

respectivamente (Figura 24) (Anexo Y). Los valores promediados de proporción BOA/BON se indican en la Tabla 6.

Figura 24. Valores de proporción (%) entre bacterias oxidantes de amonio (BOA) y bacterias oxidantes de nitritos (BON).

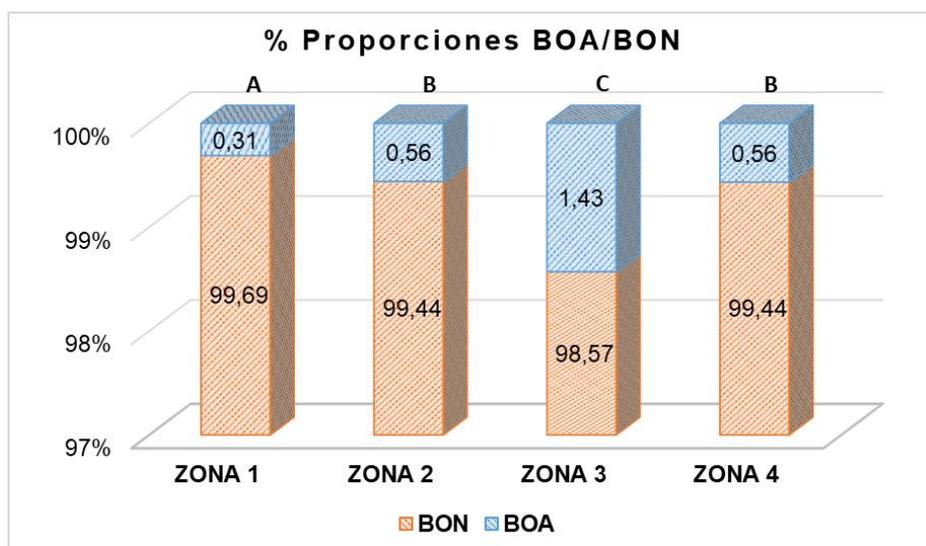


Tabla 6. Porcentajes de proporción (media \pm Desviación estándar) entre las bacterias oxidantes de amonio (BOA) y bacterias oxidantes de nitritos (BON).

Proporción de bacterias	Zona 1 (Cultivo Extensivo)	Zona 2 (Cultivo Semi-intensivo)	Zona 3 (Cultivo Intensivo)	Zona 4 (Punto control)
BOA/BON (%)	0,31 \pm 0,04 ^A	0,56 \pm 0,04 ^B	1,43 \pm 0,62 ^C	0,56 \pm 0,22 ^B

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

5.3.1 Densidades de bacterias oxidantes de amonio (BOA) y bacterias oxidantes de nitritos (BON).

Los valores de las densidades celulares de las bacterias nitrificantes (Anexo X) con sus respectivas desviaciones estándar analizadas para cada zona se muestran en la Tabla 7 (Anexo Z). De acuerdo a los valores reportados en este estudio para bacterias oxidantes de amonio y nitritos, se encontraron mayores densidades celulares en la zona 3 correspondiente al cultivo intensivo con valores de BOA de $417,8 \times 10^1 \pm 1815,1$ células/g y de BON de $293,9 \times 10^3 \pm 20581,8$ células/g, seguido de

la zona 2 con $128,4 \times 10^1 \pm 63,5$ células/g de BOA y $228,8 \times 10^3 \pm 17311,7$ células/g de BON. Los valores más bajos se encontraron en las zonas 1 con $33,0 \times 10^1 \pm 6,8$ células/g de BOA y $109,3 \times 10^3 \pm 16889,3$ células/g de BON y en la zona 4 con $30,0 \times 10^1 \pm 13,1$ células/g de BOA y $58,9 \times 10^3 \pm 17638,3$ células/g de BON **respectivamente.**

Tabla 7. Valores (media \pm Desviación estándar) de densidad celular de bacterias nitrificantes del sedimento medidos en las cuatro zonas de muestreo.

Bacterias nitrificantes	Zona 1 (Cultivo Extensivo)	Zona 2 (Cultivo Semi-intensivo)	Zona 3 (Cultivo Intensivo)	Zona 4 (Punto control)
BOA (células/g)	$33,0 \times 10^1 \pm 6,8$	$128,4 \times 10^1 \pm 63,5$	$417,8 \times 10^1 \pm 1815,1$	$30,0 \times 10^1 \pm 13,1$
BON (células/g)	$109,3 \times 10^3 \pm 16889,3$	$228,8 \times 10^3 \pm 17311,7$	$293,9 \times 10^3 \pm 20581,8$	$58,9 \times 10^3 \pm 17638,3$

5.4 Análisis de Correlación Múltiple (Correlación de Pearson)

La correlación de Pearson es ampliamente utilizado en las ciencias agropecuarias con el fin de establecer relaciones entre distintas variables generalmente de índole cuantitativo (Restrepo et al., 2007). Por medio de este procedimiento se observó correlación entre las variables analizadas (Parámetros fisicoquímicos, contenido de nutrientes y actividad bacteriana) (Tabla 8). Donde el valor de la probabilidad de las variables presentó un p-valor $\leq 0,05$, lo que representa una asociación significativa.

5.4.1 Análisis de correlación múltiple para parámetros fisicoquímicos. El oxígeno disuelto presentó correlación baja con la variable temperatura con un valor de Pearson de 0,3765, debido a que estos parámetros no presentaron grandes variaciones en las zonas estudiadas. Por el contrario no se presentaron correlaciones medias con ninguna variable y presentó correlación alta y de forma negativa con las variables fósforo total del agua y sedimentos, turbidez y profundidad, con valores de Pearson de -0,5798, -0,6449, -0,4808 y -0,7922 respectivamente. De acuerdo a lo anterior el oxígeno se comporta de manera inversamente proporcional con dichas variables, las cuales son características por la contaminación originada en las zonas de cultivo. Así mismo se presentó una correlación alta y positiva con la variable pH (0,962), donde estas variables se comportan en forma proporcional, cuando disminuye el oxígeno el pH se acidifica.

La conductividad eléctrica presentó correlación media con la profundidad con un valor Pearson de 0,4640. Por otro lado presentó una correlación alta y de forma positiva con las variables carbono orgánico total (0,7673), DBO₅ (0,8245), DQO (0,8353), materia orgánica (0,7404), nitratos (0,9238), nitritos (0,8946), nitrógeno total (0,8224), fósforo total del agua (0,8265), fósforo total de sedimentos (0,8140) y turbidez (0,8930), indicando que la conductividad aumenta cuando existe mayor concentración de sólidos o desechos en la columna de agua. De igual manera se presentó correlación alta y de forma negativa con las variables oxígeno disuelto y pH (-0,7598 y -0,8028), demostrando que estas variables tienen un comportamiento inverso en la relación con la conductividad del agua.

El pH presentó correlación media y de forma negativa con la temperatura y el fósforo total del sedimento con unos valores de Pearson de -0,4269 y -0,4880. Por otro lado presentó una correlación alta y de forma negativa con las variables profundidad (-0,6584), fósforo total del agua (-0,6484) y turbidez (-0,8194) respectivamente. De acuerdo a lo anterior el pH se comporta en forma inversa con dichas variables, puesto que cuando aumentan los desechos orgánicos provenientes de las jaulas de cultivo, el pH disminuye en la columna de agua a causa de los procesos de excreción y aporte de fósforo por el concentrado suministrado para la alimentación de los peces.

La demanda biológica de oxígeno (DBO₅) presentó correlación alta y de forma negativa con las variables oxígeno disuelto, pH, fósforo total en el agua y fósforo total del sedimento con valores de Pearson de -0,6659, -0,6627, -0,9585 y -0,8218 respectivamente, y una correlación alta y positiva con las variables demanda química

de oxígeno (0,9865), materia orgánica (0,9340), nitritos (0,9012), nitratos (0,9333), nitrógeno total (0,9835) y turbidez (0,7640)) las cuales tienen una asociación significativa ($p < 0,05$).

La demanda química de oxígeno (DQO) presentó correlación alta y de forma negativa con las variables oxígeno disuelto, pH, fósforo total en el agua y fósforo total del sedimento con valores de Pearson de -0,6684, -0,6530, -0,9696 y -0,8714, y una correlación alta y positiva con las variables materia orgánica (0,9095), nitritos (0,9022), nitratos (0,9192), nitrógeno total (0,9892) y turbidez (0,7874) las cuales tienen una asociación significativa ($p < 0,05$).

La DBO₅ y la DQO, presentaron correlaciones con las mismas variables, donde se comportan de manera inversa con el OD, pH y fósforo total; y de forma proporcional con materia orgánica, nitritos, nitratos, nitrógeno total y turbidez. Todas estas variables están asociadas a los compuestos nitrogenados provenientes de los sistemas productivos que contaminan el medio acuático, causando altos valores de DBO₅ y DQO, que por ende conlleva a la variación en la concentración de OD y pH del agua.

5.4.2 Análisis de correlación múltiple para contenido de nutrientes en agua y sedimento. El amonio presentó correlación baja con la variable temperatura con un valor de Pearson de 0,3765 y correlación alta y de forma negativa con las variables fósforo total del agua y sedimentos, turbidez y profundidad, con valores de Pearson de -0,5798, -0,6449, -0,4808 y -0,7922 respectivamente. Este parámetro presentó una correlación alta y positiva con la variable pH (0,962). Lo anterior se debe a que la cantidad de amonio o amoniaco que es excretado principalmente por los animales de cultivo depende de la cantidad de alimento suministrado a los animales, nutriente que contribuye a aumentar o disminuir la turbidez de la columna del agua, como también puede contribuir a acidificar el pH del agua y de los sedimentos si no hay microorganismos suficientes para la descomposición de este desecho de excreción.

Los nitritos presentaron correlación baja con la variable profundidad con un valor de Pearson de 0,3623 y presentó correlación alta y de forma negativa con las variables oxígeno disuelto (-0,8533) y pH (-0,8510) respectivamente. Este parámetro presentó una correlación alta y positiva con las variables fósforo total del agua y sedimentos, nitrógeno total y turbidez, con valores de Pearson de 0,8937, 0,7638, 0,9041 y 0,8875 las cuales tienen una asociación significativa ($p < 0,05$). De igual forma Los nitratos

presentaron correlación baja con la variable profundidad con un valor de Pearson de 0,3777 y presentó correlación alta y de forma negativa con las variables oxígeno disuelto (-0,7617) y pH (-0,7921) respectivamente. Este parámetro presentó una correlación alta y positiva con las variables nitritos, fósforo total del agua y sedimentos, nitrógeno total y turbidez, con valores de Pearson de 0,9317, 0,9033, 0,7771, 0,9062 y 0,8788 respectivamente. Los nitritos y nitratos se comportan en forma proporcional con las variables fósforo total del agua y sedimentos, nitrógeno total y turbidez, esto explica la dependencia de estas variables con los diferentes desechos derivados durante el proceso productivo de los peces cultivados en jaulas flotantes. En caso contrario los nitritos y nitratos presentaron una relación inversa con el oxígeno, evidenciando que estos compuestos necesitan mayores cantidades de oxígeno para ser degradados en el agua y que por ende a mayor cantidad de esos nutrientes menos disponibilidad de oxígeno existirá en la columna del agua.

El fósforo total del agua presentó solo correlación alta y de forma positiva con las variables fósforo total del sedimento (0,8801) y turbidez (0,8229) por presentar un p-valor mayor a 0,05. De igual forma el fósforo total del sedimento presentó correlación alta y de forma negativa con la variable turbidez con un valor de Pearson de 0,7574 por presentar un p-valor mayor a 0,05 respectivamente. Parte del fósforo que entra por el concentrado no consumido por los animales en cultivo, afecta directamente en la calidad o la turbidez del agua debido a la presencia de material en suspensión y a los sedimentos donde al final este elemento se deposita en mayores concentraciones.

El nitrógeno total presentó correlación alta y de forma negativa con las variables oxígeno disuelto y pH, con valores de Pearson de -0,6762 y -0,6655, y una correlación alta y positiva con las variables fósforo total del agua y de sedimentos (0,9654 y 0,8707) y turbidez (0,7665) por presentar un p-valor mayor a 0,05. Lo anterior explica que altos contenidos de nitrógeno son inversamente proporcionales con la cantidad de oxígeno disponible en el agua y afecta el pH del medio que puede ser causado por el proceso de degradación del mismo. Al igual que el fósforo, el nitrógeno aumenta cuando hay mayores desperdicios de alimento debajo de las jaulas de cultivo y por ende aumenta también la turbidez del agua.

El carbono orgánico total presentó correlación alta y de forma negativa con las variables oxígeno disuelto y pH con valores de Pearson de -0,6940 y -0,6828, y una correlación alta y positiva con las variables DBO₅ (0,9702), DQO (0,9529), materia orgánica (0,9547), nitratos (0,9091), nitritos (0,8657), nitrógeno total (0,9419), fósforo

total de agua (0,9012), fósforo total del sedimento (0,7210) y turbidez (0,7063) las cuales tienen una asociación significativa ($p < 0,05$). La cantidad de carbono agregado en forma de alimento evidencia que este parámetro tiene una alta e inversa intervención con los parámetros de OD y pH, además de tener una relación proporcional con parámetros (DBO_5 , DQO, materia orgánica, nitratos, nitritos, nitrógeno total, fósforo total de agua, fósforo total del sedimento y turbidez) que determinan deterioro de la calidad del agua.

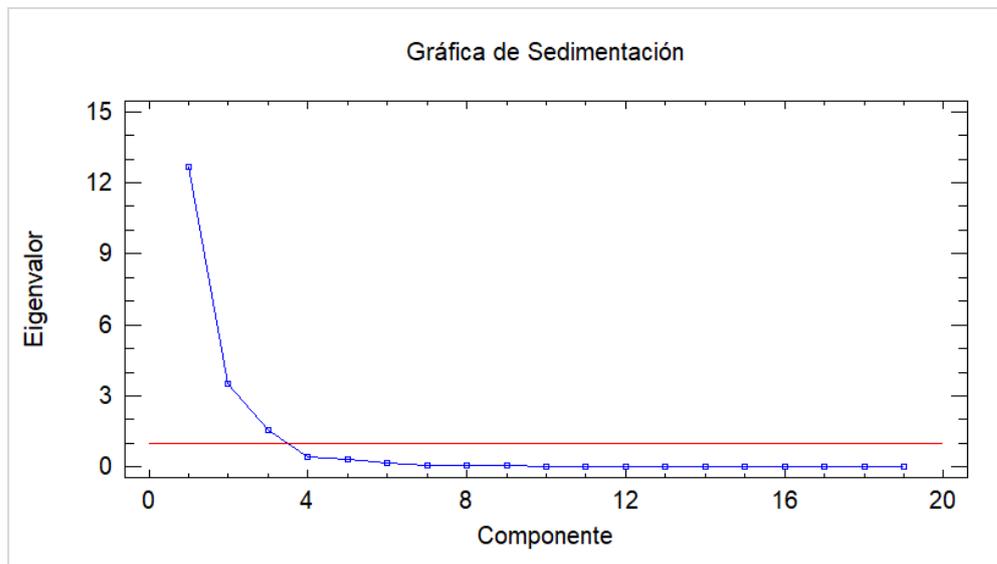
La materia orgánica presentó correlación alta y de forma negativa con las variables oxígeno disuelto y pH, con valores de Pearson de -0,7153 y -0,7155, y una correlación alta y positiva con las variables nitratos (0,8659), nitritos (0,8507), nitrógeno total (0,9066), fósforo total del agua (0,8677), fósforo total de sedimentos (0,6337) y turbidez (0,6803) las cuales tienen una asociación significativa ($p < 0,05$). De acuerdo a lo anterior se puede indicar que a mayor materia orgánica acumulada en los sedimentos, afecta inversamente al OD y el pH del agua. Por otro lado a mayor concentración de nutrientes, representa mayor cantidad de materia orgánica que descomponer. En este caso las variables correlacionadas con la materia orgánica pueden representar el estado de eutrofización de un cuerpo de agua.

5.4.3 Análisis de correlación múltiple para bacterias oxidantes de amonio (BOA) y bacterias oxidantes de nitritos (BON). Las BOA presentaron correlación medias y negativas con las variables oxígeno disuelto (-0,4149) y pH (-0,5390), puesto que el Lago Guamuez presenta características oligotróficas como los lagos de alta montaña, dichas variables no presentan grandes variaciones dentro del rango óptimo para el desarrollo bacteriano. Por otra parte se presentaron correlaciones altas y positivas con las bacterias oxidantes de Nitritos (0,7662), conductividad eléctrica (0,8552), carbono orgánico total (0,7169), DBO_5 (0,7942), DQO (0,8310), materia orgánica (0,6801), nitratos (0,7833), nitritos (0,7519), nitrógeno total (0,8112), fósforo total del agua (0,8003), fósforo total del sedimento (0,8801) y turbidez (0,7538). Esto se debe a que a mayor presencia de materia orgánica, mayores son los procesos de descomposición y nitrificación, siendo directamente proporcional al aumento en las densidades de unidades formadoras de colonias de las BOA. Por el contrario las BOA no presentaron correlación con la variable temperatura ($p > 0,05$), lo que significa que este parámetro no tiene mayor incidencia en la actividad bacteriana dentro de las zonas evaluadas.

Las BON presentaron correlación alta y negativa con las variables oxígeno disuelto y pH con valores de Pearson de -0,6672 y -0,6608, lo que significa que este grupo de bacterias son más susceptibles a cualquier variación que presenten estos parámetros, puesto que si el oxígeno y el pH disminuyen, el ritmo de crecimiento de las BON se vería afectado. Por otro lado presentaron correlación altas y positivas con las variables conductividad eléctrica (0,8072), carbono orgánico total (0,9616), DBO₅ (0,9768), DQO (0,9685), materia orgánica (0,9239), nitratos (0,9084), nitritos (0,8799), nitrógeno total (0,9741), fósforo total del agua (0,9211) fósforo total del sedimento (0,7980) y turbidez (0,7219). Por el contrario las BON no presentó correlación con la variable temperatura ($p > 0,05$). Al igual que la correlación de las BOA, las BON presentan mayor actividad bacteriana cuando hay mayores cantidades de compuestos nitrogenados y materia orgánica que degradar. Finalmente la temperatura tampoco tuvo mayor incidencia en la actividad bacteriana de las BON dentro de las zonas evaluadas.

5.5 Análisis multivariado (Análisis de componentes principales-ACP)

El análisis de componentes principales indica que la variabilidad conjunta de las variables puede ser explicada por los tres primeros componentes principales en un 93,18% de la varianza total (Figura 25), donde el primer componente explico un 66,59% de la varianza, el segundo componente un 18,43% y el tercero un 8,14% (Tabla 8).

Figura 25. Grafica análisis de componentes principales.**Tabla 9.** Análisis de Componentes Principales.

Número Componentes	Valor propio	Porcentaje de Varianza	Porcentaje Acumulado
1	12,6534	66,597	66,597
2	3,50289	18,436	85,033
3	1,54835	8,149	93,182
4	0,421824	2,220	95,402
5	0,333421	1,755	97,157
6	0,152228	0,801	97,958
7	0,0933734	0,491	98,450
8	0,0677651	0,357	98,807
9	0,0596462	0,314	99,120
10	0,042118	0,222	99,342
11	0,0381726	0,201	99,543
12	0,0295592	0,156	99,699
13	0,0184285	0,097	99,796
14	0,014523	0,076	99,872
15	0,00915058	0,048	99,920
16	0,00711088	0,037	99,958
17	0,00435123	0,023	99,981
18	0,00227449	0,012	99,993
19	0,00142419	0,007	100,000

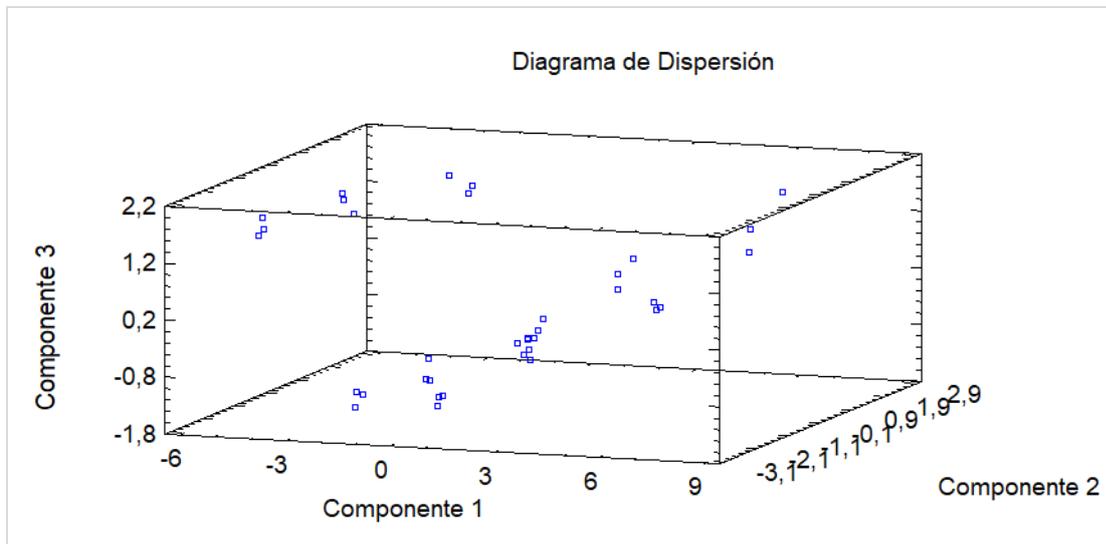
Las variables de mayor peso en el componente 1 son DQO, nitrógeno total y DBO₅ con valores de 0,2740, 0,2729 y 0,2727 respectivamente. De igual forma el componente 2 presenta las variables profundidad, temperatura y amonio como las de mayor peso, con valores de -0,5056, -0,4219 y -0,5191 respectivamente. Finalmente

el componente 3 presenta mayor influencia por las variables zona, oxígeno disuelto y fósforo total del sedimento con valores de 0,7655, 0,265363 y 0,2588 respectivamente (Tabla 9).

