

**IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACUICULTURA EN JAULAS EN LOS  
COMPONENTES AGUA Y SEDIMENTOS EN EL EMBALSE DEL GUAJARO  
DEPARTAMENTO DEL ATLANTICO**

**CLAUDIA PATRICIA URBANO MAURY**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONOMICAS Y ADMINISTRATIVAS  
MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE  
COHORTE XIII  
MANIZALES  
2019**

**IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACUICULTURA EN JAULAS EN LOS  
COMPONENTES AGUA Y SEDIMENTOS EN EL EMBALSE DEL GUAJARO  
DEPARTAMENTO DEL ATLANTICO**

**CLAUDIA PATRICIA URBANO MAURY**

**M.V.Z. Especialista en Gestion Ambiental Marina y Costera**

**Trabajo de grado presentada como requisito parcial para optar al título de  
Magíster En Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

**Director**

**JUAN CARLOS GRANOBLES TORRES I.A MsC**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES**

**FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONOMICAS Y ADMINISTRATIVAS**

**MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE**

**COHORTE XIII**

**MANIZALES-COLOMBIA**

**2019**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Manizales, Junio de 2019

## *Dedicatoria*

*A DIOS luz de mi vida, por darme la vida, el conocimiento, la fuerza, la perseverancia, por todo; porque grandes son tus obras, mis batallas han sido inmensas y jamás me has desamparado.*

*A mi padre Jorge Antonio Urbano Álvarez, por ser mi mejor amigo y concejero, por no descansar hasta sacarnos adelante, por tu inmenso amor, eres ejemplo de vida y honestidad, por el apoyo incondicional que jamás podre retribuir de similar forma. Seras siempre el pilar de nuestra familia y ha sido un gran honor tener un padre único y maravilloso.*

*A mi madre, esto también es tuyo.*

*A mis hermanos y sobrinos, a los que amo intensamente.*

*A Mauricio, por tanto amor, apoyo y paciencia. Por ser mi otra mitad.*

*“El cerebro humano es como una máquina de acuñar moneda. Si echas en ella metal impuro, obtendrás desechos; si echas oro, obtendrás moneda de ley.”*  
*Santiago Ramón y Cajal*

## **AGRADECIMIENTOS**

Ingeniero Agrónomo Juan Carlos Granobles Msc, director de tesis, por su gran colaboración en la realización de este trabajo, inmensas gracias.

Ingeniero Ambiental Yeiro Barraza De La Rosa, por su gran colaboración y empeño en el resultado de este trabajo.

A mis amigos por su gran paciencia y apoyo moral.

## CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN.....	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
1.1. Descripción de la población afectada por la problemática:.....	19
1.2. Principales problemas encontrados:.....	21
FORMULACION DEL PROBLEMA.....	22
HIPÓTESIS .....	22
2. OBJETIVOS .....	23
2.1. Objetivo general.....	23
2.2. Objetivos específicos.....	23
3. JUSTIFICACIÓN .....	24
4. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE .....	27
4.1. ANALISIS DE CONTEXTO.....	28
4.1.1. Panorama mundial de la piscicultura en jaulas: .....	28
4.1.2. Contexto regional: .....	31
4.1.3. Estado Actual de la Acuicultura en Colombia:.....	32
4.1.4. Cultivo de tilapia roja y nilotica en jaulas y jaulones flotantes: .....	33
4.1.5. Produccion de tilapia roja en jaulas en el Embalse del Guajaro.....	34
4.2. Impacto ambiental de la producción de peces en jaulas en la columna de agua y sedimentos .....	36
4.3.PARAMETROS FISICOQUIMICOS RELEVANTES PARA EVALUAR EL IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACUICULTURA en la columna agua .....	46