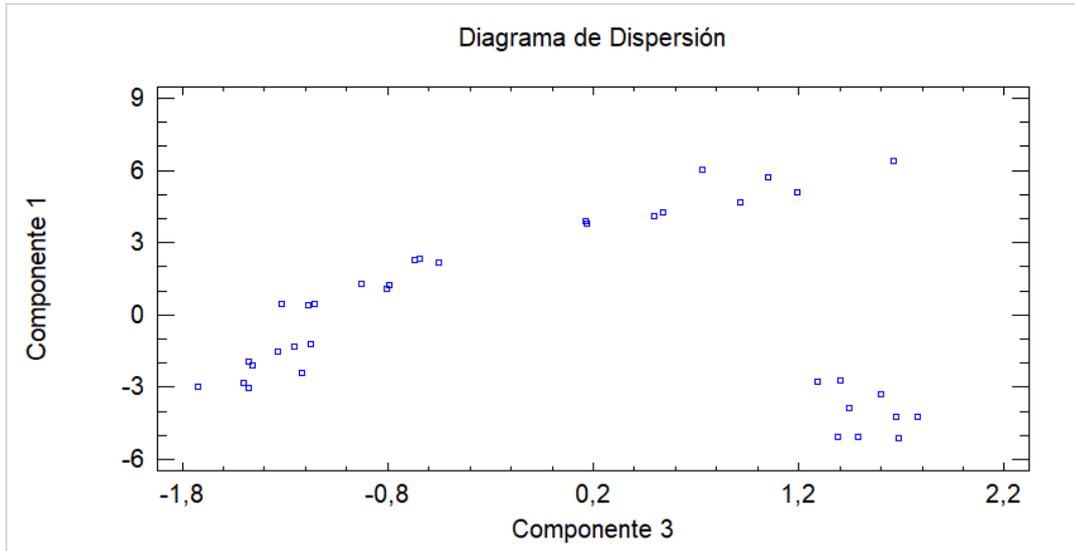
Tabla 10. Valor de Peso de influencia por variable y por componente.

Variab les	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Amonio	0,0889549	-0,421917	-0,139776
Bacterias oxidantes de amonio	0,235774	-0,0571092	0,252536
Bacterias oxidantes de nitritos	0,267753	-0,104836	-0,0708787
Conductividad eléctrica	0,256395	0,133984	0,185105
Carbono orgánico total	0,263879	-0,0861092	-0,132846
Demanda biológica de oxígeno	0,272659	-0,0994709	-0,0193178
Demanda química de oxígeno	0,274	-0,106631	0,00949605
Materia orgánica	0,256778	-0,0626111	-0,200303
Nitratos	0,271168	0,0606795	0,068437
Nitritos	0,269359	0,0910473	-0,0408923
Nitrógeno total	0,27295	-0,110063	-0,0255581
Oxígeno disuelto	-0,220896	-0,258327	0,265363
pH	-0,222244	-0,287939	0,195216
Profundidad	0,0632745	0,505589	0,112893
Fosforo total del agua	0,268648	-0,0789017	0,0696705
Fosforo total del sedimento	0,239806	-0,127632	0,258886
Temperatura	0,0320985	-0,519063	-0,0500803
Turbidez	0,245453	0,175138	0,174811
Zona	-0,0186065	-0,0722479	0,76547

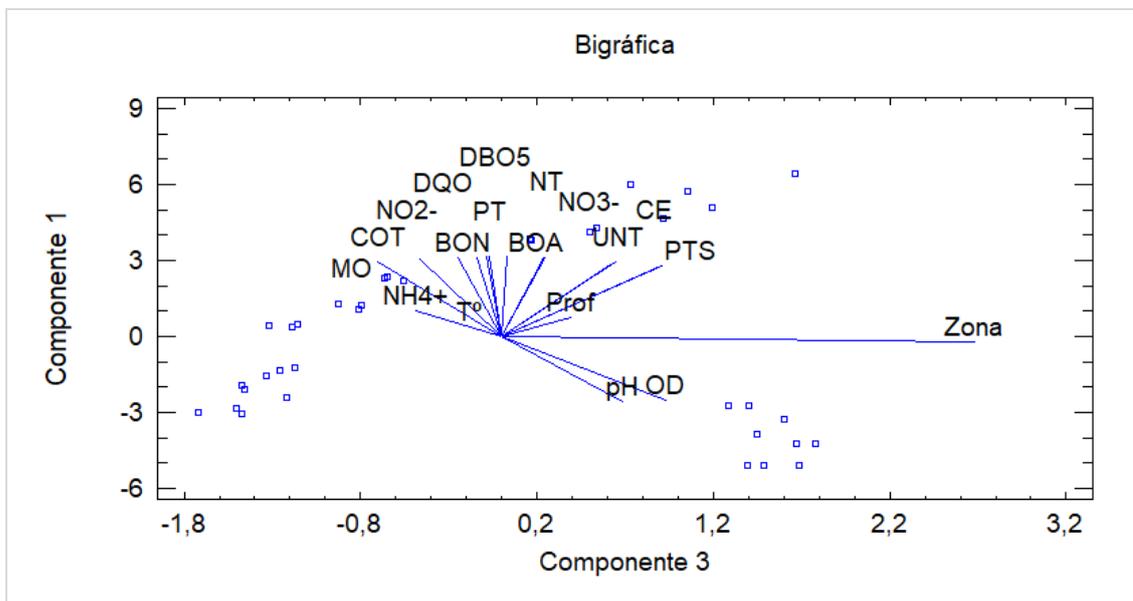
Los componentes son un reflejo del peso de cada una de las variables analizadas en las cuatro zonas de estudio (extensivo, semi-intensivo, intensivo y punto control). El componente 1 indica la importancia de la demanda biológica de oxígeno y la demanda química de oxígeno al igual que la relación de importancia con el nitrógeno total, variables que influyen en la descomposición u oxidación de la materia orgánica, actividad que es realizada por las bacterias, por lo que dicho componente puede ser denominado como actividad bacteriana. En el caso del componente 2, la profundidad representa la variable independiente y está dada por un valor positivo, mientras que el amonio y la temperatura están representadas por valores negativos lo que indica que a medida que aumenta la profundidad, el amonio y la temperatura disminuye, tomando la profundidad como la principal variable que identifica a este componente. Finalmente el componente 3 representa a las zonas de estudio como la variable independiente incidiendo en mayor grado al oxígeno disuelto y al fosforo total de los sedimentos, sin demeritar el peso de la demás variables, por lo que el tercer componente es definido por la intensidad de cultivo (Figura 26).

Figura 26. Comportamiento de los componentes según las variables de influencia.

A continuación se representa el cruce entre los componentes 1 y 3, con el fin de analizar el comportamiento de las variables según su nivel de influencia sobre las diferentes zonas de estudio, al igual que se puede observar el comportamiento de los componentes en cada zona, donde se indica que a medida que aumenta la intensidad de cultivo se incrementa la actividad bacteriana de las colonias de bacterias oxidantes de amonio y nitritos por encontrar mayores compuestos nitrogenados que descomponer. En cambio el punto control se encuentra ubicado en la parte inferior derecha de la gráfica, donde muestra el comportamiento de una zona que no es intervenida por la actividad acuícola y fue la zona donde se encontraron menores densidades bacterianas de BOA y BON, hecho que se explica porque en esta zona solo se sedimenta materia orgánica autóctona proveniente de medio natural del lago (Figura 27).

Figura 27. Comportamiento de los componentes 1 y 3.

Realizando la interacción de los 3 componentes y todas las variables evaluadas en este estudio se puede identificar que los parámetros que indican contaminación se relacionan de forma directa con las zonas de cultivo principalmente con los cultivos semi-intensivo e intensivo. Por el contrario el punto control está directamente relacionado con los parámetros como el pH y el oxígeno que denotan estabilidad en los sistemas lacustres (Figura 28).

Figura 28. Interacción de las variables y las zonas de estudio.

6. Discusión de resultados

6.1 Variabilidad fisicoquímica y contenido de nutrientes del agua.

Parámetros fisicoquímicos como el oxígeno disuelto (OD), temperatura (T°), conductividad eléctrica (CE), pH, turbidez, demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) permiten ver con claridad variaciones ambientales causadas por la acuicultura u otras actividades antrópicas (Miranda et al., 2017). En este estudio el oxígeno disuelto presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre zonas de muestro, presentando la mayor disponibilidad en la zona de punto control; por el contrario este parámetro disminuyo su valor a medida que se incrementa la intensidad de cultivo. Según Makridis et al (2012), esta diferencia es impulsada por dos factores: por el consumo de oxígeno dentro de la jaula, y la capacidad de la corriente para sustituir la falta de oxígeno a partir de un suministro de agua fresca rica en oxígeno.

Según Fraga et al (2012), la disponibilidad de oxígeno en cultivos piscícolas tanto en estanques (sistemas cerrados) como en jaulas flotantes (sistemas abiertos), disminuye según la densidad de cultivo, puesto que a mayor número de peces por metro cubico hay mayor consumo por parte de los animales, al igual que los procesos de excreción y demás actividades biológicas dentro del cultivo generan procesos de oxidación de materia orgánica. Con respecto a la profundidad solo se obtuvo diferencias significativas a los 20 metros, la cual presento el menor valor de oxígeno, lo que es corroborado por Beltrán et al (2012), quienes exponen que la parte superficial de los cuerpos lacustres presenta mayor contacto con la atmosfera disponiendo de mayores niveles de OD.

El lago Guamuez como otros lagos característicos de alta montaña presenta concentraciones de oxígeno disuelto siempre mayores a 7 mg/L, como es el caso de los lagos Villa Rica en Chile; Alalay, Aricare y Blanca en Bolivia; Concepción, Cachimbo en Chile y Guachota y Hedional en Perú (Gunkel, 2003). En este orden de ideas se considera que el lago posee excelentes concentraciones de oxígeno, fenómeno que se explica por el movimiento continuo de las aguas a causa de los

vientos que ayudan a la oxigenación de la columna del agua y que por ende para el cultivo de trucha arcoíris en jaulas son ideales para su crecimiento y no representan un riesgo potencial para este cuerpo lacustre (Roldan y Ramírez, 2008).

Para el caso de temperatura se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las zonas de estudio a diferencia del punto control que no presento diferencias significativas ($p > 0,05$) con la zona 1 (cultivo extensivo) presentando los valores más bajos. Los valores más altos se encontraron en las zonas 2 y 3 representadas por los cultivos semi-intensivo e intensivo. Lo anterior se explica por la cantidad de animales que se encuentran en los cultivos, donde hay una relación directamente proporcional con la temperatura, al existir un mayor número de animales por metro cubico la temperatura aumentara por la acumulación de calor en el medio, puesto que la corriente en el área de las jaulas es mucho más baja que la corriente fuera de ellas, así mismo el oxígeno disponible disminuye y la tasa metabólica de los animales se inhibe cuando la temperatura no es óptima para la especie o por el contrario al incrementar la temperatura acelera el metabolismo de los peces consumiendo más concentrado y por consiguiente liberando más heces (materia fecal) lo que ocasiona que la agua se eutrofique (enriquecimiento de materia orgánica) (Arboleda, 2006).

Por otra parte, la temperatura presento diferencias significativas entre profundidades ($p < 0,05$), donde los valores disminuyen a medida que la profundidad aumenta, esto es debido a que la masa de agua del lago no es uniforme, sino que existe una estratificación según la profundidad y la radiación solar, lo cual genera variabilidad de temperatura desde la superficie del agua hasta el fondo (Lopez, 2015). Se puede concluir que la temperatura en el lago se comporta de manera normal y los cultivos no afectan en gran medida al ambiente, sin embargo se debe tener en cuenta la relación que tiene este parámetro con el oxígeno que son factores que influyen en la mayoría de los procesos vitales de los organismos así como en varios factores abióticos del ecosistema (Betancourt et al., 2009). Estas variables físico químicas juegan un papel importante en la intensidad de los procesos fotosintéticos, remineralización de la materia orgánica y liberación de nutrientes desde los sedimentos (Beltrán et al., 2006).

Otero (2011), afirma que el parámetro de conductividad se usa como un índice que determina la concentración de solutos, logrando estimar la calidad del agua y su posible nivel de contaminación. Los valores de conductividad eléctrica para este estudio presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre zonas y profundidades,

presentando el menor valor en el punto control a cero metros de profundidad ($77,74 \pm 0,14 \mu\text{S/cm}$) y mayor valor en el cultivo intensivo a una profundidad de 20 metros ($103,60 \pm 0,14 \mu\text{S/cm}$). Massol (2010), determina la calidad del agua en función de la conductividad eléctrica estimando los siguientes rangos: para agua pura ($<280 \mu\text{S/cm}$), poco contaminada ($280-430 \mu\text{S/cm}$), contaminada ($430-600 \mu\text{S/cm}$), muy contaminada ($600-860 \mu\text{S/cm}$) y excesivamente contaminada ($>860 \mu\text{S/cm}$). De acuerdo lo anterior los valores reportados para este estudio no reflejan altos niveles de contaminación hallándose cerca de la clasificación de agua pura, sin embargo en las zonas de cultivo los valores de conductividad va en aumento lo que indica que a mayor intensidad de cultivo mayor cantidad de sólidos disueltos se encuentran en el ambiente acuático generando un impacto considerable debido a la intervención antrópica de estos sistemas piscícolas ya que los valores normales que se reporta en lagos oligotróficos de altas montañas tropicales presentan rangos entre 20 y 50 $\mu\text{S/cm}$ respectivamente (Roldán y Ramírez, 2008).

Así como la conductividad, el pH presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las zonas y profundidades de muestreo, obteniendo valores ligeramente alcalinos en el punto control y valores neutros en las zonas de cultivo. Evidentemente se encontró en el cultivo intensivo el valor más cercano a la acidez a una profundidad de 20 metros ($7,27 \pm 0,004$). Tomando como referencia los criterios de calidad admisible para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, los lagos naturales de alta montaña presentan un valor de pH comprendido entre 6,5 y 7,5 (Roldán y Ramírez, 2008); citados en Corredor et al., 2016), mientras que el pH en lagos no contaminados oscila entre 6,0 y 9,0 según Studer (2007). Según el comportamiento de los datos reportados estos se encuentran dentro de los rangos soportables para el lago Guamuez, sin embargo las zonas de cultivo presentaron menores valores de pH con respecto al punto control donde este presenta valores cercanos a 8, esto se explica por la existencia de los animales en producción donde los peces realizan los procesos de excreción, aumentando sus desechos orgánicos según la intensidad del cultivo (extensivo, semi-intensivo e intensivo) y por ende afectando el pH del agua por consecuencia de la degradación de la materia orgánica (Vásquez et al., 2016).

La turbidez del agua presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tres sistemas de cultivo y el punto control, así mismo entre las profundidades muestreadas. Los resultados del estudio demuestran que existe mayor turbidez en las estaciones de cultivo presentando su mayor valor en la zona 3 (cultivo intensivo) con

respecto al punto control donde se presentó el menor valor. La turbidez en los cultivos se ve afectada por la presencia de material en suspensión generada por el alimento no ingerido y productos de excreción (Muñoz et al., 2012). Como se puede esperar, los valores de turbidez muestran una notable relación con la intensidad de cultivo e indican aporte de material en suspensión a la laguna, aumentando la temperatura, disminuyendo la concentración de oxígeno en el agua, luminosidad, limitando la fotosíntesis, modificando la flora y fauna subacuática (Molina y Vergara, 2005).

Con relación a los valores de DBO_5 Y DQO los datos demostraron el mismo comportamiento, donde se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las zonas de estudio y por el contrario entre las profundidades de muestreo no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$). En estos dos parámetros se presentaron los menores valores en el punto control y mayores en las zonas de cultivo aumentando su valor por cada sistema productivo. Según Raffo y Ruiz (2014), la demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno determinan la cantidad de materia orgánica putrescibles que se encuentran presentes en el agua contaminada. Por lo anterior se puede explicar que la materia orgánica presente en el agua puede asociarse al grado de contaminación del sistema productivo (Carga orgánica) y por ende mayor cantidad de oxígeno necesitan los microorganismos para oxidar o degradar los residuos orgánicos, provocando así, altos valores de DBO_5 y DQO respecto al punto control donde solo existe materia orgánica autóctona donde se necesita menores cantidades de oxígeno para su descomposición por bacterias aeróbicas, y otros organismos consumidores (Romero y Vargas, 2017).

Es importante destacar que según los datos obtenidos en el punto control, el nivel promedio de oxígeno del lago Guamuez, es relativamente alto, superior a 7 mg/L, lo que permite una descomposición gradual de la materia orgánica y debido a la extensión de este cuerpo de agua, actúa como una laguna de estabilización aerobia (López y Salas, 2013). De acuerdo con Jiménez y Vélez (2006), los valores de DQO de una agua residual suele ser mayor referente a los valores de DBO, lo anterior debido a la mayor cantidad de compuestos que se deben oxidar por la vía química frente a los que se oxidan por vía biológica; esto demuestra que los sistemas productivos piscícolas evidencian el mismo comportamiento presentando mayores valores de DQO frente a la DBO que presento menores valores, es así como la intensidad de los cultivos afectan en diferente grado y negativamente a la calidad del

agua debido a la aplicación de productos farmacéuticos, aditivos y productos de desinfección para la limpieza de las mayas y jaulas.

En cuanto al contenido de amonio, nitritos y nitratos analizados en el agua demostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las zonas de muestreo. Sin embargo entre profundidades no se encontró diferencias significativas ($p > 0,05$) para los parámetros nitritos y nitratos, a excepción del amonio que si presentó diferencias entre las profundidades. De acuerdo a lo anterior se puede analizar que los menores valores del contenido de estos nutrientes se encontraron en el punto control donde no hay influencia piscícola a diferencia de las zonas de cultivo donde los mayores valores se encontraron en el sistema intensivo. Los peces, y otros organismos acuáticos liberan nitrógeno como producto de su excreción, en este caso los peces liberan amonio el cual puede llegar a ser tóxico cuando se maneja altas densidades de siembra presentando toxicidad a concentraciones de amonio de 0,07 mg/L; en las zonas de cultivo evaluadas se encontraron valores de amonio que estuvieron por debajo de los 0,05 mg/L, valores que se mantuvieron dentro de los rangos aceptables para el crecimiento y desarrollo de la trucha arcoíris. Sin embargo según Vollenweider, (1968), reporta que el valor de amonio característico para lagos oligotróficos se encuentra en un rango de 0,0 a 0,3 mg/L, valor que se encontró dentro del rango en el punto control ($0,03 \pm 0,0014$ mg/L) a diferencia en las zonas de cultivo donde se presentó el mayor valor en la zona 3 correspondiente al cultivo intensivo ($0,046 \pm 0,0014$ mg/L), seguido de la zona 1 y 2 (extensivo y semi-intensivo) con un valor de $0,036 \pm 0,0014$ mg/L respectivamente. Así mismo los valores de nitritos y nitratos encontrados en los sistemas productivos son mayores a los reportados para sistemas naturales sin intervención humana o actividad agropecuaria, los cuales se encuentran menores o iguales a 0,001 de nitritos y menores o iguales a 0,1 mg/L de nitratos (Allan y Castillo, 2007). Por lo anterior se puede deducir que la actividad piscícola aporta mayores cantidades de nutrientes debido al uso de concentrados y residuos metabólicos excretados por los peces. Si bien es cierto que estos valores no representan un riesgo para la calidad del agua del lago se debe tener muy en cuenta las densidades de siembra que se manejan en los cultivos y el manejo de raciones alimenticias, puesto que podrían causar cambios en el ambiente acuático si no se hace un manejo responsable de estos parámetros, puesto que la eutrofización es un proceso común dentro de la vida de los lagos de agua dulce, sufren cambios de forma natural desde un sistema oligotrófico a uno eutrófico con el transcurso del tiempo (Olmos, 2000).

Finalmente los valores de fósforo total presentaron diferencias significativas entre los tres sistemas de cultivo y el punto control ($p < 0,05$); obteniendo el mayor valor de contenido de fósforo en la zona 3 correspondiente al cultivo intensivo ($0,067 \pm 0,00083$ mg/L), seguido de las zonas 2 y 1 con valores de $0,043 \pm 0,00083$ mg/L y $0,021 \pm 0,00083$ mg/L respectivamente. El incremento de las concentraciones de fósforo y de nitrógeno en los cultivos de peces en jaulas flotantes es debido a los desechos de los alimentos metabolizados (Useche et al., 2001), estas concentraciones en los ecosistemas acuáticos pueden ser beneficiosos para la productividad natural hasta determinado límite, por el contrario al sobrepasar el contenidos de estos elementos y según el nivel trófico del cuerpo de agua, pueden convertirse en contaminantes, causando severos impactos en el hábitat acuático (Morales y Peña, 2009). Por lo tanto, el límite para un ambiente oligotrófico es mayor que para un ambiente eutrófico (Catalán y Donato, 2016). Según Mendoza (1998), indica que el nivel o el límite natural de concentración de fósforo total, en cuerpos de agua dulce, es de 0,03 mg/L, este dato demuestra que los resultados obtenidos en las zonas 2 y 3 correspondientes a los cultivos semi-intensivo e intensivo afectan las condiciones ambientales del lago puesto que los menores valores de fosforo total se presentaron en la zona 4 (punto control) con un valor de $0,016 \pm 0,00083$ mg/L, donde no hay influencia acuícola y la zona 1 correspondiente al cultivo extensivo; los últimos resultados no representan contaminación a la calidad del agua lacustre según valores reportados en el Lago Guamuez los cuales se encuentra entre el rango de 0,010 y 0,030 mg/L, respectivamente (Carneiro et al., 2016).

Por otra parte la piscicultura no es la única actividad agropecuaria que se desarrolla en el Lago Guamuez, se debe tener en cuenta que al lago llegan vertimientos de asentamientos humanos, ganadería, cultivos agrícolas, entre otros, que aportan fertilizantes y desechos orgánicos ricos en nitrógeno y fosforo, causando de la misma manera contaminación a la columna de agua de este sistema lacustre.

6.2 Contenido de nutrientes en los sedimentos en relación con la intensidad productiva.

El sedimento de los lagos están conformados por el asentamiento de materiales alóctonos y autóctonos que se acumulan creando un proceso de intercambio de

nutrientes en la interfase agua-sedimento generando compuestos a base de nitrógeno, fósforo y carbono que son adicionados a los cuerpos de agua receptores, aumentando la producción y concentración de materia orgánica, procesos los cuales pueden ocasionar eutrofización u otros problemas que pueden ser indicadores directos de contaminación (Boyd et al., 2002; Jiménez et al., 2007).

Los valores de nitrógeno y fósforo total analizados en esta investigación presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre zonas de estudio, obteniendo los mayores valores y de forma ascendente en las zonas de cultivo, según el incremento de la intensidad de cultivo, a diferencia del punto control cuyos valores fueron los más favorables para los sedimentos del lago. Dichos resultados sugieren que las actividades acuícolas desarrolladas en el lago contaminan los depósitos bentónicos, en especial las zonas influenciadas por las jaulas.

Según estudios referidos a evaluar los efectos ambientales que causan los cultivos en jaulas flotantes, reportan que valores de nitrógeno por encima de 12000 mg/kg en el sedimento de un cuerpo de agua se asocian con una alta degradación del medio acuático (Temminck y Schlegel, 1843; citados en Molina y Vergara, 2005) y Marquez et al (2007), reporta altas concentraciones de fosforo total al sur de la laguna de los Patos con un valor de 950,63 mg/Kg presente en altas cantidades en aguas de desechos domésticos. Por lo anterior se sugiere que los valores de nitrógeno y fósforo total obtenidos en la zona 3 correspondiente a los cultivos intensivos (11506,40 mgN/kg y 1030,02 mgN/kg) expresan un alto grado de afectación presentando valores cercanos a los límites extremos que pueden conllevar a un aporte significativo de contaminación, ya que los efluentes de las jaulas de cultivo están conformados por elementos orgánicos como el nitrógeno y fósforo, que son excretados por los peces mediante la orina, heces, branquias y concentrados que son utilizados para la alimentación de los animales en cultivo (González, 2012).

El nitrógeno y el fósforo son necesarios por los organismos, y están presentes como nutrientes limitantes controlando la producción de los ecosistemas, sin embargo, actividades como la acuicultura han transformado el equilibrio de lagos y lagunas en los últimos años, generando problemas de contaminación, variación ecológica y enfermedades en los mismos peces de cultivo (Diemer et al., 2010). El manejo de tablas de alimentación y buenas prácticas de mantenimiento y desinfección de las

instalaciones pueden evitar la adición de estos compuestos nitrogenados y fosfatados provenientes también de detergentes y desinfectantes (González, 2018).

De acuerdo a los valores de carbono orgánico total (COT) analizados entre los tres sistemas de cultivo y el punto control, estos presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$), obteniendo el mayor valor de COT en el cultivo intensivo ($33433 \pm 144,86$ mg/kg) seguido de los cultivos semi-intensivo y extensivo ($32578 \pm 144,86$ mg/kg y $29293 \pm 144,86$ mg/kg) respectivamente. El punto control presentó el menor valor ($27953 \pm 144,86$ mg/kg) con respecto a las zonas de cultivo piscícola. Los valores más altos que se presentaron en los sistemas de cultivo se explica porque el carbono es el compuesto más abundante de la materia seca de los concentrados utilizados y de igual forma está presente en la biomasa de los peces cosechados (Yuvanatemiya y Boyd, 2006). Por en cuanto al rendimiento en los procesos de asimilación del carbono por los peces en cultivo tiene importantes efectos en la calidad del agua y en los diferentes métodos que se utilizan en los sistemas productivos para hacerlo más eficaz. De acuerdo con Avnimelech y Ritvo (2003), al evaluar diferentes sistemas de cultivo indican que del 100% de la cantidad de carbono derivado del concentrado, solo un 13% de este elemento es asimilado por los animales de cultivo, lo que significa que no se retiene aproximadamente el 87% del carbono procedente del alimento respectivamente. (Boyd y Green, 1998). El alimento artificial provee la mayor cantidad de carbono alóctono a los cuerpos de agua dulce donde se están implementando producciones piscícolas y entre los cuales también se aportan grandes cantidades de macronutrientes como proteínas, carbohidratos y lípidos (Vasquez, 2004). Estas entradas, han excedido la capacidad metabólica de los ecosistemas acuáticos lo que en consecuencia ha derivado en la acumulación de compuestos orgánicos y al deterioro de la calidad del agua en cuerpos lacustres (Wang et al., 2016).

La acumulación de materia orgánica es apuntada como uno de los mayores efectos de la acuicultura hacia el medio ambiente (FAO, 2006), en relación con los resultados de materia orgánica para este estudio presentaron diferencias significativas entre las zonas 1 y 4 (cultivo extensivo y punto control) presentando los menores valores con $5,05 \pm 0,040$ % y $4,72 \pm 0,040$ % respectivamente. El mayor valor de contenido de materia orgánica se presentó en la zona 2 y 3 (cultivo semi-intensivo e intensivo) con $5,65 \pm 0,40\%$ y $5,78 \pm 0,40\%$ donde no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre ellas. Ramírez (2004), presenta contenidos de materia orgánica del sedimento

de la laguna del Parque Norte-Colombia, la cual se caracteriza por ser un sistema eutrófico con un valor del 16.5% de materia orgánica, en contraste con lo reportado anteriormente, los resultados obtenidos en este estudio corrobora que los valores en el Lago Guamuez fueron mucho menores de acuerdo al punto control y que se encuentran dentro de los rangos de caracterización para ecosistemas lacustres de zona templada o lagos oligotróficos, los cuales presentan una baja concentración de materia orgánica. Con respecto a los valores obtenidos en los sistemas productivos piscícolas se puede establecer que alcanzó un máximo de 5,78%, valor que no representa un riesgo o un efecto para los sedimentos del cuerpo lacustre de acuerdo a la clasificación establecida por la normativa chilena vigente donde considera que valores mayores o iguales al 9% de materia orgánica en el sedimento de cuerpos de agua es un indicador de impacto por la actividad acuícola (Resolución N° 3612, 2009). Sin embargo el estado trófico, o concentración de nutrientes, en los lagos o lagunas puede transformarse fácilmente por la eutrofización antropogénica que perturba el equilibrio ecológico de los ecosistemas acuáticos y al estado económico de los productores que dependen directamente de los recursos naturales que éstos proveen. Restaurar estos ambientes lacustres es complicado, cuando no se tiene claro cuáles son los posibles efectos que causa su contaminación, por lo que es aconsejable controlar la cantidad de materia orgánica y de nutrientes que se vierten en los lagos con el propósito de no sobrepasar la capacidad de asimilación o de degradación natural que poseen estos cuerpos acuáticos (Balcorta y Guerrero, 2001).

6.3 Proporción y densidad celular de BOA y BON en los sedimentos según la intensidad de cultivo.

Los ambientes acuáticos poseen la capacidad de asimilar y transformar los residuos orgánicos mediante la acción de poblaciones bacterianas que se encuentran tanto en la columna de agua como en los sedimentos, siendo estas colonias las más importantes dentro del proceso de reciclamiento de nutrientes (Nitrógeno y fosforo) en los cuerpos de agua dulce (Pantoja et al., 2004). Entre las poblaciones bacterianas encargadas de degradar compuestos nitrogenados se encuentran las bacterias nitrificantes las cuales tienen un papel importante, ya que por medio de la actividad biológica oxidan el amonio generado por la mineralización de los desechos de los

peces, el exceso de comida y la descomposición de tejidos animales y vegetales encontrados en el medio (Claude y Oporto, 2000).

Durante la evaluación de este estudio se encontraron diferencias significativas entre las zonas muestreadas de acuerdo a las proporciones calculadas entre las bacterias oxidantes de amonio sobre las bacterias oxidantes de nitritos, encontrando menores valores de proporción para BOA y mayores valores para BON. Esto se debe posiblemente, a que la nitrificación es un proceso que depende estrictamente de la presencia de oxígeno y que de algún modo cierto grupo de bacterias quimioautótrofas manifieste un crecimiento lento por escases de este parámetro (Cervantes et al., 2000). Además que estas bacterias también pueden ser inhibidas por otros parámetros cuando se no cumplen con las condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de las mismas, como puede ser la presencia de metales pesados, variación en el pH, en la temperatura, entre otras (Ye y Thomas, 2001). De igual forma esta misma relación de proporción entre BOA/BON, se presentó en un estudio realizado en el lago de Tota-Colombia, explicando que los cultivos de cebolla son los mayores aportantes de compuestos nitrogenados y que son recibidos en mayores cantidades en temporada de lluvias por medio de la escorrentía del suelo, causando un desequilibrio en el ciclo del nitrógeno en el lago en cuanto al número de bacterias y a la eliminación de nitratos del agua (Briceño et al., 2009); este mismo proceso puede existir en el Lago Guamuez por la presencia de los cultivos piscícolas que aportan cantidades constantes de nitrógeno y fosforo por medio del concentrado no consumido y los procesos metabólicos de los peces cultivados, sumado también por otras actividades agropecuarias existentes alrededor del lago que influyen significativamente con el ritmo de crecimiento de las poblaciones bacterianas.

Por otro lado para las zonas 2 (cultivo semi-intensivo) y 4 (punto control) no presentaron diferencias significativas entre la proporción BOA/BON, obteniendo porcentajes iguales con valores del 0,56% para BOA y 99,44% para BON, esto puede deberse a que las bacterias presentaron la misma capacidad de adaptación a las condiciones ambientales encontradas para estas zona (Avendaño, 2011), factor que influyó en obtener el mismo ritmo de crecimiento pero por el contrario a diferentes densidades bacterianas, presentando el mayor valor de densidad celular en el cultivo semi-intensivo con respecto al punto control. Realizando la comparación de proporciones entre las 4 zonas de estudio se puede evidenciar que el valor más alto de proporción se presentó en el cultivo intensivo con valores de 1,43% de BOA y

98,57%, lo anterior puede explicarse por la cantidad disponible de nutrientes los cuales pueden limitar la síntesis celular o por el contrario se puede observar un incremento en el crecimiento bacteriano (Zijun et al., 2017), los valores en cuanto a la cantidad de amonio, nitritos, nitrógeno total y fosforo total para esta zona (cultivo intensivo) fueron mayores respecto a las demás zonas muestreadas, lo que explica que el crecimiento de las bacterias oxidantes de amonio y oxidantes de nitrito son directamente proporcionales a las concentraciones de dichos parámetros respectivamente.

En cuanto al número de bacterias presentes en el sedimento de cada zona estudiada, se evidenció que existen mayores densidades celulares a medida que se intensifican los sistemas productivos. El mayor valor se presentó en la zona 3 ($417,8 \times 10^1 \pm 1815,1$ células/g de BOA y $293,9 \times 10^3 \pm 20581,8$ células/g de BON), correspondiente al cultivo intensivo. Al comparar estos valores con los reportados por Marín *et al* (2000) para un lago eutrófico tropical ($< 2.0 \times 10^2$ células/g en sedimento), es de esperarse que los valores sean mayores debido a que el Lago Guamuez como otros lagos característicos por ser oligotróficos presentan concentraciones de oxígeno óptimos ($> 7\text{mg/L}$) para el crecimiento de bacterias nitrificantes, ya que partir de 2 a 3 mg/L de oxígeno disuelto realizan su máximo proceso de nitrificación (Gerardi, 2002). Cabe recalcar que estos altos valores de densidad bacteriana dependen de las cantidades de nutrientes presentes en el sedimento y de las condiciones ambientales del agua óptimas para su desarrollo.

El lago Guamuez posee características fisicoquímicas de agua y de sedimento óptimos para el desarrollo de las poblaciones bacterianas nitrificantes según los resultados reportados en el punto control para este estudio, sin embargo las actividades antrópicas como la piscicultura pueden afectar significativamente el equilibrio de estos tratamientos biológicos naturales para la descomposición de materia orgánica tanto alóctona como autóctona (Morata et al., 2012). Por el momento estos microorganismos aún tienen la capacidad para proteger estos cuerpos lacustres, sin embargo se debe tener un mayor control de los vertimientos o compuestos orgánicos e inorgánicos que aportamos a este medio acuático, ya que las bacterias nitrificantes son muy susceptibles en la presencia de diferentes sustancias tóxicas que pueden inhibir su crecimiento, causando principalmente la disminución en la velocidad de nitrificación o puede provocar una gran toxicidad que detenga totalmente el normal proceso de nitrificación a causa de la muerte de estas

bacterias y así suscitar a la eutrofización de estos ecosistemas (González et al., 2010).

6.4 Correlación y componentes principales entre las bacterias nitrificantes, parámetros fisicoquímicos y nutrientes del agua y del sedimento del Lago Guamuez.

Como aporte principal, en el presente estudio se determinó la correlación existente entre los parámetros fisicoquímicos y nutrientes del agua y del sedimento con relación a las bacterias oxidantes de amonio (BOA) y las bacterias oxidantes de nitritos (BON), puesto que el intercambio de nutrientes entre la columna de agua y los sedimentos, es un proceso importante en la dinámica del ciclo nitrógeno en las aguas naturales. La eficiencia en la retención de los nutrientes en los sedimentos y la agilidad de los procesos de descomposición, están relacionados por una serie de factores físicos, químicos y metabólicos (Mermillod et al, 2005). Estos factores determinan las condiciones del agua y establecen el comportamiento de los microorganismos, los cuales pueden ayudar o así mismo alterar el equilibrio del intercambio de nutrientes en los cuerpos de agua lacustres (Ledo et al, 2003).

La condición reguladora más relevante de la interfase agua-sedimento es el contenido de oxígeno presente en un cuerpo de agua, ya que la descomposición microbiana de la materia orgánica que se encuentra en el sedimento, es una actividad principal que demanda consumo de oxígeno en las aguas profundas (Marín et al., 2006). Lo anterior explica la correlación negativa que se presentó entre BOA/OD y BON/OD, situación que se debe a la reducción de OD debido a la alta actividad metabólica de las bacterias que consumen rápidamente el sustrato y el oxígeno presente en el medio acuático (Yilmaz et al., 2010).

Por lo anterior también se demuestra la correlación alta y positiva que se encontró entre las bacterias nitrificantes con los parámetros DBO₅ y DQO, debido a que las reacciones bioquímicas que suceden en la actividad metabólica de las bacterias para el proceso de nitrificación se resumen en reacciones de producción de energía, para el desarrollo de su actividad, reacciones de síntesis de nuevos organismos y

reacciones de degradación (Avendaño, 2011). En estas tres reacciones las bacterias necesitarán mayor demanda de oxígeno, al encontrar mayor cantidad de materia orgánica que descomponer, lo que resulta una relación directamente proporcional entre la intensidad productiva piscícola, donde existe mayores desechos orgánicos como inorgánicos, mayores demandas biológicas y químicas de oxígeno y mayores densidades de bacterias BOA y BON estarán presentes para descomponer los diferentes residuos orgánicos que se encuentran en el medio acuático. Cabe resaltar que las bacterias nitrificantes presentes en el sedimento del Lago Guamuez presentaron gran afinidad y adaptación por encontrarse en niveles de oxígeno óptimo para su desarrollo, evidenciando que su comportamiento se relaciona con diversas dinámicas propias del cuerpo lacustre.

Por otra parte se encontró una correlación positiva entre las bacterias nitrificantes y la conductividad eléctrica, la cual puede explicarse ya que de acuerdo a Leigh (2002), la enzima nitrogenasa necesita de una serie de iones metálicos (hierro, molibdeno, azufre, vanadio y fósforo), que intervienen en las reacciones sucesivas de óxido reducción, con la intervención de ATP, para reducir las moléculas de nitrógeno. Esto apunta que el sedimento del Lago posiblemente contenía suficientes contenidos minerales que permitirían que las bacterias nitrificantes tomaran estos elementos y se les facilitara fijar nitrógeno. Por el contrario si existe un aporte excesivo de sales y minerales en un medio, puede convertirse en un medio hipertónico, afectando la presión osmótica bacteriana, la cual influye en la deshidratación celular y consecuente disminución de la densidad microbiana (Stanier et al., 1992). Esto tiene relación con las prácticas piscícolas y agrícolas existentes en el lago, ya que los diferentes cultivos pueden adicionar sales fosfatadas y nitratos afectando la calidad del agua, los sedimentos y por su puesto a los microorganismos bacterianos (Ramírez et al., 2004).

Del mismo modo las bacterias nitrificantes presentaron correlación en forma negativa con el pH, hecho que se determina porque el pH interviene sobre la medida de crecimiento de las bacterias nitrificantes. Se ha determinado que la tasa máxima de nitrificación ocurre cuando se tienen valores de pH entre 7,2 y 9,0 aproximadamente, mientras que con valores inferiores a 6,5 la velocidad de nitrificación disminuye de forma brusca (González et al., 2010). Se puede determinar que entre las cuatro zonas estudiadas (cultivo intensivo, smi-intensivo, extensivo y punto control) se presentaron

valores de pH mayores a 7, valor que a pesar de existir activadas piscícolas y otras actividades agropecuarias que pueden afectar la calidad del agua, se mantienen gracias a que el lago aún posee un equilibrio biológico tanto en la columna del agua como en el sedimento, lo cual se verifico con los altos valores de densidad celular para BOA y BON.

La turbidez es producida por materiales en suspensión como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica, organismos planctónicos y demás microorganismos, que afecta directamente en la productividad y el flujo de energía dentro de un ecosistema. Las bacterias oxidantes de amonio y nitrito presentaron correlación con la turbidez del agua, esto se debe a que el crecimiento de la masa celular o densidad bacteriana aumenta según la disposición de nitrógeno proteico el cual utilizan como fuente de alimentación para realizar el proceso de nitrificación (Pérez et al., 2004). En general puede decirse que la alta turbidez observada en los cultivos piscícolas es una expresión de una mayor cantidad de partículas en el agua y por ende será mayor la presencia y el crecimiento de las bacterias nitrificantes para realizar su trabajo de descomposición de compuestos nitrogenados provenientes de las jaulas de cultivo piscícola.

En cuanto a los desechos nitrogenados provenientes de los cultivos piscícolas las bacterias nitrificantes presentaron correlación alta y positiva con nitritos y nitratos presentes en la columna del agua, el resultado de la oxidación biológica da como resultado los nitritos y nitratos que son fuentes de nitrógeno para el crecimiento las bacterias oxidantes de nitrito, lo cual justifica la relación existente entre la presencia de estos microorganismos que ayudan a reducir estos compuestos (Ye y Zhang, 2010). Por lo que se refiere al ion amonio, este parámetro no presento correlación con las bacterias estudiadas, esto puede deberse a que solamente a un pH superior a 9 se puede encontrar en concentraciones importantes; por ende en fracciones de amonio pequeñas este compuesto puede ser oxidado por acción química, fotoquímica y bacteriana (Pacheco et al., 2002). Lo que demuestra que el amonio no es un factor que afecta a las baterías oxidantes de amonio, puesto que su actividad se acelera por encontrar concentraciones bajas de amonio que no representan un riesgo a la calidad del agua del lago a pesar de encontrar como actividad antrópica los cultivos piscícolas.

De igual forma se presentó una correlación alta y positiva entre las bacterias BOA y BON y los parámetros nitrogenados medidos en el sedimento (nitrógeno total, fósforo total, carbono orgánico y materia orgánica). En la actividad acuícola el alimento es el mayor aporte de nutrientes al sistema acuático, el cual está conformado por un 78% de nitrógeno, 51% de fósforo y 40% de carbono total suministrado, respectivamente (Bueno et al., 2008). No obstante, sólo un 25 a 45% del nitrógeno, 20-30% del fósforo y 10-15% del carbono es asimilado por los peces en cultivo (Boyd y Tucker 1998). La porción no asimilada y la no consumida entran al ciclo biogeoquímico del cuerpo de agua, donde una parte es inmovilizada por la absorción del sedimento y la otra es metabolizada por bacterias (Krebs, 2003). El impacto acumulativo de la concentración de nutrientes y materia orgánica provenientes de las jaulas de cultivo es proporcional a la cantidad de bacterias nitrificantes necesarias para descomponer estos compuestos con la consecuente disminución de los niveles de oxígeno disuelto presentes en el medio acuático (Arana, 2004); o por el contrario si no existieran los parámetros fisicoquímicos óptimos (oxígeno disuelto, temperatura, pH y sustancias tóxicas) para el crecimiento de estas bacterias junto la excesiva descarga de nutrientes se presentaría una relación inversa provocando eutrofización de cualquier cuerpo lacustre (Avendaño, 2011).

Finalmente al análisis de componentes principales (ACP), reveló tres factores donde los diferentes sistemas piscícolas influyen en la calidad del agua y los sedimentos del Lago Guamuez, estos se denominaron como: componente 1 actividad bacteriana, componente 2 profundidad y componente 3 intensidad de cultivo.

La actividad microbiana determina la capacidad de un microorganismo para crecer efectivamente en un determinado medio, generando productos y subproductos metabólicos. (España et al., 2002). El desarrollo y actividad de los microorganismos depende de la velocidad y eficacia de las reacciones químicas que intervienen dentro del proceso de nitrificación (Mendoza y Ramírez, 2008). Para este estudio estas reacciones fueron evidentes por la demanda biológica y química de oxígeno y la variabilidad de contenido de nitrógeno total encontrado en los cultivos piscícolas estudiados (extensivo, semi-intensivo e intensivo). Por consecuencia se observó claramente que estos parámetros influyeron en la proporción y la densidad celular de las bacterias oxidantes de amonio (BOA) y bacterias oxidantes de nitritos (BON). Este comportamiento nos indica que en el Lago Guamuez presenta una gran cantidad

de compuestos nitrogenados que descomponer provenientes del alimento metabolizado y no consumido por los peces de cultivo, lo que corresponde con los resultados obtenidos para variables de nitrógeno total, DBO₅ y DQO.