4.3.1.	Temperatura.....	46
4.3.2.	Solidos Suspendidos Totales .....	46
4.3.3.	Conductividad eléctrica .....	46
4.3.4.	Oxígeno disuelto (OD):.....	47
4.3.5.	Potencial de Hidrógeno ( pH) .....	47
4.3.6.	Demanda Biológica de Oxigeno .....	48
4.3.7.	Demanda Química de Oxigeno DQO .....	48
4.4.	VARIACION DE NUTRIENTES EN AGUA POR ACTIVIDADES ACUICOLAS RELEVANTES PARA EVALUAR EL IMPACTO AMBIENTAL .....	49
4.4.1.	Nitratos:.....	49
4.4.2.	Fosfatos: .....	50
4.4.3.	Materia orgánica:.....	50
5.	METODOLOGIA.....	52
5.1.	TIPO DE INVESTIGACION .....	52
5.2.	AREA DE ESTUDIO .....	55
5.2.1.	Población de estudio .....	58
5.2.2.	Áreas y estaciones de Muestreo .....	59
5.3.	SELECCIÓN Y TAMAÑO DE LA MUESTRA .....	62
5.3.1.	Tamaño de la muestra de los parámetros físico-químicos .....	62
5.3.2.	Tamaño de la muestra para materia orgánica y turbiedad. ....	64
5.4.	RECOLECCION DE LA INFORMACION.....	65
5.4.1.	Monitoreo de parámetros fisicoquímicos:.....	65
5.4.2.	Análisis de nutrientes: .....	67
5.4.3.	Sedimentos: .....	67

5.5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS .....	68
5.6.	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	69
5.7.	METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL AGUA Y SEDIMENTOS DEL EMBALSE DEL GUAJARO .....	71
6.	RESULTADOS .....	72
6.1.	ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS .....	72
6.1.1.	Oxígeno disuelto OD. ....	73
6.1.2.	Temperatura (°C).....	74
6.1.3.	Conductividad Eléctrica (µS/cm). ....	75
6.1.4.	Potencial de Hidrógeno .....	77
6.1.5.	Sólidos Suspendidos Totales. ....	79
6.1.6.	Demanda Química De Oxígeno DQO.....	80
6.1.7.	Demanda Biológica De Oxígeno DBO.....	82
6.1.8.	Transparencia. ....	84
6.2.	ANÁLISIS DE NUTRIENTES.....	85
6.2.1.	Nitrato (NO <sub>3</sub> -).....	86
6.2.2.	Fosfatos (PO <sub>4</sub> ).....	88
6.3	ANÁLISIS DE SEDIMENTOS.....	89
6.4.	RELACION ENTRE VARIABLES .....	91
6.4.1.	Relacion entre variables de parametros fisicoquimicos.....	93
6.4.1.1	Parámetro Oxígeno Disuelto OD:.....	93
6.4.1.2.	Parámetro Conductividad Eléctrica CE: .....	94
6.4.1.3.	Parámetro Potencial de Hidrógeno ph .....	94
6.4.1.4.	Parámetros Sólidos Suspendidos Totales SST.....	94



6.4.1.5. Parámetro Demanda Química de Oxígeno DQO: .....	94
6.4.1.6. Parámetro Demanda Biológica de Oxígeno DB:.....	95
6.4.1.7. Parámetro temperatura T°:.....	95
6.4.2. Relación entre las variables de nutrientes.....	95
6.4.2.1. Parámetro Fosfatos PO <sub>4</sub> :.....	96
6.4.2.2. Parámetro Nitrato NO <sub>3</sub> :.....	96
6.4.2.3. Parámetro Materia Orgánica MO: .....	96
6.5. Evaluación del impacto ambiental en el agua y sedimentos del Embalse del Guajaro.....	97
7. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS .....	103
8. CONCLUSIONES.....	116
9. RECOMENDACIONES .....	118
ANEXOS.....	126