La profundidad en los lagos mayores a 2 metros tienen diferencias de temperaturas entre su superficie y el fondo, esa variación de temperatura se llama termoclina, así mismo hay una variación en la producción de OD, ya que el fondo es muy pobre en oxígeno y con gran acumulación de materia orgánica. Para este factor las variables con más influencia se determinaron para la temperatura y el amonio, donde se observó una relación inversa con respecto a la profundidad, a medida que aumenta la profundidad disminuye el amonio y la temperatura. Este comportamiento es de gran importancia tener en cuenta para evaluar si los desechos nitrogenados que causa la piscicultura son posibles de descomponer, puesto que la temperatura es el factor más influyente en el crecimiento de las bacterias nitrificantes. Cuando existen bajos valores de temperatura, la velocidad del proceso disminuye, siendo muy difícil que se lleve a cabo la nitrificación (González et al., 2010). Con valores de temperatura que se encuentran por debajo de los 10 °C, el proceso de nitrificación es deficiente y por el contrario, las bacterias nitrificantes tienen un mayor crecimiento cuando se eleva considerablemente la temperatura entre un rango de 10°C a 30°C (Gerardi, 2002). Afortunadamente el Lago Guamuez presenta rangos óptimos de temperatura tanto en la superficie como en el fondo (17,2°C - 16,4°C) favoreciendo el crecimiento de las bacterias BOA y BON.

En cuanto al componente denominado intensidad de cultivo las variables más influyentes se presentaron entre las zonas estudiadas, el oxígeno y el fósforo total encontrado en el sedimento. Lo anterior está correlacionado con los resultados reportados, donde el oxígeno fue disminuyendo paulatinamente a medida que se incrementa la producción de las estaciones piscícolas estudiadas y en las cuales se presentó un mayor valor de fósforo total de los sedimentos en las zonas donde se encontraban las jaulas de cultivo. De acuerdo con Avnimelech (2006), el aumento de la intensidad de cultivo ha llevado a un incremento de la producción, causando variación en la concentración de OD y aportando mayor cantidad de fósforo en los sistemas productivos por consecuencia del excesivo y uso inadecuado de alimento concentrado por la intensificación de la producción. Por consiguiente los cultivos de peces pueden presentar graves dificultades sanitarias por la deposición de materia

orgánica en los sedimentos y de igual forma afecta la capacidad de resiliencia o de transformación de la materia orgánica que tienen los cuerpos de agua y las comunidades de microorganismos existentes en los mismos si no se tienen concentraciones de oxígeno adecuadas y si se acumula con el tiempo compuestos nitrogenados que afectan el equilibrio de descomposición en el ambiente acuático (Ansa et al., 2000). Se conoce que la demanda de carne de peces por la población humana va en constante crecimiento y la actividad piscícola ha sido presionada por la necesidad de producir mayor número de animales en una misma área, de intensificar y tecnificar la explotación piscícola, pero en este sentido de desarrollo no se da lugar a pensar sobre la contaminación que causa al medio acuático (FAO, 2007). En este sentido, el conocimiento y control de los parámetros fisicoquímicos del agua y del sedimento son prácticas de manejo fundamentales para mantener las condiciones ambientales de los cuerpos de agua utilizados y con estas mismas medidas se pueden mantener los índices zootécnicos que son importantes para la economía de los productores piscícolas (López et al., 2005).

7. Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- El comportamiento de los parámetros fisicoquímicos como conductividad eléctrica, DBO₅, DQO y turbidez, reflejaron cambios significativos según la intensidad de cultivo, puesto que a mayor nivel de producción dichos parámetros tendieron a ser menos favorables para la calidad del agua como para los animales en cultivo, sin embargo los valores están dentro de rangos aceptables para lagos oligotróficos.
- El amonio, nitritos, nitratos y fósforo total medidos en el agua presentaron diferencias significativas demostrando que a mayor nivel de producción mayor es el aporte de nutrientes a la columna del agua alterando la calidad de la misma. Si bien es cierto estos valores no representan un riesgo potencial para procesos de eutrofización en el lago, se debe prestar importancia al incremento de los cultivos puesto que pueden ocasionar mayores alteraciones al cuerpo lacustre.
- Se presentaron diferencias significativas en cuanto al aporte de nitrógeno, fósforo, carbono y materia orgánica en los sedimentos, debido al uso de concentrados, sumado a los procesos metabólicos de los peces, donde los cultivos semi-intensivos e intensivos reflejaron la mayor cantidad de estos compuestos.
- Se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las proporciones y las densidades celulares de bacterias oxidantes de amonio (BOA) y bacterias oxidantes de nitrito (BON) en las zonas de estudio, estas bacterias nitrificantes se encontraron en mayor cantidad en el cultivo intensivo, evidenciando que estas se encuentran en mayor presencia cuando hay mayores concentraciones de compuestos nitrogenados y materia orgánica para descomponer.
- Las bacterias oxidantes de amonio (BOA) presentaron menor proporción que las bacterias oxidantes de nitritos (BON), lo que se debe a que el amonio por

ser la primera transformación del ciclo del nitrógeno, está presente en mayor cantidad en la superficie de la columna de agua; por el contrario en la zona bentónica hay mayor presencia de compuestos nitrogenados, los cuales se alcanzan a sedimentar y por ende se incrementa la actividad bacteriana de las BON.

- Las variables evaluadas en el estudio presentaron diferencias estadísticas significativas entre las zonas de estudio, demostrando que el cultivo de trucha arcoíris en jaulas flotantes altera negativamente la calidad de agua y los sedimentos, al igual que influye en la actividad bacteriana, incrementando su variabilidad a medida que se intensifica el sistema productivo.

7.2 Recomendaciones

- Se pueden realizar otros estudios de maestría o tesis doctorales que permitan evaluar con mayor detenimiento el comportamiento de las bacterias nitrificantes no solo en sedimentos y en la columna del agua, si no todas las relacionadas en la fijación de nitrógeno y otros procesos presentes en todo el ecosistema del lago.
- Es de fundamental importancia aplicar los métodos microbiológicos e incrementar el número de investigaciones con respecto a la actividad bacteriana en lagos receptores de procesos agrícolas y pecuarios, lo que permitiría dimensionar la afectación ecológica y ambiental, al igual que la capacidad de resiliencia de los mismos tomando como bioindicadores las comunidades bacterianas.
- Este tipo de estudios pueden complementarse analizando un mayor número de zonas a mayor escala de tiempo, lo que permitiría tener una visión más amplia sobre el comportamiento del lago con respecto al clima e incremento de las producciones piscícolas asentadas a lo largo de este importante humedal.
- Esta clase de investigaciones deben darse a conocer no solo en los ámbitos académicos, si no en las entidades gubernamentales y la comunidad en general con el fin de concientizar sobre el impacto ambiental que ejercen las

producciones piscícolas a los cuerpos de agua receptores y que con ellos se puedan adoptar las buenas prácticas de acuicultura.

8. Bibliografía

Anguas, B., Civera, R., Goytortúa, E y Rocha, S. (2003). Efecto de la temperatura y la densidad de cultivo sobre el crecimiento de juveniles de la cabrilla arenera, *Paralabrax maculatofasciatus*. *Hidrobiológica*, 13(4), 309-315.

Arboleda, D. (2006), Limnología aplicada a la acuicultura. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 7(11),1-24.

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

Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca - AUNAP. (2014). Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. Plan Nacional para el Desarrollo de la Piscicultura Sostenible en Colombia - PlaNDAS. Bogotá. 84.

Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca – AUNAP. (2016). Plan de ordenación pesquero y acuícola – Popa de la laguna de la Cocha. San Juan de Pasto. 23.

Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca – AUNAP. (2016). Resolución Numero 1352. Establece la clasificación de los acuicultores comerciales en Colombia de acuerdo con la actividad, el sistema y el volumen de producción. 8.

Allan, D. y Castillo, M. (2007), *Stream Ecology. Structure and function of running waters 2ª edición*, Caracas, Venezuela, Springer.

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades- ATSDR. (2016). Resúmenes de Salud Pública - Amoníaco (Ammonia). Recuperado de <http://www.cci.org.co/quienes-somos/>.

Ansa, O., Marr, I. y Cresser, M. (2000). Evaluation omodelled and measured patterns of dissolved oxy-gen in a freshwater lake as an indicator of the pres-ence of biodegradable organic pollution. *Water Re-search*. 34(4), 1079-1088.

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

Atlas, R & Bartha R, (2002), *Ecología microbiana y Microbiología ambiental*, Madrid, Addison Wesley.

Avendaño, L., (2011) Estudio de la población de bacterias nitrificantes y su relación con los parámetros físico-químicos, biológicos y operacionales en una EDAR con sistema convencional de Fangos Activos (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia, España.

Avnimelech Y, Ritvo G. (2003). Shrimp and fish pond soils: processes and management. *Aquaculture*. 220, 549-567.

Avnimelech, Y. (2006). "Bio-filters: The need for a new comprehensive approach." *Aquacultural engineering*. 34, 172-178.

Balcorta, C y Guerrero, R. (2001). Eutrofización: abundancia que mata. Limusa y Colegio de Ingenieros Ambientales, México. Recuperado de <http://bibliotecas.umar.mx/publicaciones/eutrofizacion.pdf>.

Beltrán R., Ramírez, J y Sánchez J. (2012). Comportamiento de la temperatura y oxígeno disuelto en la presa Picachos, Sinaloa, México. *Hidrobiológica*. 22(1), 94-98.

Beltrán, R., Sánchez, J y Ramírez, J. (2006). Morfometría y características físicas y químicas del agua del embalse Gustavo Díaz Ordaz, Sinaloa, México. *Ciencias del Mar* 18, 41–46.

Betancourt, C., Suarez, R y Toledo, L. (2009). Patrones de distribución temporal de algunas variables físicas y química en el embalse Paso Bonito, Cienfuegos, Cuba. *Limnética*, 28(1), 23–34.

Beveridge, M. (1986). Piscicultura en jaulas y corrales. Modelos para calcular la capacidad de carga y las repercusiones en el ambiente. *FAO Doc. Téc. Pesca*. 255, 100.

Bordehore, C. (2005). *Problemas ambientales, problemas humanos. Capítulo, Sociología Ambiental*, España, Universidad de Alicante.

Boyd, C. (1996). *Manejo de suelo y de la calidad de agua en la acuicultura de piscinas*, Caracas, Venezuela, Asociación Americana de Soya (ASA).

Boyd C. y Tucker, C. (1998). *Pond Aquaculture Water Quality Management*, Boston, EE.UU, KluwertAcademic Publishers.

Briceño, F., Camargo, M. y Lizarazo, L. (2009). Bacterias asociadas a la transformación del nitrógeno en la zona litoral del lago de Tota-Aquitania-Boyacá. *Suelos Ecuatoriales*, 39(1), 29-33.

Bueno, G., Marengoni, N., Júnior, A., Boscolo, W. y Teixeira, R. (2008). Estado trófico e bioacumulação do fósforo total no cultivo de peixes em tanques-rede na área aquícola do reservatório de Itaipu. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 30(3), 237-243.

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.

Buschmann H. y Fortt A. (2005). Efectos ambientales de la acuicultura intensiva y alternativas para un desarrollo sustentable. *Revista Ambiente y Desarrollo*. 21(3), 58-64.

Brown, J., Gowen, R. y Mclusky, D. (1987). The effect of salmon farming on the benthos of a Scottish sea loch. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 12, 33-48.

Boyd, C. y Green, B. (1998). Dry matter, Ash, and elemental composition of pond-cultured *Tilapia Oreochromis aureus* and *O. niloticus*. *Journal of the World Aquaculture Society*. 29(1), 125-128.

Boyd, C., Woods, W. y Thunjai, T. (2002). Aquaculture Pond Bottom Soil Quality Management. Pond Dynamics/Aquaculture Collaborative Research Support Program. Oregon State University, Corvallis. 41.

Capone, D. (2000), *The marine microbial nitrogen cycle. Microbial Ecology of the oceans*, New York, Editor Wiley-Liss,

Catalán, J. y Donato, J. (2016). Perspectives for an integrated understanding of tropical and temperate high-mountain lakes. *Journal of Limnology*, 75, 215-234.

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.

Claude M, Oporto J (2000) La ineficiencia de la salmonicultura en Chile, Santiago, Chile, Terram.

CORPONARIÑO, (2011). Plan de Acción en Biodiversidad del departamento de Nariño 2006 – 2030 - Propuesta Técnica. Corponariño, Gobernación de Nariño - Secretaría de Agricultura, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales - UAESPNN - Territorial Surandina, Universidad de Nariño, Universidad Mariana y Asociación para el Desarrollo Campesino.

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

Centro de investigación de la acuicultura e Colombia-CENIACUA y Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación-COLCIENCIAS. (2009). Análisis de las características físico-químicas de aguas y suelos de cultivos acuícolas intensivos y superintensivos. Bogota, Colombia. 82.

Corredor, L.; Galarza, G.; Hernandez, E.; Macariz, A.; Tamayo, P. y L. Vallejo. (2016). Análisis físico y químico en cuatro ecosistemas acuáticos en el valle del cauca,

Colombia. Monografía. Bogotá, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.

Cornell, G. y Whoriskey, F. (1993). The effects of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cage culture on the water quality, zooplankton, benthos and sediments of Lac du Passage, Quebec. *Aquaculture*. 109.

Diemer, O., Neu, D., Feiden, A., Lorenz, E., Bittencourt, F. y Boscolo, R. (2010) Dinâmica nictimeral e vertical das características limnológicas em ambiente de criação de peixes em tanques-rede. *Ci.Anim. Bras.* 11(1), 24-31.

Ebeling, J., Timmons, M. y Bisogni, J. (2006). Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 257 (1-4). 346-358.

Eley, R., Carroll, J. y De Woody, D. (1972). Effect of cage catfish culture on water quality and community metabolism of a lake. Proceedings of the Oklahoma Academy of Science. 5.

España, M., Rodríguez, B., Cabrera, E. y Cecanti, B. (2002). Actividades enzimáticas y contribución de residuos de cosecha de maíz al nitrógeno del suelo en sistemas de labranza, en los llanos centrales, Venezuela. *Revista Tierra Latinoamericana*. 20(1), 81-86.

Espinoza, A y Bermúdez, C. (2012). La acuicultura y su impacto al medio ambiente. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo – CIAD. *Estudios Sociales*. 2. 217 – 232.

Faña, J. (2002), *Evaluación Rápida de la Contaminación Hídrica*. República Dominicana, Grupo Hidro-ecológico.

FAO (2001). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Aquaculture Development and Coordination Program. Aquaculture Development Planning. Rome. 102.

FAO. (2006). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, Roma.

FAO. (2007). Food and Agriculture Organization-The state of world fisheries and aquaculture. Rome, Italy, United Nations.

FAO. (2018). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma. 250.

Fraga, I., Flores, E., Reyes, R. y Llanes, Y. (2012). Efecto de diferentes densidades de siembra en el engorde de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus* x *O. aureus*) en jaulas colocadas en la bahía de Casilda, Cuba. *Rev. Invest.* 32(1), 16-23.

Gerardi, M. (2002). *Nitrification and denitrification in the activated sludge process*, Nueva York, Estados Unidos, Wiley-Interscience.

Gobernación de Nariño (2010). Secretaria de Agricultura y Medio Ambiente. Acuerdo de Competitividad de la Cadena Piscícola en el Departamento de Nariño. Pasto. 123.

Gunkel, G. (2003). Limnología de un Lago Tropical de Alta Montaña, en Ecuador: Características de los sedimentos y tasa de sedimentación. *Revista de Biología Tropical.* 51(2), 381–392.

González, P., Quintans, P., Vizcaíno, M., Miguel, R., González, J., Pérez, J y García, R. (2010). Estudio de la inhibición del proceso de nitrificación como consecuencia de la acumulación de metales en el fango biológico de la EDAR de León y su alfoz. *Tecnología del Agua.* 322, 28-38.

González, E. (2018). Impacto ambiental de la acuicultura intensiva en el Lago Guamuez, Colombia. *Revista investigación pecuaria.* 5(1), 33-43.

González, J. (2015). Caracterización de sedimentos producidos en una explotación intensiva de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792), como un medio para definir estrategias de uso y manejo sostenible de lagunas de oxidación en piscicultura (tesis de postgrado). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

González, J. (2012). Uso y manejo de sedimentos provenientes de piscicultura como base para el manejo sostenible: revisión del tema. *Revista ciencia animal.* 5, 121-143.

Huipe, A y Bernal, F. (2009). Manejo de microembalses para el cultivo extensivo de carpa común (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) en la región de Zacapu, Michoacán, México. *Hidrobiológica*, 19(2), 129-139.

Jiménez, M. y Vélez, M. (2006). Análisis comparativo de indicadores de calidad de agua superficial. *Avances en recursos hidráulicos*. 14,1-18.

Jiménez, N., Morales, C., Kalman, J., Salamanca, J., González, L. y Sarasquete, T. (2007). Determining sediment quality for regulatory purposes using fish chronic bioassays. *Environment International*. 33(4), 474-480.

Koops H. y Pommerening R. (2001). Distribution and ecophysiology of the nitrifying bacteria emphasizing cultured species. *FEMS Microbial Ecology*. 37, 1-9.

Krebs, R. (2003). *Respiración del suelo como herramienta para evaluar calidad de fondos en acuicultura. I. Desarrollo de un protocolo estándar para medir dióxido de carbono*, Facultad de ingeniería marítima y ciencias del mar, Ecuador, Escuela superior politécnica del litoral.

Ledo H., Marín, J., Gutiérrez, E. Y Morales, J. (2003). Nitrogen mobility at the sediment-water interface of Lake Maracaibo, Venezuela. *Water, Air, and Soil Pollution* 145, 341-357.

Leigh, G. (2002), *Nitrogen Fixation at the Millennium*, Amsterdam, Holanda, Elsevier.

López, Y., Trujillo, E., Fonseca, M. y Martínez, V. (2005). Identificación de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua, que se alteran por uso acuícola. Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de México. 8.

López, M. y Madroño, S. (2015). Estado Trófico De Un Lago Tropical De Alta Montaña: Caso Laguna De La Cocha. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 21-42.

López, J y Salas, J. (2013). Caracterización comparativa de la condición limnológica del lago Guamuéz en relación con la producción de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes. *Revista Entornos*. 26 (2): 181-194.

Magni P., Rajagopal S., Van DerVelde, G., Fenzi, G., Kassenberg, J., Vizzini, S., Mazzola, A. y Giordani, G. (2008). Sediment features, macrozoobenthicsemblages and trophic relationships (d13C and d15N analysis) following a dystrophic event with anoxia and sulphide development in the Santa Giusta lagoon (western Sardinia, Italy). *Marine Pollution. Bulletin* 57, 125-136.

Makridis, P., Hovden, N. y Gausen, M. (2012). La Oxigenación en la Acuicultura. Aquafeed. Recuperado de <http://www.aquafeed.co/la-oxigenacion-en-la-acuicultura/>.

Massol, A., (2010) "Parámetros Físico-químicos" en Curso ecología microbiana. Recuperado de <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/>

Margalef, R, (1983), *Limnología*. Barcelona. Ediciones Omega.

Marín, J., Ledo, H., Hernández, R., Castejón, F. y Olga E. (2006). Bacterias asociadas a la transformación de nitrógeno en la interfase agua-sedimento del cono hipolimnético del Laguna de Maracaibo, Venezuela. *SciELO*. 40(1), 1-16.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR. (2010). Pesca y Acuicultura Colombia 2009 "Informe técnico regional de cuencas del Orinoco y Amazonas". Corporación Colombiana Internacional. 71.

Mendoza, M. (1998). Balance de fósforo en el lago de Chapal (Tesis de maestría). Universidad Virtual del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Monterrey, México.

Mendoza, A. y Ramírez, P. (2008). *Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo*. Tlalpan, México. Instituto Nacional de Ecología.

Mermillod, F., Mauclair, L. y Montuelle, B. (2005). Use of slow filtration columns to assess oxygen respiration, consumption of dissolved organic carbon, nitrogen

transformations, and microbial parameters in hyporheic sediments. *Water Research* 39, 1687-1698.

Meyer, D. (2004), *Introducción a la acuicultura*. Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR. (2008). El Componente Ambiental de la Política Agropecuaria. AgronetMinagricultura. Recuperado de <http://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Noticia113.aspx>.

Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino - MARM. (2011), *Diversificación en acuicultura: Una herramienta para la sostenibilidad*, Madrid, España. Secretaria general técnica.

Miranda W., Angulo I. & Muñoz A. (2017). Medición de la calidad fisicoquímica del agua usada en el cultivo de peces de agua dulce en el Valle del Yaqui. Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON). En Ríos, N. y cols. (Comp.). Ciencias Ambientales: Tendencias y Aplicaciones Tecnológicas en México. 69.

Morata, T., Sospedra, J., Falco, S. y Rodilla, M. (2012) Exchange of nutrients and oxygen across the sediment-water interface below a Sparus aurata marine fish farm in the North-Western Mediterranean Sea. *Journal Soils Sediments*. 12,1623-1632

Motta De Muñoz, B., Rodríguez, C., Montenegro, H., Marulanda, J., Correa, A. y Bendeck, M. (1990). *Métodos analíticos del laboratorio de suelos*. 5 ed. Bogotá, Colombia, IGAC.

Molina, L. (2004). Impacto ambiental de un cultivo de jaulas en la Bahía de Melenara. Informes técnicos del Instituto Canario de Ciencias Marinas. Islas canarias, Bahía de Melenara. 9.

Molina, L. y Vergara J. (2004). Environmental Impact Assessment. En: WasteManagement and the Environment (Waste Management 2004). *Aquaculture*. 2, 321-333.

Molina, L. y Vergara J. (2005). Impacto ambiental de jaulas flotantes: estado actual de conocimientos y conclusiones prácticas. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr*. 21(1-4), 75-81.

Montenegro, C. (2010). Diagnostico preliminar del ordenamiento pesquero y acuícola del lago Guamués la cocha en Nariño, Pasto, Colombia. 71.

Muñoz, S., García, J., Correa, G., Atencio, V. y Pardo, S. (2012). Efectos del perifiton sobre los parámetros fisicoquímicos del agua en estanques con policultivo de tilapia *Oreochromis niloticus* y Bocachico *Prochilodus magdalenae*. *Revista lasallista de investigación*. 9(1), 1-12.

Morales, S y Peña, E. (2008). Perifiton de tres lagos de la meseta de Popayán, Colombia y su uso como indicadores de estado trófico. *Revista de ciencias*.12, 89-108.

Observatorio Español de Acuicultura - OESA. (2015). Indicadores de seguimiento y sostenibilidad en acuicultura. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. Gobierno de España. 43.

Olmos, C. (2000). Análisis de riesgos de eutrofización de los embalses de Tuni, Incachaca y Hampaturi (tesis pregrado). Umsa, La Paz, Bolivia.

Olsen, L., Hernandez, K., Van Ardelan, M., Iriarte, J., Sanchez, N., Gonzalez, H., Tokle, N, & Olsen, Y., 2014. Responses in the microbial food web to increased rates of nutrient supply in a southern Chilean fjord: possible implications of cage aquaculture. *Aquac. Environ. Interact*. 6, 11-27.

Otero, L., (2011) Temporalidad de parámetros de calidad en el lago de Yojoa, Honduras (tesis de maestría). Universidad de Oviedo, España.

Pacheco, J., Pat, R. y Cabrera, A. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, México. *Ingeniería*. 6(3), 73-81.

Pantoja, S., Rossel, P. y Contreras, S. (2004). *Ciclos biogeoquímicos En Biología marina y oceanografía: conceptos y procesos*. Trama / Universidad de Concepción. Chile.

Patrone, C., Hernández, K., Yannicelli, B., Mork, L. y Molinai, V. (2015) Nitrifying microbial assemblages response to ammonium enrichment from salmon farming activities in a Chilean Fjord. *Estuar Coast Shelf Sci.* 166, 131–142.

Pérez, J. (1996). La acuicultura y la conservación de la biodiversidad. *Interciencia. Instituto Oceanográfico de Venezuela.* 21(3): 154-157.

Pérez, C., Manríquez, A. y Reina, H. (2004). Aislamiento, identificación y evaluación de un cultivo mixto de microorganismos con capacidad para degradar DDT. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental.* 20(2), 69-75.

Perés, R. y Juárez, A. (2002), *Bioquímica de los microorganismos*, Barcelona, España, Reverté S.A.

Polanco, E., Montes, J., Grizel, H. y Corral, L. (2000). *La acuicultura: biología, regulación, fomento, nuevas tendencias y estrategia comercial. Tomo I análisis del desarrollo de los cultivos: medio, agua y especies*, Madrid, España, Grupo Mundi-Prensa.

Quiñones, J. (2014). Análisis de la cadena agroalimentaria de la trucha en Colombia. (tesis de postgrado). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

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

Ramírez, J., Mora, P., Pardo, M. y Pulido, L. (2007), *Recuperar el páramo. Restauración Ecológica en la laguna de Otún Parque Nacional Natural Los Nevados*. Manizales, Pereira, Editorial Andina.

Read, P., Fernandes, T. y Miller, K. (2001). The derivation of scientific guidelines for best environmental practice for the monitoring and regulation of marine aquaculture in Europe. *J. Appl. Ichtyol.* 17 (4), 146-152.

Reques, R. (2005), *Conservación de la Biodiversidad en los Humedales de Andalucía (2ª edición)*. Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, Sevilla, España.

Romero, T. y Vargas, D. (2017). Uso de microorganismos eficientes para tratar aguas contaminadas. *Ingeniería hidráulica y ambiental*. 38 (3), 88-100

Roldan, G y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Segunda edición. Medellín, Universidad de Antioquia.

Rabalais, N., Cai, W., Carstensen, J., Conley, D., Fry, B., Hu, X., Quiñones-Rivera, Z., Rosenberg, R., Slomp, C., Turner, R., Voss, M., Wissel, B, & Zhang, J., 2014. Eutrophication- driven deoxygenation in the coastal ocean. *Oceanography*. 27, 172-783.

Restrepo, L & González, J. (2007). De Pearson a Spearman. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 20 (2), 183-192.

Resolución SUBPESCA N°3612. Metodologías para elaborar la caracterización preliminar del sitio (CPS) y la información ambiental (INFA). Título IV De las variables, número 26. Valparaíso, Chile, 29 octubre de 2009.

Rudnick, P., Meletzus, D., Green, A., He, L, & Kennedy, C., 1997. Regulation of nitrogen fixation by ammonium in diazotrophic species of proteobacteria. *Soil Biol. Biochem*. 29, 831-841.

Scuka, F. (2009). Cuánta agua tiene el planeta. Latinoamérica en el Centro. Recuperado de <https://www.latices.org/milj/es/fedscu0902es.html>.

Stanier, R., Ingraham, J., Wheelis, M. y Painter, P. (1992). *Microbiología, Segunda edición*, Barcelona, España, Reverté, S. A.

Steeby J., Hargreaves J., Tucker, C y Kingsbury S. (2004). Accumulation, organic carbon and dry matter concentration of sediment in commercial channel catfish ponds. *Aquacultural Engineering*. 30(1),115-126.

Studer, E. (2007). Evaluación de Parámetros físicos, químicos y biológicos Indicadores del Estado Trófico del Lago de Yojoa, Honduras (tesis de maestría). Lausanne, Faculté ENAC, École polytechnique fédérale de Lausanne.

Torres, A., Tovar, M., Hurtado, H. y Gómez, E. (2015). Excreción de nitrógeno amoniacal total a diferentes densidades de siembra de *Cyprinus carpio* en condiciones de laboratorio. Universidad de los Llanos. 19(1), 8.

Tsutsumi, H. y Kikuchi, T. (1983). Benthic ecology of a small cove with essential oxygen depletion caused by organic pollution. Memoirs of the Marine Biology laboratory, Kyushu University. 23.

Useche, C., Aviles, M. y Dorado, M. (2001). *Fundamentos de acuicultura continental 2ª edición: Capítulo 17. Cultivo de peces en jaulas*. Bogotá, Colombia. INPA.

Vásquez W. (2004). *Principios de Nutrición aplicada al cultivo de peces*. Universidad de los Llanos, Villavicencio.

Vásquez, W., Talavera, M y Inga, M. (2016). Evaluación del impacto en la calidad de agua debido a la producción semi intensiva de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes en la laguna Arapa – Puno. *Rev Soc Quím Perú*. 81(1), 15-28.

Vollenweider, R. (1968). *Scientific fundamentals of lake and stream eutrophication, with particular reference to phosphorus and nitrogen as eutrophication factors*. OECD. Paris, Francia.

Wang, X., Mork, L., Inge, K. y Olsen, Y. (2012). Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquac. Environ. Interact.* 2, 267-283.

Wang, Q., Li, Z., Lian, Y., Du, X., Zhang, S., Yuan, J., Liu, J. y Silva, S.S.D. (2016). Farming system transformation yields significant reduction in nutrient loading: case study of Hongze Lake, Yangtze River Basin, China. *Aquaculture*. 457, 109-117.

Ye, L. y Zhang, T., 2010. Estimation of nitrifier abundances in a partial nitrification reactor treating ammonium-rich saline wastewater using DGGE, T-RFLP and mathematical modeling. *Appl. Microbiology Biotechnology*. 88: 1403-1412.

Ye, R. y Thomas S. (2001). Microbial nitrogen cycles: physiology, genomics and applications. *Current Opinion in Microbiology* 4, 307-312.

Yilmaz, L., Wook, D y Noguera, D, (2010), *Microbiology ecology of Activated Sludge*. Londres, Reino Unido, IWA Publishing.

Yossa, M., Hernández, G., Vásquez, W. y Ortega, J. (2011). Materia orgánica en estanques piscícolas. Universidad de Los Llanos – Instituto de Acuicultura de Los Llanos IALL – Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 26 p.

Yuvanatemiyá V y Boyd C. (2006). Physical and chemical changes in aquaculture pond bottom soil resulting from sediment removal. *Aquacultural engineering*. 35, 199-205

Zarco, M.; Trujillo, E.; Vázquez, G & Martínez, V. (2005). Cuantificación de especies nitrogenadas y factores que afectan su formación en agua de uso acuícola. Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de México. 7.

Zijun, Z., Hui, L., Chunlei, S., Xiuyun, C. y Yiyong, Zhou. (2017). Prevalence of ammonia-oxidizing bacteria over ammonia-oxidizing archaea in sediments as related to nutrient loading in Chinese aquaculture ponds. *Journal of Soils and Sediments*. 17, 1928-1938.

ANEXOS

A. Anexo: Datos de parámetros fisicoquímicos en las zonas y puntos de muestreos

ZONA 1		CULTIVO EXTENSIVO																																		
MEDICIÓN	ZONA 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			
		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)		7,91	7,84	7,9	7,88	7,63	7,65	7,65	7,64	6,83	6,7	6,66	6,73	7,89	7,82	7,80	7,84	7,74	7,76	7,72	7,74	6,76	6,71	6,76	6,74	7,83	7,85	7,86	7,85	7,72	7,70	7,75	7,72	6,87	6,73	6,71
Tº (ºC)		16,8	16,7	17,0	16,83	16,6	16,7	16,5	16,60	15,5	15,5	15,7	15,57	17	16,7	16,9	16,87	16,4	16,3	16,6	16,43	15,4	15,7	15,6	15,57	16,7	16,5	16,9	16,70	16,6	16,4	16,8	16,60	15,2	15,6	15,9
CE		75,1	73,1	70,7	72,97	77,9	76,3	77,3	77,17	82,1	82,9	82,7	82,57	72,3	72,9	73,5	72,90	76,5	77,1	76,9	76,83	83,4	83,2	81,3	82,63	72,3	71,3	71,9	71,83	76,8	77,3	76,5	76,87	83,9	83,1	83,1
PH		7,72	7,72	7,70	7,71	7,52	7,50	7,50	7,51	7,34	7,36	7,40	7,37	7,76	7,70	7,70	7,72	7,51	7,61	7,5	7,54	7,38	7,37	7,37	7,37	7,71	7,76	7,73	7,73	7,47	7,50	7,48	7,48	7,37	7,33	7,38
TURBIDEZ (UNT)		1,78	1,79	1,77	1,78	1,88	1,88	1,86	1,87	1,97	1,97	1,97	1,97	1,79	1,8	1,8	1,80	1,85	1,79	1,78	1,81	1,89	1,89	1,89	1,89	1,68	1,67	1,67	1,67	1,86	1,86	1,85	1,86	1,99	2,00	1,97

ZONA 2		CULTIVO SEMIINTENSIVO																																		
MEDICIÓN	ZONA 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			
		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		7,67	7,60	7,67	7,65	7,40	7,60	7,50	7,50	6,45	6,47	6,42	6,45	7,58	7,67	7,61	7,62	7,55	7,53	7,48	7,52	6,51	6,53	6,53	6,52	7,55	7,60	7,60	7,58	7,56	7,57	7,56	7,56	6,47	6,43	6,52
Tº		17,5	17,4	17,3	17,40	16,7	16,8	16,8	16,77	15,6	15,8	15,6	15,67	17,3	17,3	17,3	17,30	16,5	16,8	16,8	16,70	15,6	15,6	15,7	15,63	17,2	17,3	17,3	17,27	16,8	16,7	16,7	16,73	15,6	15,7	15,7
CE (µs/cm)		82,2	82,4	82,0	82,20	86,7	86,7	87,4	86,93	92,9	93,0	93,0	92,97	82,0	82,0	83,0	82,33	86,9	85,7	85,7	86,10	93,9	94,0	94	93,97	81,9	82,0	81,9	81,93	85,8	86,0	85,8	85,87	92,9	92,9	92,7
PH		7,66	7,63	7,63	7,64	7,44	7,44	7,47	7,45	7,16	7,18	7,16	7,17	7,66	7,67	7,67	7,67	7,41	7,49	7,49	7,46	7,18	7,19	7,11	7,16	7,67	7,64	7,65	7,65	7,43	7,45	7,41	7,43	7,17	7,15	7,16
TURBIDEZ (UNT)		1,88	1,90	1,88	1,89	1,95	1,94	1,94	1,94	1,99	2,18	2,16	2,11	1,85	1,83	1,8	1,83	1,87	1,90	1,88	1,88	2,00	2,14	2,14	2,09	1,71	1,74	1,79	1,75	1,93	1,96	1,96	1,95	2,24	2,26	1,97

ZONA 3		INTENSIVO																																		
MEDICIÓN	ZONA 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			
		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		7,32	7,34	7,33	7,33	7,24	7,2	7,25	7,23	6,18	6,22	6,20	6,20	7,26	7,28	7,30	7,28	7,25	7,22	7,28	7,25	6,21	6,21	6,24	6,22	7,28	7,25	7,30	7,28	7,28	7,26	7,24	7,26	6,20	6,20	6,19
Tº		17,6	17,8	17,6	17,67	17,1	17,0	17,1	17,07	16,0	15,9	15,9	15,93	17,6	17,6	17,6	17,60	16,9	17,0	17,0	16,97	16,1	16,0	16,0	16,03	17,5	17,8	17,6	17,63	16,9	17,1	17,1	17,03	16,2	16,0	16,1
CE		89,4	90,1	89,2	89,57	95,2	95,4	98,1	96,23	111,8	112,0	112,1	111,97	89,9	90,6	90,4	90,30	104,1	103,7	103,9	103,90	118,4	118,6	116,8	117,93	90,7	90,4	90,4	90,50	110,6	110,7	110,4	110,57	120,4	121,2	122,8
PH		7,56	7,50	7,58	7,55	7,32	7,31	7,34	7,32	7,00	7,02	7,00	7,01	7,54	7,56	7,60	7,57	7,35	7,33	7,35	7,34	7,02	7,05	7,05	7,04	7,53	7,56	7,58	7,56	7,36	7,30	7,34	7,34	7,01	7,01	7,04
TURBIDEZ (UNT)		2,13	2,16	2,09	2,13	2,17	2,20	2,21	2,19	2,26	2,28	2,30	2,28	2,15	2,15	2,14	2,15	2,01	2,01	2,08	2,03	2,23	2,26	2,26	2,25	2,01	2,04	2,04	2,03	2,17	2,10	2,11	2,13	2,24	2,26	2,28

ZONA 4		PUNTO CONTROL																																		
MEDICIÓN	ZONA 4	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			
		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		9,16	9,22	9,21	9,20	8,93	8,89	8,87	8,90	7,9	7,85	7,89	7,84	9,21	9,26	9,22	9,23	8,77	8,81	8,79	8,79	7,75	7,76	7,76	7,76	9,33	9,32	9,32	9,32	8,77	8,77	8,78	8,77	7,85	7,86	7,84
Tº		17,3	17,1	17,1	17,17	16,4	16,4	16,5	16,43	15,1	15,1	15,4	15,20	17,2	17,0	17,2	17,13	16,4	16,3	16,4	16,37	15,3	15,2	15,3	15,27	17,4	17,4	17,1	17,30	16,5	16,5	16,4	16,47	15,2	15,2	15,3
CE		70,5	69,1	70,7	70,10	75,7	76,3	74,4	75,47	81,1	81,4	81,7	81,40	70,0	70,9	70,5	70,47	75,5	77,0	74,4	75,63	81,4	81,2	81,3	81,30	70,7	70,6	68,9	70,07	75,8	75,9	75,1	75,60	81,7	81,8	81,4
PH		8,16	8,19	8,11	8,15	7,94	7,91	7,96	7,94	7,65	7,67	7,66	7,66	8,18	8,18	8,18	8,18	8,04	8,04	8,05	8,04	7,49	7,50	7,51	7,50	8,10	8,10	8,19	8,13	8,03	8,03	8,03	8,03	7,47	7,49	7,48
TURBIDEZ (UNT)		1,72	1,72	1,71	1,72	1,86	1,83	1,81	1,83	1,90	1,95	1,97	1,94	1,73	1,75	1,72	1,73	1,80	1,79	1,82	1,80	1,89	1,93	1,96	1,93	1,70	1,69	1,69	1,69	1,86	1,85	1,85	1,85	1,96	1,97	1,97

Zona 1	CULTIVO EXTENSIVO								
Medición	PUNTO 1			PUNTO 2			PUNTO 3		
	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M
DBO5 (mgO2/L)☐	7,24	7,29	7,36	7,22	7,27	7,33	7,26	7,3	7,38
DQO (mgO2/L)☐	8,28	8,39	8,44	8,23	8,43	8,51	8,21	8,26	8,32
Zona 2	CULTIVO SEMIINTENSIVO								
Medición	PUNTO 1			PUNTO 2			PUNTO 3		
	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M
DBO5 (mgO2/L)☐	9,16	9,17	9,22	9,15	9,16	9,23	9,15	9,18	9,26
DQO (mgO2/L)☐	11,26	11,30	11,54	11,21	11,28	11,55	11,16	11,33	11,61
Zona 3	CULTIVO INTENSIVO								
Medición	PUNTO 1			PUNTO 2			PUNTO 3		
	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M
DBO5 (mgO2/L)☐	10,10	10,19	10,26	10,33	10,51	10,15	10,00	10,37	10,24
DQO (mgO2/L)☐	14,38	13,47	14,64	14,39	13,43	13,61	14,30	14,37	14,58
Zona 4	PUNTO CONTROL								
Medición	PUNTO 1			PUNTO 2			PUNTO 3		
	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M	0 M	10 M	20 M
DBO5 (mgO2/L)	6,70	6,81	6,81	6,69	6,72	6,90	6,70	6,76	7,09
DQO (mgO2/L)	7,01	7,12	7,16	7,43	7,49	7,91	7,00	7,14	7,14

Influencia de Cultivos Piscícolas en la Calidad del Agua y Comunidades Bacterianas en el Sedimento del Lago Guamuez

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

Oxígeno (mg/L)				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
0 Metros	2,00	2,00	2,00	2,00
10 Metros	2,00	2,00	2,00	2,00
20 Metros	2,00	2,00	2,00	2,00
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3	Desvest 3
0 Metros	0,87	0,87	0,87	0,87
10 Metros	0,87	0,87	0,87	0,87
20 Metros	0,87	0,87	0,87	0,87
	Error estan	Error estan	Error estan	Error estan
0 Metros	0,289	0,289	0,289	0,289
10 Metros	0,289	0,289	0,289	0,289
20 Metros	0,289	0,289	0,289	0,289
	coefi varia	coefi varia	coefi varia	coefi varia
0 Metros	43,30	43,30	43,30	43,30
10 Metros	43,30	43,30	43,30	43,30
20 Metros	43,30	43,30	43,30	43,30

Temperatura (°C)				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
0 Metros	7,86	7,62	7,30	9,25
10 Metros	7,70	7,53	7,25	8,82
20 Metros	6,75	6,48	6,21	7,82
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3	Desvest 3
0 Metros	0,04	0,04	0,03	0,06
10 Metros	0,05	0,06	0,03	0,06
20 Metros	0,07	0,04	0,02	0,05
	Error estan	Error estan	Error estan	Error estan
0 Metros	0,013	0,015	0,010	0,020
10 Metros	0,016	0,020	0,009	0,020
20 Metros	0,022	0,014	0,006	0,017
	Coef variac	Coef variac	Coef variac	Coef variac
0 Metros	0,48	0,57	0,42	0,66
10 Metros	0,62	0,80	0,36	0,69
20 Metros	0,98	0,66	0,28	0,66

Conductividad Eléctrica (µS/cm)				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
0 Metros	72,57	82,16	90,12	70,21
10 Metros	76,96	86,30	103,57	75,57
20 Metros	82,86	93,26	117,12	81,44
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3	Desvest 3
0 Metros	1,29	0,35	0,53	0,73
10 Metros	0,50	0,63	6,27	0,85
20 Metros	0,76	0,54	4,23	0,24
	Error estan	Error estan	Error estan	Error estan
0 Metros	0,43	0,12	0,18	0,24
10 Metros	0,17	0,21	2,09	0,28
20 Metros	0,25	0,18	1,41	0,08
	coef variaci	coef variaci	coef variaci	coef variaci
0 Metros	1,78	0,43	0,58	1,04
10 Metros	0,65	0,73	6,05	1,12
20 Metros	0,92	0,58	3,61	0,30

pH				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
0 Metros	7,72	7,65	7,56	8,15
10 Metros	7,51	7,45	7,33	8,00
20 Metros	7,37	7,16	7,02	7,55
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3	Desvest 3
0 Metros	0,02	0,02	0,03	0,04
10 Metros	0,04	0,03	0,02	0,05
20 Metros	0,02	0,02	0,02	0,09
	Error estan	Error estan	Error estan	Error estan
0 Metros	0,01	0,01	0,01	0,01
10 Metros	0,01	0,01	0,01	0,02
20 Metros	0,01	0,01	0,01	0,03
	coef variaci	coef variaci	coef variaci	coef variaci
0 Metros	0,31	0,22	0,40	0,48
10 Metros	0,54	0,41	0,28	0,64
20 Metros	0,29	0,33	0,28	1,14

Turbidez (UNT)				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
0 Metros	1,75	1,82	2,10	1,71
10 Metros	1,85	1,93	2,12	1,83
20 Metros	1,95	2,12	2,26	1,94
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3	Desvest 3
0 Metros	0,06	0,07	0,06	0,02
10 Metros	0,04	0,03	0,08	0,03
20 Metros	0,05	0,11	0,02	0,03
	Error estan	Error estan	Error estan	Error estan
0 Metros	0,02	0,02	0,02	0,01
10 Metros	0,01	0,01	0,03	0,01
20 Metros	0,02	0,04	0,01	0,01
	coefi varia	coefi varia	coefi varia	coefi varia
0 Metros	3,33	3,60	2,74	1,13
10 Metros	1,96	1,76	3,57	1,45
20 Metros	2,33	5,11	0,94	1,59