## LISTA DE TABLAS

	Pag
Tabla 1. Participación porcentual por regiones en la producción acuícola mundial (toneladas).....	30
Tabla 2. Producción de la Acuicultura en América Latina (toneladas) en los últimos 20 años .....	32
Tabla 3. Evolución histórica de la producción de acuicultura en Colombia entre 1986 y 2011 .....	35
Tabla 4. Resumen de los resultados de estudios sobre los impactos ecológicos de la cultura cultural intensiva en jaulas y corrales en varios países .....	42
Tabla 5. Coordenadas del polígono de ocupación de cauce del proyecto acuícola de estudio .....	58
Tabla 6. Ubicación de las áreas de estudio .....	61
Tabla 7. Metodología de medición parámetros físico-químicos .....	66
Tabla 8. Valores promedio de los parámetros físico-químicos, evaluados por áreas y profundidades de muestreo.....	72
Tabla 9. Valores promedio de los nutrientes Nitratos y Fosfatos, evaluados por áreas y profundidades de muestreo.....	86
Tabla 10. Valores promedio de Materia Orgánica, evaluado por áreas y profundidades de muestreo. ....	90
Tabla 11. Correlaciones entre pares de variables de parámetros fisicoquímicos ..	93
Tabla 12. Relacion entre las variables de nutrientes.....	95
Tabla 13. Relacion entre las variables materia orgánica MO y profundidad .....	96
Tabla 14. Calidad ambiental del agua en el área con presencia de jaulas.....	100

Tabla 15. Calidad ambiental del agua en el área control ..... 101

Tabla 16. Contaminacion ambiental por parametros en cada área de estudio ... 102

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura. ....	29
Figura 2. Producción de acuicultura total en Colombia (Toneladas).....	33
Figura 3. Evaluación del impacto ambiental. ....	37
Figura 4. Esquema simplificado de las relaciones que se pueden establecer .....	39
Figura 5. Ubicación del área de estudio, dentro del Embalse del Guajaro y ubicación en el contexto Departamental y Nacional .....	55
Figura 6. Localización de la ronda hídrica del embalse del Guajaro.....	57
Figura 7. Tipo de jaula utilizada en el proyecto investigado.....	60
Fuente: Urbano M., C. P., 2018 Figura 8. ....	61
Figura 9. Muestreos en el punto control y área con jaulas.....	61
Figura 10. Sonda multiparametros HANNA INSTRUMENTS HI9829 .....	66
Figura 11. Valores promedio de Oxígeno Disuelto (mg/L) de las áreas y profundidades de monitoreo. ....	73
Figura 12. Prueba de Mann-Whitney para Oxígeno Disuelto.....	74
Figura 13. Valores promedio de temperatura (°C) en las áreas y profundidades de muestreo.....	75
Figura 14. Prueba de Mann-Whitney para Temperatura.....	76
Figura 15. Valores promedio de conductividad eléctrica (µS/cm) en las áreas y profundidades de muestreo .....	76
Figura 16. Prueba de Mann-Whitney Conductividad Eléctrica.....	77
Figura 17. Valores promedio de potencial de Hidrógeno (pH) en las áreas y profundidades de muestreo .....	78

Figura 18 Prueba de Mann-Whitney Potencial de Hidrógeno. ....	78
Figura 19. Valores promedio de Solidos Suspendidos Totales (SST) en las áreas y profundidades de muestreo.....	79
Figura 20. Prueba de Mann-Whitney para Solidos Suspendidos Totales. ....	80
Figura 21.Valores promedio de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las áreas y profundidades de muestreo.....	81
Figura 22. Prueba de Mann-Whitney para Demanda Química de Oxígeno. ....	82
Figura 23. Valores promedio de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) en las áreas y profundidades de muestreo.....	83
Figura 24. Prueba de Mann-Whitney para Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	83
Figura 25. Valores promedio de la Transparencia en las áreas de muestreo. ....	84
Figura 26. Prueba T Student para transparencia. ....	85
Figura 27 Valores promedio Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) en las áreas y profundidades de muestreo.....	87
Figura 28. Prueba de Mann-Whitney para Nitratos.....	87
Figura 29. Valores promedio Fosfatos (PO <sub>4</sub> ) en las áreas y profundidades de muestreo.....	88
Figura 30. Prueba de Mann-Whitney para Fosfatos. ....	89
Figura 31. Valores promedio Materia Orgánica en las áreas y profundidades de muestreo.....	90
Figura 32. Prueba T Student para Materia Orgánica. ....	91