DBO5 (mgO2/L)				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
0 Metros	7,24	9,15	10,14	6,70
10 Metros	7,29	9,17	10,36	6,76
20 Metros	7,36	9,24	10,22	6,93
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3	Desvest 3
0 Metros	0,02	0,01	0,17	0,01
10 Metros	0,02	0,01	0,16	0,05
20 Metros	0,03	0,02	0,06	0,14
	Error estan	Error estan	Error estan	Error estan
0 Metros	0,0141	0,0041	0,1197	0,0041
10 Metros	0,0108	0,0071	0,1134	0,0319
20 Metros	0,0178	0,0147	0,0414	0,1011
	cof varia	cof varia	cof varia	cof varia
0 Metros	0,28	0,06	1,67	0,09
10 Metros	0,21	0,11	1,55	0,67
20 Metros	0,34	0,23	0,57	2,06

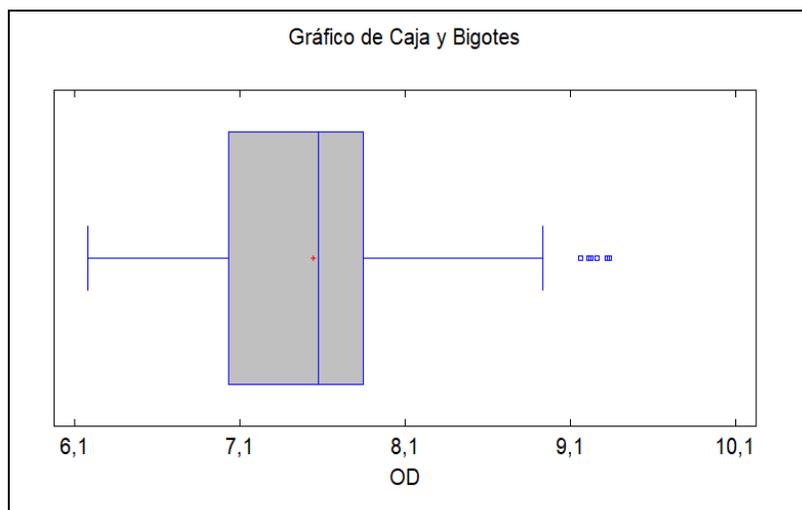
DQO (mgO2/L)				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
0 Metros	8,24	11,21	14,36	7,15
10 Metros	8,36	11,30	13,76	7,25
20 Metros	8,42	11,57	14,28	7,40
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3	Desvest 3
0 Metros	0,04	0,05	0,05	0,25
10 Metros	0,09	0,03	0,53	0,21
20 Metros	0,10	0,10	0,58	0,44
	Error estan	Error estan	Error estan	Error estan
0 Metros	0,03	0,04	0,03	0,17
10 Metros	0,06	0,02	0,38	0,15
20 Metros	0,07	0,07	0,41	0,31
	cof varia	cof varia	cof varia	cof varia
0 Metros	0,44	0,45	0,34	3,43
10 Metros	1,06	0,22	3,86	2,87
20 Metros	1,14	0,83	4,05	5,93

C. Anexo: Supuestos estadísticos para cada variable fisicoquímica

Oxígeno Disuelto

Pruebas de Normalidad

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	106,352	4,91607E-13
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,911794	3,44372E-8
Valor-Z para asimetría	1,25152	0,210744



Homogeneidad de varianzas

Tabla ANOVA para Oxígeno Disuelto por Puntos

<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	0,0022463	2	0,00112315	0,00	0,9985
Intra grupos	76,2294	105	0,725994		
Total (Corr.)	76,2316	107			

Verificación de Varianza

<i>Prueba</i>		<i>Valor-P</i>
de Bartlett	1,00032	0,983589

Independencia

Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	45,7869	3	15,2623	11040,37	0,0000
Puntos (Zona)	0,0248444	8	0,00310556	2,25	0,0335
Profundidad (Puntos Zona)	30,3204	24	1,26335	913,88	0,0000

Residuo	0,0995333	72	0,00138241		
Total (corregido)	76,2316	107			

R-Cuadrada = 99,8694 por ciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,806 por ciento

Error estándar del est. = 0,0371807

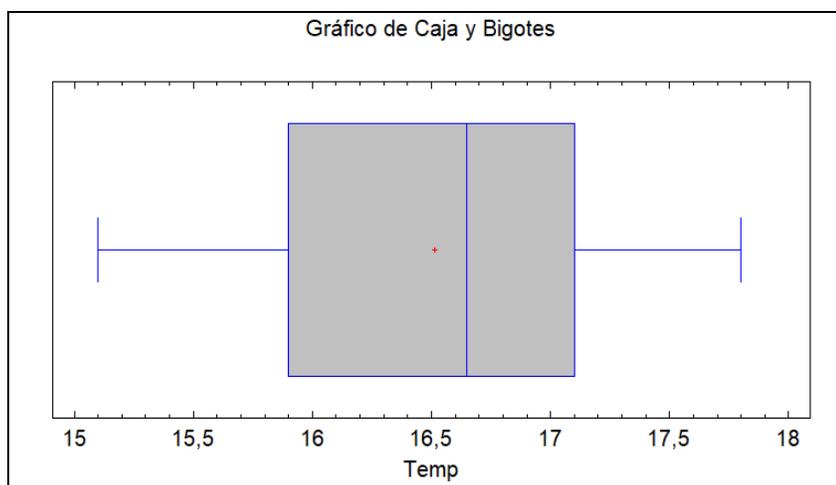
Error medio absoluto = 0,0214198

Estadístico Durbin-Watson = 2,6507 (P=0,9997)

Temperatura

Pruebas de Normalidad

Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	40,6111	0,00916423
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,933149	0,000017339
Valor-Z para asimetría	0,86657	0,386176



Homogeneidad de varianzas

Tabla ANOVA para Temperatura por Puntos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0312963	2	0,0156481	0,03	0,9721
Intra grupos	57,9906	105	0,552291		
Total (Corr.)	58,0219	107			

Verificación de Varianza

Prueba		Valor-P
de Bartlett	1,00094	0,95244

Independencia**Suma de Cuadrados Tipo III**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Zona	6,56333	3	2,18778	138,99	0,0000
Puntos (Zona)	0,0807407	8	0,0100926	0,64	0,7406
Profundidad (Puntos Zona)	50,2444	24	2,09352	133,00	0,0000
Residuo	1,13333	72	0,0157407		
Total (corregido)	58,0219	107			

R-Cuadrada = 98,0467 por ciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 97,0972 por ciento

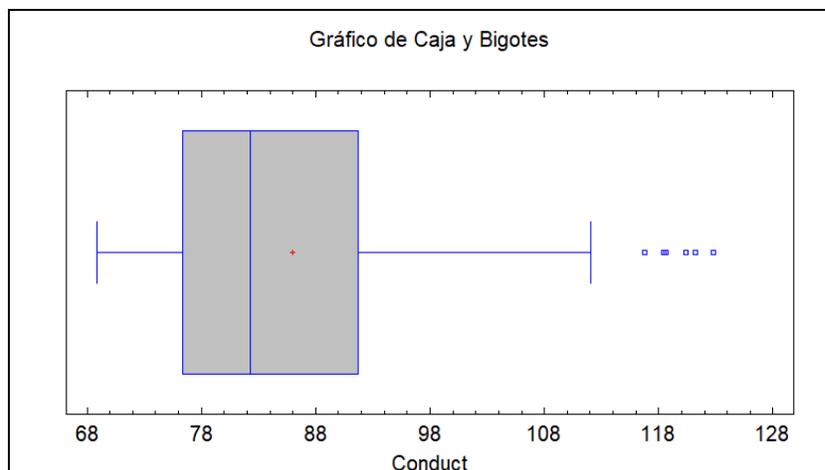
Error estándar del est. = 0,125462

Error medio absoluto = 0,0783951

Estadístico Durbin-Watson = 2,61078 (P=0,9994)

Conductividad**Pruebas de Normalidad**

Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	111,907	5,02931E-14
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,871664	1,29452E-13
Valor-Z para asimetría	3,01169	0,00259814



Homogeneidad de varianzas**Tabla ANOVA para Conductividad por Puntos**

<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	67,9035	2	33,9518	0,19	0,8254
Intra grupos	18543,2	105	176,602		
Total (Corr.)	18611,1	107			

Verificación de Varianza

<i>Prueba</i>		<i>Valor-P</i>
de Bartlett	1,0259 4	0,265061

Independencia**Suma de Cuadrados Tipo III**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	13219,7	3	4406,55	8058,04	0,0000
Puntos (Zona)	311,407	8	38,9259	71,18	0,0000
Profundidad (Puntos Zona)	5040,68	24	210,028	384,07	0,0000
Residuo	39,3733	72	0,546852		
Total (corregido)	18611,1	107			

R-Cuadrada = 99,7884 porciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,6856 porciento

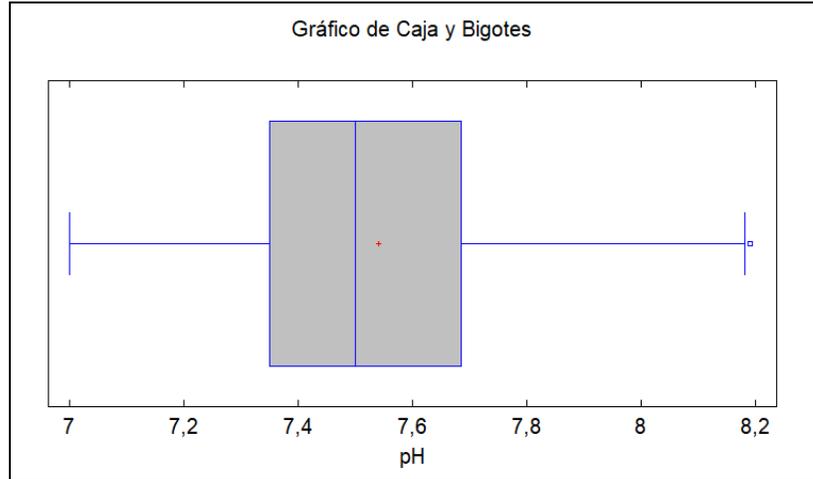
Error estándar del est. = 0,739494

Error medio absoluto = 0,410494

Estadístico Durbin-Watson = 2,37964 (P=0,9760)

pH**Pruebas de Normalidad**

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	52,6481	0,000254232
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,934914	0,000028343 4
Valor-Z para asimetría	1,18649	0,235428



Homogeneidad de varianzas

Tabla ANOVA para pH por Puntos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,00645185	2	0,00322593	0,03	0,9677
Intra grupos	10,3056	105	0,098149		
Total (Corr.)	10,3121	107			

Verificación de Varianza

	Prueba	Valor-P
de Bartlett	1,0004 5	0,976946

Independencia

Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Zona	5,40194	3	1,80065	2700,97	0,0000
Puntos (Zona)	0,0126963	8	0,00158704	2,38	0,0246
Profundidad (Puntos Zona)	4,84947	24	0,202061	303,09	0,0000
Residuo	0,048	72	0,000666667		
Total (corregido)	10,3121	107			

R-Cuadrada = 99,5345 por ciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,3083 por ciento

Error estándar del est. = 0,0258199

Error medio absoluto = 0,0159259

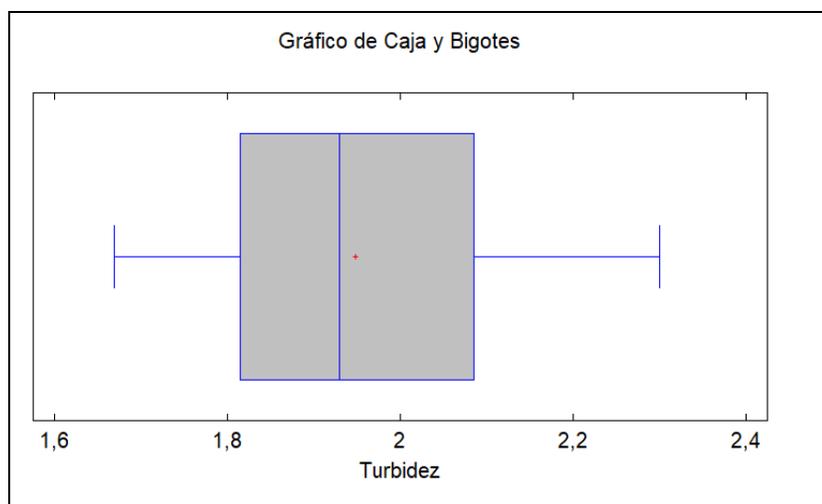
Estadístico Durbin-Watson = 2,6338 (P=0,9996)

Turbidez

Supuesto de Normalidad

Pruebas de Normalidad

Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	65,6111	0,00000318368
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,929954	0,00000704751
Valor-Z para asimetría	1,24443	0,213341



Homogeneidad de varianzas

Tabla ANOVA para Turbidez por Puntos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0293019	2	0,0146509	0,50	0,6104
Intra grupos	3,10153	105	0,0295384		
Total (Corr.)	3,13083	107			

Verificación de Varianza

Prueba		Valor-P
de Bartlett	1,00742	0,68176

Independencia**Suma de Cuadrados Tipo III**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	1,87087	3	0,623623	383,33	0,0000
Puntos (Zona)	0,0413185	8	0,00516481	3,17	0,0039
Profundidad (Puntos Zona)	1,10151	24	0,0458963	28,21	0,0000
Residuo	0,117133	72	0,00162685		
Total (corregido)	3,13083	107			

R-Cuadrada = 96,2587 por ciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 94,44 por ciento

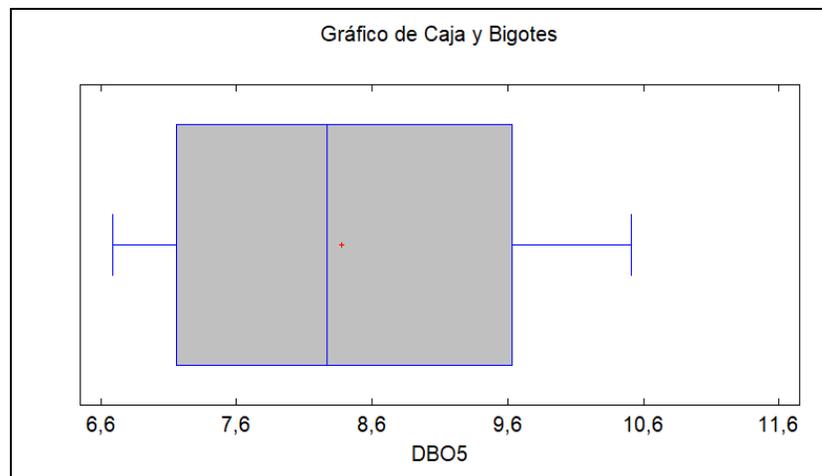
Error estándar del est. = 0,0403343

Error medio absoluto = 0,0190741

Estadístico Durbin-Watson = 2,36739 (P=0,9721)

DBO5**Pruebas de Normalidad**

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	83,1111	2,85638E-12
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,827765	0,000021263 1
Valor-Z para asimetría	0,319313	0,749485



Homogeneidad de varianza**Tabla ANOVA para DBO5 por Profundidad**

<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	0,101439	2	0,0507194	0,02	0,9765
Intra grupos	70,3474	33	2,13174		
Total (Corr.)	70,4488	35			

Verificación de Varianza

<i>Prueba</i>		<i>Valor-P</i>
de Bartlett	1,00168	0,973674

Independencia**Suma de Cuadrados Tipo III**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	70,0923	3	23,3641	3413,59	0,0000
Profundidad (Zona)	0,1922	8	0,024025	3,51	0,0080
Residuo	0,164267	24	0,00684444		
Total (corregido)	70,4488	35			

R-Cuadrada = 99,7668 por ciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,66 por ciento

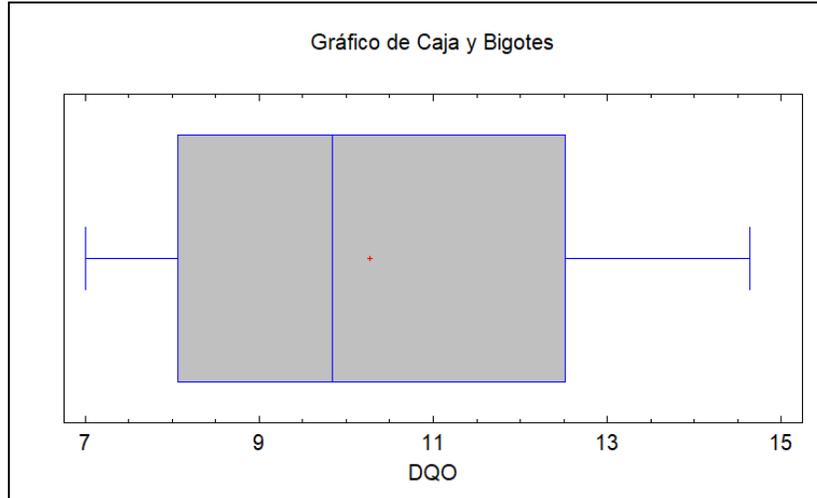
Error estándar del est. = 0,0827312

Error medio absoluto = 0,0407407

Estadístico Durbin-Watson = 1,47166 (P=0,1075)

DQO**Pruebas de Normalidad**

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	64,4444	8,31601E-9
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,855039	0,000132018
Valor-Z para asimetría	0,644239	0,519418



Homogeneidad de varianza

Tabla ANOVA para DQO por Profundidad

<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	0,398472	2	0,199236	0,03	0,9752
Intra grupos	261,927	33	7,93717		
Total (Corr.)	262,325	35			

Verificación de Varianza

<i>Prueba</i>		<i>Valor-P</i>
de Bartlett	1,00294	0,954468

Independencia

Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	259,454	3	86,4847	1105,98	0,0000
Profundidad (Zona)	0,994156	8	0,124269	1,59	0,1804
Residuo	1,87673	24	0,0781972		
Total (corregido)	262,325	35			

R-Cuadrada = 99,2846 por ciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 98,9567 por ciento

Error estándar del est. = 0,279638

Error medio absoluto = 0,151667

Estadístico Durbin-Watson = 1,52414 (P=0,1362)

D. Anexo: Análisis Estadístico para Oxígeno Disuelto (mg/L).**Tabla ANOVA para Oxígeno Disuelto por Zona**

<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	45,7869	3	15,2623	52,14	0,0000
Intra grupos	30,4447	104	0,292738		
Total (Corr.)	76,2316	107			

Análisis de varianza para Oxígeno Disuelto: Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	45,7869	3	15,2623	11040,37	0,0000
Puntos (Zona)	0,0248444	8	0,00310556	2,25	0,0335
Profundidad (Puntos Zona)	30,3204	24	1,26335	913,88	0,0000
Replicas (Profundidad Puntos Zona)	0,0995333	72	0,00138241		
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	76,2316	107			

Comparaciones Múltiples para Oxígeno Disuelto por Zona

Método: 95,0 por ciento HSD de Tukey

<i>Zona</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
3	27	6,91593	0,00715544	X
2	27	7,20852	0,00715544	X
1	27	7,43519	0,00715544	X
4	27	8,62889	0,00715544	X

Tabla ANOVA para Oxígeno Disuelto por Profundidad

<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	29,7057	2	14,8529	33,52	0,0000
Intra grupos	46,5259	105	0,443104		
Total (Corr.)	76,2316	107			

Pruebas de Múltiple Rangos para Oxígeno Disuelto por Profundidad

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Profundidad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
20	36	6,81278	X
10	36	7,82417	X
0	36	8,00444	X

E. Anexo: Análisis Estadístico para Temperatura (°C).**Tabla ANOVA para Temperatura por Zona**

<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	6,56333	3	2,18778	4,42	0,0057
Intra grupos	51,4585	104	0,494793		
Total (Corr.)	58,0219	107			

Análisis de varianza para Temperatura: Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	6,56333	3	2,18778	138,99	0,0000
Puntos (Zona)	0,0807407	8	0,0100926	0,64	0,7406
Profundidad (Puntos Zona)	50,2444	24	2,09352	133,00	0,0000
Replicas (Profundidad Puntos Zona)	1,13333	72	0,0157407		
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	58,0219	107			

Comparaciones Múltiples para Temperatura por Zona

Método: 95,0 por ciento HSD de Tukey

<i>Zona</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
4	27	16,2852	0,0241452	X
1	27	16,3037	0,0241452	X
2	27	16,5704	0,0241452	X
3	27	16,8926	0,0241452	X

Tabla ANOVA para Temperatura por Profundidad

<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	48,7235	2	24,3618	275,10	0,0000
Intra grupos	9,29833	105	0,0885556		
Total (Corr.)	58,0219	107			

Pruebas de Múltiple Rangos para Temperatura por Profundidad

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Profundidad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
20	36	15,6194	X
10	36	16,6806	X
0	36	17,2389	X

F. Anexo: Análisis Estadístico para Conductividad (CE).**Tabla ANOVA para Conductividad por Zona**

<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	13219,7	3	4406,55	85,00	0,0000
Intra grupos	5391,46	104	51,841		
Total (Corr.)	18611,1	107			

Análisis de varianza para Conductividad: Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	13219,7	3	4406,55	8058,04	0,0000
Puntos (Zona)	311,407	8	38,9259	71,18	0,0000
Profundidad (Puntos Zona)	5040,68	24	210,028	384,07	0,0000
Replicas (Profundidad Puntos Zona)	39,3733	72	0,546852		
Residuo	2,27702E-10	0			
Total (corregido)	18611,1	107			

Comparaciones Múltiples para Conductividad por Zona

Método: 95,0 por ciento HSD de Tukey

<i>Zona</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
4	27	75,7407	0,142316	X
1	27	77,4593	0,142316	X
2	27	87,237	0,142316	X
3	27	103,604	0,142316	X

Tabla ANOVA para Conductividad por Profundidad

<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	4008,37	2	2004,18	14,41	0,0000
Intra grupos	14602,7	105	139,074		
Total (Corr.)	18611,1	107			

Pruebas de Múltiple Rangos para Conductividad por Profundidad

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Profundidad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	36	78,7639	X
10	36	85,5972	X
20	36	93,6694	X

G. Anexo: Análisis Estadístico para pH.**Análisis de Varianza para pH**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	10,3121	107	0,0963748		
Residuo	0,0	0			
Total (Corr.)	10,3121	107			

Análisis de varianza para pH: Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	5,40194	3	1,80065	2700,97	0,0000
Puntos (Zona)	0,0126963	8	0,00158704	2,38	0,0246
Profundidad (Puntos Zona)	4,84947	24	0,202061	303,09	0,0000
Replicas (Profundidad Puntos Zona)	0,048	72	0,000666667		
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	10,3121	107			

Comparaciones Múltiples para pH por Zona

Método: 95,0 por ciento HSD de Tukey

<i>Zona</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
3	27	7,30444	0,00496904	X
2	27	7,42111	0,00496904	X
1	27	7,53296	0,00496904	X
4	27	7,90111	0,00496904	X

Tabla ANOVA para pH por Profundidad

<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	4,51148	2	2,25574	40,83	0,0000
Intra grupos	5,80062	105	0,055244		
Total (Corr.)	10,3121	107			

Pruebas de Múltiple Rangos para pH por Profundidad

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Profundidad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
20	36	7,27444	X
10	36	7,57361	X
0	36	7,77167	X

H. Anexo: Análisis Estadístico para Turbidez (UNT).**Tabla ANOVA para Turbidez por Zona**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1,87087	3	0,623623	51,48	0,0000
Intra grupos	1,25996	104	0,012115		
Total (Corr.)	3,13083	107			

Análisis de varianza para Turbidez: Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	1,87087	3	0,623623	383,33	0,0000
Puntos (Zona)	0,0413185	8	0,00516481	3,17	0,0039
Profundidad (Puntos Zona)	1,10151	24	0,0458963	28,21	0,0000
Replicas (Profundidad Puntos Zona)	0,117133	72	0,00162685		
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	3,13083	107			

Comparaciones Múltiples para Turbidez por Zona

Método: 95,0 porciento HSD de Tukey

<i>Zona</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
4	27	1,82963	0,00776233	X
1	27	1,84815	0,00776233	X
2	27	1,95519	0,00776233	X
3	27	2,16074	0,00776233	X

Tabla ANOVA para Turbidez por Profundidad

<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	0,91223	2	0,456115	21,59	0,0000
Intra grupos	2,2186	105	0,0211296		
Total (Corr.)	3,13083	107			

Pruebas de Múltiple Rangos para Turbidez por Profundidad

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Profundidad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	36	1,84639	X
10	36	1,92972	X
20	36	2,06917	X

I. Anexo: Análisis Estadístico para Demanda biológica de oxígeno (DBO₅).**Tabla ANOVA para DBO5 por Zona**

<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	70,0923	3	23,3641	2097,40	0,0000
Intra grupos	0,356467	32	0,0111396		
Total (Corr.)	70,4488	35			

Análisis de varianza para DBO5: Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	70,0923	3	23,3641	3413,59	0,0000
Profundidad (Zona)	0,1922	8	0,024025	3,51	0,0080
Puntos (Profundidad Zona)	0,164267	24	0,00684444		
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	70,4488	35			

Comparaciones Múltiples para DBO5 por Zona

Método: 95,0 porciento HSD de Tukey

<i>Zona</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
4	9	6,79778	0,0275771	X
1	9	7,29444	0,0275771	X
2	9	9,18667	0,0275771	X
3	9	10,2389	0,0275771	X

Tabla ANOVA para DBO5 por Profundidad

<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	0,101439	2	0,0507194	0,02	0,9765
Intra grupos	70,3474	33	2,13174		
Total (Corr.)	70,4488	35			

J. Anexo: Análisis Estadístico para Demanda química de oxígeno (DQO).**Tabla ANOVA para DQO por Zona**

<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	259,454	3	86,4847	963,99	0,0000
Intra grupos	2,87089	32	0,0897153		
Total (Corr.)	262,325	35			

Análisis de varianza para DQO: Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	259,454	3	86,4847	1105,98	0,0000
Profundidad (Zona)	0,994156	8	0,124269	1,59	0,1804
Puntos (Profundidad Zona)	1,87673	24	0,0781972		
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	262,325	35			

Comparaciones Múltiples para DQO por Zona

Método: 95,0 por ciento HSD de Tukey

<i>Zona</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
4	9	7,26667	0,0932126	X
1	9	8,34111	0,0932126	X
2	9	11,36	0,0932126	X
3	9	14,13	0,0932126	X

Tabla ANOVA para DQO por Profundidad

<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	0,398472	2	0,199236	0,03	0,9752
Intra grupos	261,927	33	7,93717		
Total (Corr.)	262,325	35			

L. Anexo: Promedios, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de nutrientes del agua en las zonas y puntos de muestreo.

Amonio (mg/L)				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
0 Metros	0,04	0,05	0,06	0,03
10 Metros	0,04	0,04	0,05	0,03
20 Metros	0,03	0,02	0,03	0,03
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3	Desvest 3
0 Metros	0,00	0,00	0,00	0,00
10 Metros	0,01	0,01	0,01	0,00
20 Metros	0,00	0,00	0,01	0,00
	Error estan	Error estan	Error estan	Error estan
0 Metros	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10 Metros	0,0041	0,0041	0,0041	0,0000
20 Metros	0,0000	0,0000	0,0071	0,0000
	cof varia	cof varia	cof varia	cof varia
0 Metros	0,00	0,00	0,00	0,00
10 Metros	15,75	15,75	12,37	0,00
20 Metros	0,00	0,00	33,33	0,00

Nitritos (mg/L)				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
0 Metros	0,0045	0,0049	0,0060	0,0040
10 Metros	0,0046	0,0055	0,0062	0,0041
20 Metros	0,0053	0,0053	0,0068	0,0046
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3	Desvest 3
0 Metros	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001
10 Metros	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000
20 Metros	0,0006	0,0001	0,0001	0,0001
	Error estan	Error estan	Error estan	Error estan
0 Metros	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
10 Metros	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000
20 Metros	0,0004	0,0000	0,0000	0,0000
	coef varia	coefi varia	coefi variac	coefi variac
0 Metros	0,00	1,17	0,96	1,46
10 Metros	0,00	1,06	1,62	0,00
20 Metros	0,00	1,08	0,85	1,26

Nitratos (mg/L)				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
0 Metros	0,23	0,41	0,47	0,20
10 Metros	0,30	0,45	0,54	0,30
20 Metros	0,34	0,47	0,58	0,32
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3	Desvest 3
0 Metros	0,01	0,02	0,01	0,01
10 Metros	0,01	0,01	0,01	0,01
20 Metros	0,01	0,01	0,01	0,02
	Error estan	Error estan	Error estan	Error estan
0 Metros	0,0041	0,0108	0,0041	0,0041
10 Metros	0,0041	0,0041	0,0071	0,0071
20 Metros	0,0082	0,0041	0,0082	0,0108
	coef varia	coefi varia	coefi variac	coefi variac
0 Metros	2,55	3,70	1,24	2,84
10 Metros	1,90	1,29	1,85	3,33
20 Metros	3,36	1,22	1,98	4,82

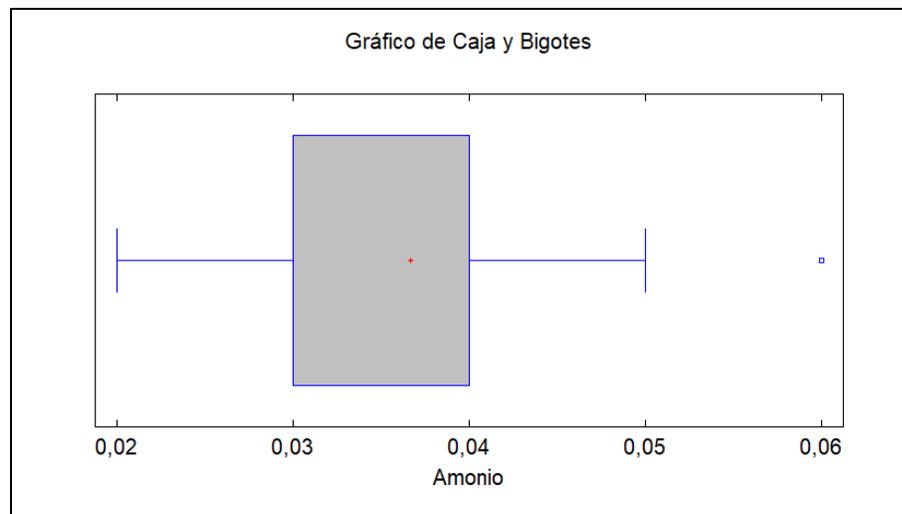
Fósforo total (mg/L)				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
0 Metros	0,020	0,032	0,068	0,016
10 Metros	0,022	0,044	0,069	0,016
20 Metros	0,023	0,052	0,063	0,016
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3	Desvest 3
0 Metros	0,00	0,00	0,00	0,00
10 Metros	0,00	0,00	0,00	0,00
20 Metros	0,00	0,00	0,01	0,00
	Error estan	Error estan	Error estan	Error estan
0 Metros	0,000	0,001	0,000	0,000
10 Metros	0,001	0,003	0,000	0,000
20 Metros	0,002	0,002	0,004	0,000
	coef varia	cof varia	cof varia	cof varia
0 Metros	0,00	4,82	0,84	0,00
10 Metros	9,61	10,41	0,84	0,00
20 Metros	10,19	5,09	9,12	0,00

M. Anexo: Supuestos estadísticos para cada variable de nutrientes en el agua.

Amonio

Pruebas de Normalidad

Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	122,222	0,0
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,880424	0,000784514
Valor-Z para asimetría	1,07201	0,283714



Homogeneidad de varianza

Tabla ANOVA para Amonio por Profundidad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,00185	2	0,000925	11,97	0,0001
Intra grupos	0,00255	33	0,0000772727		
Total (Corr.)	0,0044	35			

Verificación de Varianza

Prueba		Valor-P
de Bartlett	1,15513	0,101555

Independencia**Suma de Cuadrados Tipo III**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	0,00113333	3	0,000377778	22,67	0,0000
Profundidad (Zona)	0,00286667	8	0,000358333	21,50	0,0000
Residuo	0,0004	24	0,0000166667		
Total (corregido)	0,0044	35			

R-Cuadrada = 90,9091 por ciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 86,7424 por ciento

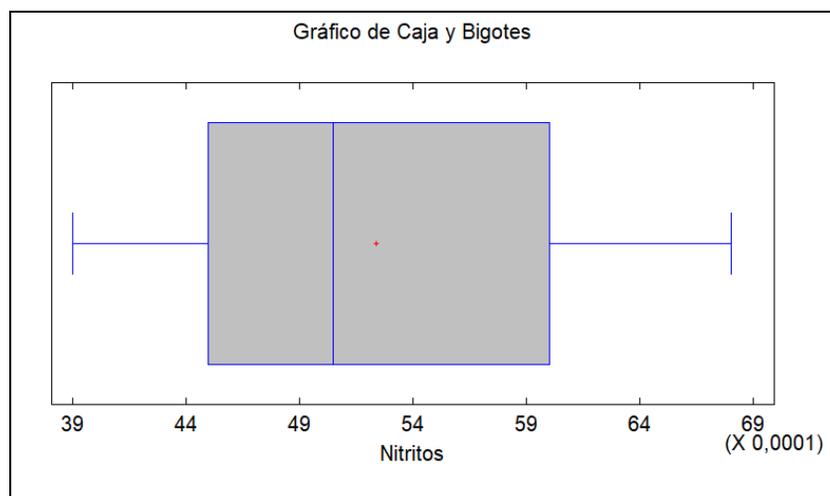
Error estándar del est. = 0,00408248

Error medio absoluto = 0,00166667

Estadístico Durbin-Watson = 2,0 (P=0,5584)

Nitritos**Pruebas de Normalidad**

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	32,4444	0,00206333
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,915063	0,0100831
Valor-Z para asimetría	0,311255	0,755603



Homogeneidad de varianza**Tabla ANOVA para Nitritos por Profundidad**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razó n-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,00000384222	2	0,00000192111	2,62	0,0879
Intra grupos	0,0000242008	33	7,33359E-7		
Total (Corr.)	0,0000280431	35			

Verificación de Varianza

<i>Prueba</i>		<i>Valor-P</i>
de Bartlett	1,00363	0,94411

Independencia**Suma de Cuadrados Tipo III**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	0,0000228831	3	0,00000762769	172,70	0,0000
Profundidad (Zona)	0,0000041	8	5,125E-7	11,60	0,0000
Residuo	0,00000106	24	4,41667E-8		
Total (corregido)	0,0000280431	35			

R-Cuadrada = 96,2201 por ciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 94,4876 por ciento

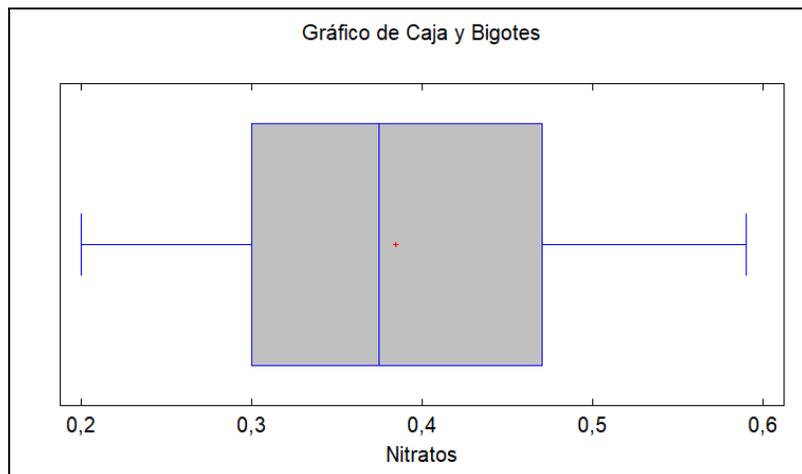
Error estándar del est. = 0,000210159

Error medio absoluto = 0,000105556

Estadístico Durbin-Watson = 2,3218 (P=0,8371)

Nitratos**Pruebas de Normalidad**

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	17,3333	0,184511
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,937304	0,0540939
Valor-Z para asimetría	0,175952	0,860327



Homogeneidad de varianza

Tabla ANOVA para Nitratos por Profundidad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0649556	2	0,0324778	2,55	0,0931
Intra grupos	0,419742	33	0,0127194		
Total (Corr.)	0,484697	35			

Verificación de Varianza

Prueba		Valor-P
de Bartlett	1,00489	0,925583

Independencia

Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Zona	0,412586	3	0,137529	1456,19	0,0000
Profundidad (Zona)	0,0698444	8	0,00873056	92,44	0,0000
Residuo	0,00226667	24	0,0000944444		
Total (corregido)	0,484697	35			

R-Cuadrada = 99,5324 por ciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,318 por ciento

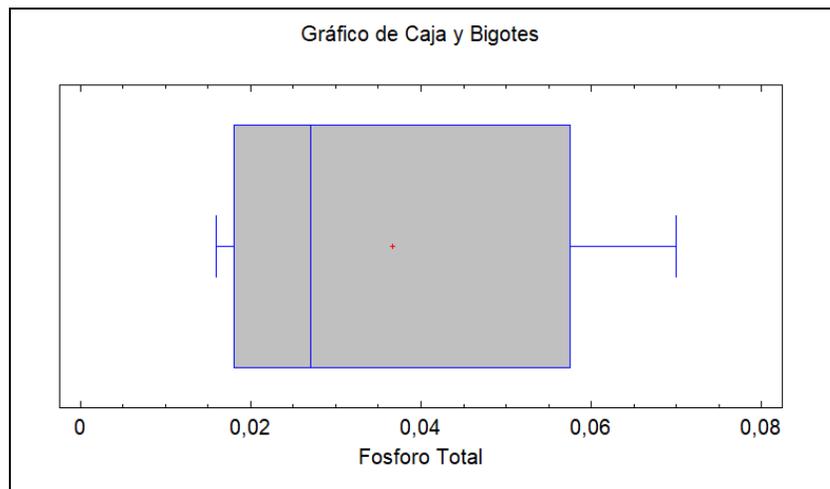
Error estándar del est. = 0,00971825

Error medio absoluto = 0,00666667

Estadístico Durbin-Watson = 1,88725 (P=0,4427)

Fosforo Total**Pruebas de Normalidad**

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	40,4444	0,000117208
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,811986	0,00000769489
Valor-Z para asimetría	0,954226	0,339968

**Homogeneidad de varianza****Tabla ANOVA para Fosforo Total por Profundidad**

<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	0,000135722	2	0,0000678611	0,15	0,8628
Intra grupos	0,0151079	33	0,000457816		
Total (Corr.)	0,0152436	35			

Verificación de Varianza

<i>Prueba</i>		<i>Valor-P</i>
de Bartlett	1,00081	0,987226

Independencia**Suma de Cuadrados Tipo III**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	0,0144016	3	0,00480055	778,47	0,0000
Profundidad (Zona)	0,000694	8	0,00008675	14,07	0,0000

Residuo	0,000148	24	0,00000616667		
Total (corregido)	0,0152436	35			

R-Cuadrada = 99,0291 por ciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 98,5841 por ciento

Error estándar del est. = 0,00248328

Error medio absoluto = 0,00125926

Estadístico Durbin-Watson = 1,47748 (P=0,1105)

N. Anexo: Análisis Estadístico para Amonio (mg/L).**Tabla ANOVA para Amonio por Zona**

<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	0,00113333	3	0,000377778	3,70	0,0216
Intra grupos	0,00326667	32	0,000102083		
Total (Corr.)	0,0044	35			

Análisis de varianza para Amonio: Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	0,00113333	3	0,000377778	22,67	0,0000
Profundidad(Zona)	0,00286667	8	0,000358333	21,50	0,0000
Puntos (Profundidad Zona)	0,0004	24	0,0000166667		
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	0,0044	35			

Comparaciones Múltiples para Amonio por Zona

Método: 95,0 porciento HSD de Tukey

<i>Zona</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
4	9	0,03	0,00136083	X
1	9	0,0355556	0,00136083	X
2	9	0,0355556	0,00136083	X
3	9	0,0455556	0,00136083	X

Tabla ANOVA para Amonio por Profundidad

<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	0,00185	2	0,000925	11,97	0,0001
Intra grupos	0,00255	33	0,0000772727		
Total (Corr.)	0,0044	35			

Pruebas de Múltiple Rangos para Amonio por Profundidad

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Profundidad</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
20	12	0,0275	X
10	12	0,0375	X
0	12	0,045	X

Ñ. Anexo: Análisis Estadístico para Nitritos (mg/L).

Tabla ANOVA para Nitritos por Zona

<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	0,0000228831	3	0,00000762769	47,30	0,0000
Intra grupos	0,00000516	32	1,6125E-7		
Total (Corr.)	0,0000280431	35			

Análisis de varianza para Nitritos: Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	0,0000228831	3	0,00000762769	172,70	0,0000
Profundidad (Zona)	0,0000041	8	5,125E-7	11,60	0,0000
Puntos (Profundidad Zona)	0,00000106	24	4,41667E-8		
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	0,0000280431	35			

Comparaciones Múltiples para Nitritos por Zona

Método: 95,0 por ciento HSD de Tukey

<i>Zona</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
4	9	0,00421111	0,0000700529	X
1	9	0,00482222	0,0000700529	X
2	9	0,00557778	0,0000700529	X
3	9	0,00633333	0,0000700529	X

Tabla ANOVA para Nitritos por Profundidad

<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	0,00000384222	2	0,00000192111	2,62	0,0879
Intra grupos	0,0000242008	33	7,33359E-7		
Total (Corr.)	0,0000280431	35			

O. Anexo: Análisis Estadístico para Nitratos (mg/L).**Tabla ANOVA para Nitratos por Zona**

<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	0,412586	3	0,137529	61,03	0,0000
Intra grupos	0,0721111	32	0,00225347		
Total (Corr.)	0,484697	35			

Análisis de varianza para Nitratos: Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	0,412586	3	0,137529	1456,19	0,0000
Profundidad (Zona)	0,0698444	8	0,00873056	92,44	0,0000
Puntos (Profundidad Zona)	0,00226667	24	0,0000944444		
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	0,484697	35			

Comparaciones Múltiples para Nitratos por Zona

Método: 95,0 porciento HSD de Tukey

<i>Zona</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
4	9	0,273333	0,00323942	X
1	9	0,291111	0,00323942	X
2	9	0,444444	0,00323942	X
3	9	0,53	0,00323942	X

Tabla ANOVA para Nitratos por Profundidad

<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	0,0649556	2	0,0324778	2,55	0,0931
Intra grupos	0,419742	33	0,0127194		
Total (Corr.)	0,484697	35			

P. Anexo: Análisis Estadístico para Fosforo Total (mg/L).**Tabla ANOVA para Fosforo Total por Zona**

<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	0,0144016	3	0,00480055	182,44	0,0000
Intra grupos	0,000842	32	0,0000263125		
Total (Corr.)	0,0152436	35			

Análisis de varianza Fosforo Total: Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón -F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	0,0144016	3	0,00480055	778,47	0,0000
Profundidad (Zona)	0,000694	8	0,00008675	14,07	0,0000
Puntos (Profundidad Zona)	0,000148	24	0,00000616667		
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	0,0152436	35			

Comparaciones Múltiples para Fosforo Total por Zona

Método: 95,0 por ciento HSD de Tukey

<i>Zona</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
4	9	0,016	0,000827759	X
1	9	0,0214444	0,000827759	X
2	9	0,0425556	0,000827759	X
3	9	0,0667778	0,000827759	X

Tabla ANOVA para Fosforo Total por Profundidad

<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	0,000135722	2	0,0000678611	0,15	0,8628
Intra grupos	0,0151079	33	0,000457816		
Total (Corr.)	0,0152436	35			

Q. Anexo: Datos de Nutrientes del sedimento en las zonas y puntos de muestreo.

Zona 1	CULTIVO EXTENSIVO								
Medición	PUNTO 1			PUNTO 2			PUNTO 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Nitrogeno total (NT) mgN/kg	7687	7628	7580	7594	7660	7630	7615	7634	7571
Materia Orgánica (%)	4,99	5,17	5,06	5,00	4,94	5,13	5,15	5,09	4,91
Carbono organico Total (COT) mg/kg	28939	29965	29634	28731	28890	28995	29954	29612	28921
Fosforo total (PT) mgP/kg	172,18	181,30	167,26	179,35	169,50	166,24	175,09	166,10	167,49

Zona 2	CULTIVO SEMI-INTENSIVO								
Medición	PUNTO 1			PUNTO 2			PUNTO 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Nitrogeno total (NT) mgN/kg	9106	9898	9501	9178	9638	9731	9836	9762	9142
Materia Orgánica (%)	5,65	5,57	5,75	5,59	5,66	5,49	5,61	5,69	5,80
Carbono organico Total (COT) mg/kg	32763	32308	32572	32728	32298	32476	32818	32367	32872
Fosforo total (PT) mgP/kg	231,04	259,10	223,00	266,95	271,26	229,61	269,06	221,73	247,35

Zona 3	CULTIVO INTENSIVO								
Medición	PUNTO 1			PUNTO 2			PUNTO 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Nitrogeno total (NT) mgN/kg	11530	11364	11729	11661	11490	11381	11752	11327	11546
Materia Orgánica (%)	5,76	5,77	5,86	5,72	5,75	5,83	5,71	5,79	5,84
Carbono organico Total (COT) mg/kg	33445	33231	33648	33393	33415	33484	33265	33452	33567
Fosforo total (PT) mgP/kg	979,03	1057,77	1071,98	982,51	980,64	1068,36	1021,96	1053,16	1054,73

Zona 4	PUNTO CONTROL								
Medición	PUNTO 1			PUNTO 2			PUNTO 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Nitrogeno total (NT) mgN/kg	6535	6348	6983	6581	6291	6739	6374	6603	6935
Materia Orgánica (%)	4,68	4,97	4,55	4,69	4,57	4,82	4,93	4,50	4,76
Carbono organico Total (COT) mg/kg	27127	28801	27462	27954	28791	28863	27138	27175	28269
Fosforo total (PT) mgP/kg	154,31	154,64	152,09	157,33	159,06	153,78	156,07	154,66	157,43

R. Anexo: Promedios, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de nutrientes del sedimento en las zonas y puntos de muestreo.

% de Materia Orgánica				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Valor	5,048	5,645	5,781	4,718
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3	Desvest 3
Valor	0,093	0,094	0,053	0,165
	Error estan	Error estan	Error estan	Error estan
Valor	0,031	0,031	0,018	0,055
	coefi variac	coefi variac	coefi variac	coefi variac
Valor	1,846	1,671	0,919	3,501

Carbono organico Total (COT) mg/kg				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Valor	29293	32578	33433	27953
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3	Desvest 3
Valor	492,12	225,57	131,48	753,46
	Error estan	Error estan	Error estan	Error estan
Valor	164,04	75,19	43,83	251,15
	coefi variac	coefi variac	coefi variac	coefi variac
Valor	1,68	0,69	0,39	2,70

Nitrogeno total (NT) mgN/kg				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Valor	7622,12	9532,44	11506,40	6598,72
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3	Desvest 3
Valor	37,32	314,16	148,69	248,23
	Error estan	Error estan	Error estan	Error estan
Valor	12,44	104,72	49,56	82,74
	coefi variac	coefi variac	coefi variac	coefi variac
Valor	0,49	3,30	1,29	3,76

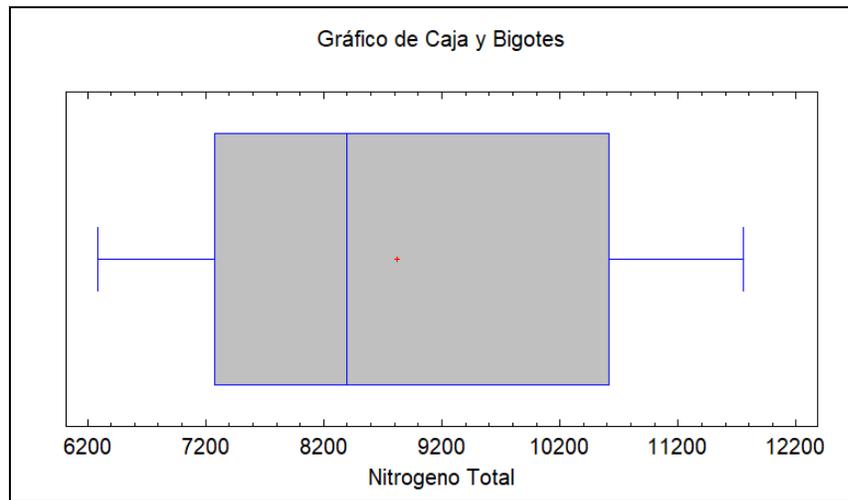
Fosforo total (PT) mgP/kg				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Valor	172	247	1030	155
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3	Desvest 3
Valor	5,76	20,58	39,54	2,17
	Error estan	Error estan	Error estan	Error estan
Valor	1,92	6,86	13,18	0,72
	coefi variac	coefi variac	coefi variac	coefi variac
Valor	3,36	8,35	3,84	1,39

S. Anexo: Supuestos estadísticos para cada variable de nutrientes del sedimento.

Nitrógeno Total

Pruebas de Normalidad

Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	66,2222	3,95065E-9
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,872221	0,000437209
Valor-Z para asimetría	0,544777	0,585904



Homogeneidad de varianzas

Tabla ANOVA para Nitrógeno Total por Puntos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	11556,1	2	5778,03	0,00	0,9985
Intra grupos	1,29519E8	33	3,92483E6		
Total (Corr.)	1,29531E8	35			

Verificación de Varianza

Prueba		Valor-P
de Bartlett	1,00001	0,999855

Independencia**Suma de Cuadrados Tipo III**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	1,28038E8	3	4,26794E7	700,70	0,0000
Puntos (Zona)	30972,9	8	3871,61	0,06	0,9998
Residuo	1,46183E6	24	60909,7		
Total (corregido)	1,29531E8	35			

R-Cuadrada = 98,8714 por ciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 98,3542 por ciento

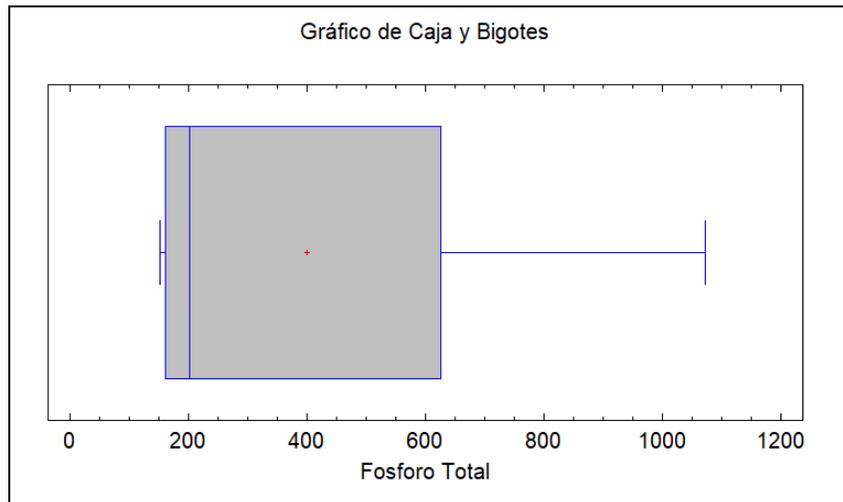
Error estándar del est. = 246,799

Error medio absoluto = 153,037

Estadístico Durbin-Watson = 2,46021 (P=0,2810)

Fosforo Total**Pruebas de Normalidad**

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	180,0	0,0
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,620745	2,07394E-10
Valor-Z para asimetría	1,96048	0,049939



Homogeneidad de varianzas**Tabla ANOVA para Fosforo Total por Puntos**

<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	157,937	2	78,9684	0,00	0,9995
Intra grupos	4,8077E6	33	145688,		
Total (Corr.)	4,80786E6	35			

Verificación de Varianza

<i>Prueba</i>		<i>Valor-P</i>
de Bartlett	1,00068	0,989327

Independencia**Suma de Cuadrados Tipo III**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	4,79166E6	3	1,59722E6	2762,98	0,0000
Puntos (Zona)	2326,41	8	290,801	0,50	0,8419
Residuo	13873,9	24	578,078		
Total (corregido)	4,80786E6	35			

R-Cuadrada = 99,7114 por ciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,5792 por ciento

Error estándar del est. = 24,0432

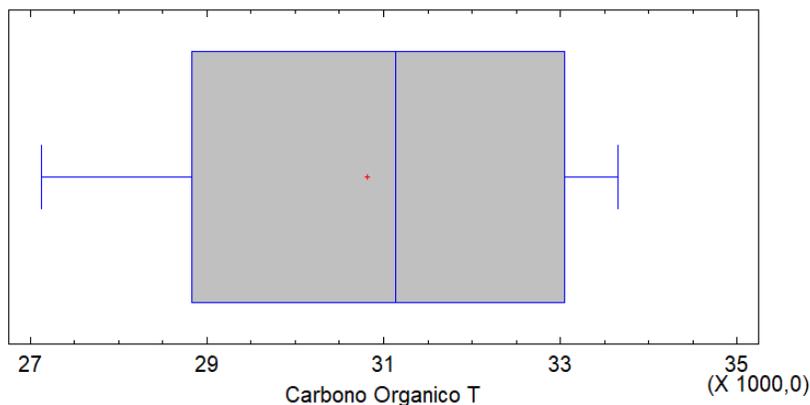
Error medio absoluto = 13,0707

Estadístico Durbin-Watson = 2,85815 (P=0,8196)

Carbono Orgánico Total**Pruebas de Normalidad**

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	40,4444	0,000117208
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,844998	0,000066701
Valor-Z para asimetría	0,339382	0,734318

Gráfico de Caja y Bigotes

**Homogeneidad de varianzas****Tabla ANOVA para Carbono Orgánico Total por Puntos**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	17222,7	2	8611,36	0,00	0,9985
Intra grupos	1,9122E8	33	5,79456E6		
Total (Corr.)	1,91238E8	35			

Verificación de Varianza

Prueba		Valor-P
de Bartlett	1,00389	0,940213

Independencia**Suma de Cuadrados Tipo III**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Zona	1,84213E8	3	6,14043E7	325,13	0,0000
Puntos (Zona)	2,49204E6	8	311505,	1,65	0,1632
Residuo	4,53269E6	24	188862,		
Total (corregido)	1,91238E8	35			

R-Cuadrada = 97,6298 por ciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 96,5435 por ciento

Error estándar del est. = 434,583

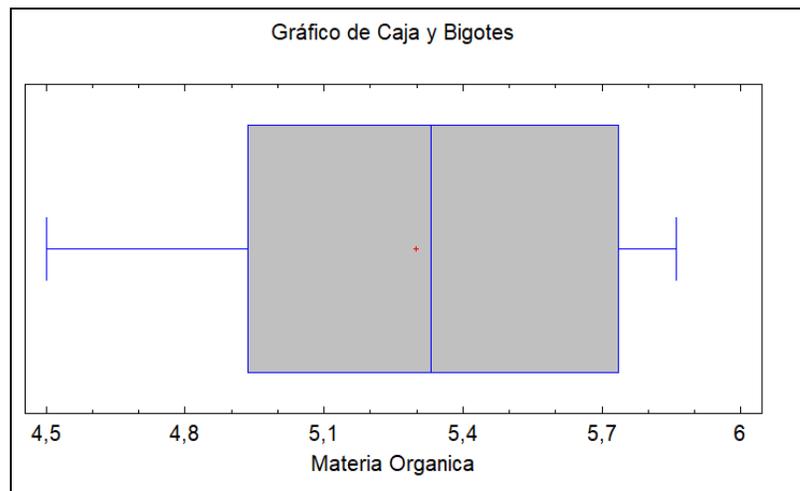
Error medio absoluto = 268,315

Estadístico Durbin-Watson = 2,59368 (P=0,4623)

Materia Orgánica

Pruebas de Normalidad

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	31,5556	0,00279448
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,875412	0,000548328
Valor-Z para asimetría	0,512684	0,608169



Homogeneidad de varianzas

Tabla ANOVA para Materia Orgánica por Puntos

<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	0,0193389	2	0,00966944	0,04	0,9563
Intra grupos	7,12969	33	0,216051		
Total (Corr.)	7,14903	35			

Verificación de Varianza

<i>Prueba</i>		<i>Valor-P</i>
de Bartlett	1,00061	0,990375

Independencia**Suma de Cuadrados Tipo III**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	6,76454	3	2,25485	152,76	0,0000
Puntos (Zona)	0,0302222	8	0,00377778	0,26	0,9742
Residuo	0,354267	24	0,0147611		
Total (corregido)	7,14903	35			

R-Cuadrada = 95,0445 porciento

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 92,7733 porciento

Error estándar del est. = 0,121495

Error medio absoluto = 0,0787037

Estadístico Durbin-Watson = 2,68059 (P=0,5904)

T. Anexo: Análisis Estadístico para Nitrógeno Total (mgN/kg).**Tabla ANOVA para Nitrógeno Total por Zona**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1,28038E8	3	4,26794E7	914,88	0,0000
Intra grupos	1,49281E6	32	46650,2		
Total (Corr.)	1,29531E8	35			

Análisis de varianza para Nitrógeno Total: Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	1,28038E8	3	4,26794E7	700,70	0,0000
Puntos (Zona)	30972,9	8	3871,61	0,06	0,9998
Replicas (Puntos Zona)	1,46183E6	24	60909,7		
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	1,29531E8	35			

Comparaciones Múltiples para Nitrógeno Total por Zona

Método: 95,0 porciento HSD de Tukey

<i>Zona</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
4	9	6598,78	82,2663	X
1	9	7622,11	82,2663	X
2	9	9532,44	82,2663	X
3	9	11531,1	82,2663	X

U. Anexo: Análisis Estadístico para Fosforo Total (mgP/kg).**Tabla ANOVA para Fosforo Total por Zona**

<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	4,79166E6	3	1,59722E6	3154,95	0,0000
Intra grupos	16200,3	32	506,259		
Total (Corr.)	4,80786E6	35			

Análisis de varianza para Fosforo Total: Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	4,79166E6	3	1,59722E6	2762,98	0,0000
Puntos (Zona)	2326,41	8	290,801	0,50	0,8419
Replicas (Puntos Zona)	13873,9	24	578,078		
Residuo	2,82662E-9	0			
Total (corregido)	4,80786E6	35			

Comparaciones Múltiples para Fosforo Total por Zona

Método: 95,0 por ciento HSD de Tukey

<i>Zona</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
4	9	155,486	8,01442	X
1	9	171,612	8,01442	X
2	9	246,567	8,01442	X
3	9	1030,02	8,01442	X

V. Anexo: Análisis Estadístico para Carbono orgánico Total (mg/kg).**Tabla ANOVA para Carbono Orgánico Total por Zona**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1,84213E8	3	6,14043E7	279,72	0,0000
Intra grupos	7,02473E6	32	219523,		
Total (Corr.)	1,91238E8	35			

Análisis de varianza Carbono Orgánico Total: Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	1,84213E8	3	6,14043E7	325,13	0,0000
Puntos (Zona)	2,49204E6	8	311505,	1,65	0,1632
Replicas (Puntos Zona)	4,53269E6	24	188862,		
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	1,91238E8	35			

Comparaciones Múltiples para Carbono Orgánico T por Zona

Método: 95,0 por ciento HSD de Tukey

<i>Zona</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
4	9	27953,3	144,861	X
1	9	29293,4	144,861	X
2	9	32578,0	144,861	X
3	9	33433,3	144,861	X

W. Anexo: Análisis Estadístico para Materia orgánica (%).**Tabla ANOVA para Materia Orgánica por Zona**

<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	6,76454	3	2,25485	187,67	0,0000
Intra grupos	0,384489	32	0,0120153		
Total (Corr.)	7,14903	35			

Análisis de varianza para Materia orgánica: Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Zona	6,76454	3	2,25485	152,76	0,0000
Puntos (Zona)	0,0302222	8	0,00377778	0,26	0,9742
Replicas (Puntos Zona)	0,354267	24	0,0147611		
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	7,14903	35			

Comparaciones Múltiples para Materia Orgánica por Zona

Método: 95,0 por ciento HSD de Tukey

<i>Zona</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
4	9	4,71889	0,0404984	X
1	9	5,04889	0,0404984	X
2	9	5,64556	0,0404984	X
3	9	5,78111	0,0404984	X

X. Anexo: Datos de unidades formadora de colonia (UFC) de y cálculo de proporciones BOA y BON del sedimento en las zonas y puntos de muestreo.

Zona 1	CULTIVO EXTENSIVO								
Medición	PUNTO 1			PUNTO 2			PUNTO 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Bacterias Oxidantes de Amonio (AOB) UFC	340	336	332	320	321	326	330	336	331
Bacterias Oxidantes de Nitritos (NOB) UFC	97000	120000	99000	130000	110000	94000	96000	140000	98000

Zona 2	CULTIVO SEMIINTENSIVO								
Medición	PUNTO 1			PUNTO 2			PUNTO 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Bacterias Oxidantes de Amonio (AOB) UFC	1240	1260	1300	1280	1230	1400	1370	1210	1270
Bacterias Oxidantes d Nitritos (NOB) UFC	210000	230000	215000	240000	257000	226000	251000	220000	210000

Zona 3	CULTIVO INTENSIVO								
Medición	PUNTO 1			PUNTO 2			PUNTO 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Bacterias Oxidantes de Amonio (AOB) UFC	2400	5000	3200	4300	2100	4300	2700	6000	7600
Bacterias Oxidantes de Nitritos (NOB) UFC	300000	270000	310000	260000	290000	320000	300000	280000	315000

Zona 4	PUNTO CONTROL								
Medición	PUNTO 1			PUNTO 2			PUNTO 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Bacterias Oxidantes de Amonio (AOB) UFC	295	289	280	300	320	290	310	300	315
Bacterias Oxidantes de Nitritos (NOB) UFC	50000	80000	60000	70000	40000	50000	30000	80000	70000

Calculo de proporciones BOA/BON (%)			
Zona 1 (Cultivo extensivo)	Zona 2 (Cultivo semi-intensivo)	Zona 3 (Cultivo Intensivo)	Zona 4 (Punto control)
0,35	0,59	0,80	0,59
0,28	0,55	1,85	0,36
0,34	0,60	1,03	0,47
0,25	0,53	1,65	0,43
0,29	0,48	0,72	0,80
0,35	0,62	1,34	0,58
0,34	0,55	0,90	1,03
0,24	0,55	2,14	0,38
0,34	0,60	2,41	0,45

Y. **Anexo:** Prueba no paramétrica Kruskal-Wallis para cada población de bacterias nitrificantes y Prueba *t* de Student para las proporciones de bacterias en parejas de zonas.

Tabla ANOVA para Proporciones de BOA y BON por ZONAS

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	6,45054	3	2,15018	19,89	0,0000
Intra grupos	3,45911	32	0,108097		
Total (Corr.)	9,90966	35			

Prueba de Kruskal-Wallis para Proporciones de BOA y BON por ZONAS

ZONAS	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	9	5,0
2	9	19,8333
3	9	31,4444
4	9	17,7222

Estadístico = 28,6039 Valor-P = 0,00000271237

Comparación de Dos Muestras - Zona 1 y Zona 2

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 <> media2

Suponiendo varianzas iguales: $t = -12,2845$ valor-P = 1,4641E-9

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Comparación de Dos Muestras - Zona 1 y Zona 3

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: $\text{media1} <> \text{media2}$

Suponiendo varianzas iguales: $t = -5,42655$ valor-P = 0,0000559606

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

Comparación de Dos Muestras - Zona 1 y Zona 4

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: $\text{media1} = \text{media2}$

Hipótesis Alt.: $\text{media1} <> \text{media2}$

Suponiendo varianzas iguales: $t = -3,42344$ valor-P = 0,00348349

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

Comparación de Dos Muestras - Zona 2 y Zona 3

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: $\text{media1} = \text{media2}$

Hipótesis Alt.: $\text{media1} <> \text{media2}$

Suponiendo varianzas iguales: $t = -4,19162$ valor-P = 0,000690491

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

Comparación de Dos Muestras - Zona 2 y Zona 4

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: $\text{media1} = \text{media2}$

Hipótesis Alt.: $\text{media1} <> \text{media2}$

Suponiendo varianzas iguales: $t = -0,0296581$ valor-P = 0,976707

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

Comparación de Dos Muestras - Zona 3 y Zona 4

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: $\text{media1} = \text{media2}$

Hipótesis Alt.: $\text{media1} <> \text{media2}$

Suponiendo varianzas iguales: $t = 3,94631$ valor-P = 0,00115543

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

Z. Anexo: Promedios, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de BOA Y BON de los sedimentos en las zonas y puntos de muestreo.

Bacterias Oxidantes de Amonio (BOA) UFC/gr				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Valor	330	1.284	4.178	300
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3	Desvest 3
Valor	6,8	63,5	1815,1	13,1
	Error estan	Error estan	Error estan	Error estan
Valor	2,28	21,15	605,02	4,36
	coefi variac	coefi variac	coefi variac	coefi variac
Valor	2,07	4,94	43,45	4,37

Bacterias Oxidantes de nitritos (BON) UFC/gr				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Valor	109.333	228.778	293.889	58.889
	Desvest 1	Desvest 2	Desvest 3	Desvest 3
Valor	16889,3	17311,7	20581,8	17638,3
	Error estan	Error estan	Error estan	Error estan
Valor	5629,8	5770,6	6860,6	5879,4
	coefi variac	coefi variac	coefi variac	coefi variac
Valor	15,4	7,6	7,0	30,0