## RESUMEN

La producción acuícola mundial en jaulas ha tomado un gran impulso mundial, tanto en aguas continentales como marinas, paralelamente aumenta la preocupación por los impactos ambientales generados. Con esta investigación se pretende determinar la influencia de la producción en jaulas de tilapia roja (*Oreochromis spp*), en los componentes agua y sedimentos en el Embalse del Guajaro, Departamento del Atlántico. El estudio compara dos áreas: Área 1. Sitio con presencia de jaulas de producción piscícola; Área 2. Punto testigo sin presencia de jaulas. En el componente agua se midieron los parámetros Oxígeno Disuelto, Temperatura, Conductividad Eléctrica, pH, Transparencia, Nitratos, Fosfatos, Sólidos Suspendidos Totales, Demanda Biológica de Oxígeno DBO y Demanda Bioquímica de Oxígeno, DQO. En sedimentos se calculó porcentaje de Materia Orgánica. Los datos se analizaron estadísticamente mediante análisis discriminante y de varianza. Los parámetros fisicoquímicos presentaron diferencias significativas  $p < 0,05$ , demostrando cambios ambientales en calidad de agua entre las áreas con presencia de jaulas y el punto testigo. Los nutrientes presentaron diferencias significativas  $p < 0,05$ , demostrando contaminación por concentrado y heces de los peces; altos porcentajes de materia orgánica en sedimentos, observándose zonas de degradación del agua debajo y en el medio circundante a las jaulas. El análisis discriminante mostro las variables pH, Oxígeno Disuelto, Conductividad Eléctrica, DBO, DQO, Sólidos Suspendidos Totales, Materia Orgánica y Transparencia, como las de mayor influencia y afectación en los cambios ambientales presentados en la columna de agua y en los sedimentos.

**Palabras clave:** Acuicultura; impacto ambiental; contaminación acuática; calidad del agua; sedimentos.

## ABSTRACT

The global aquaculture production in cages has taken a great global momentum, both in continental and marine waters, at the same time increasing the concern for the environmental impacts generated. This research aims to determine the influence of production on cages of red tilapia (*Oreochromis spp*), on the water and sediment components in the Guajaro Reservoir, Department of the Atlantic. The study compares two areas: Area 1. Site with presence of fish production cages; Area 2. Control point without the presence of cages. In the water component, the parameters Dissolved Oxygen, Temperature, Electric Conductivity, pH, Transparency, Nitrates, Phosphates, Total Suspended Solids, Biological Demand of Oxygen BOD and Biochemical Oxygen Demand, COD were measured. In sediments percentage of Organic Matter was calculated. The data were analyzed statistically by discriminant and variance analysis. The physicochemical parameters showed significant differences  $p < 0.05$ , demonstrating environmental changes in water quality between the areas with presence of cages and the control point. The nutrients presented significant differences  $p < 0.05$ , demonstrating contamination by fish concentrate and feces; high percentages of organic matter in sediments, observing areas of water degradation below and in the environment surrounding the cages. The discriminant analysis showed the variables pH, Dissolved Oxygen, Electrical Conductivity, BOD, COD, Total Suspended Solids, Organic Matter and Transparency, as the most influential and affected in the environmental changes presented in the water column and in the sediments.

Keywords: Aquaculture; environmental impact; aquatic pollution; water quality; sediments

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La técnica de producción en jaulas surge como una de las alternativas de cría controlada de peces, en respuesta a la disminución del recurso natural y a la alta demanda del producto, el cual posee una proteína de alto valor biológico. A nivel mundial, la producción acuícola alcanzó un máximo histórico de 90,4 millones de toneladas en 2012 de los que 66,6 millones de toneladas correspondieron a peces comestibles y 23,8 millones de toneladas a plantas acuáticas, principalmente algas marinas (FAO, 2014). La acuicultura en Colombia ha tenido un crecimiento equiparable al del crecimiento mundial, siendo en promedio el 13 % anual durante los últimos 27 años, crecimiento que se ha destacado especialmente en el campo de la mediana y pequeña acuicultura, lo cual posiciona al país en el sexto lugar en orden de importancia de la acuicultura en América Latina. (AUNAP 2016). Entre las empresas agropecuarias que tiene su asiento en el embalse del Guajaro en el Departamento del Atlántico, encontramos el cultivo de peces en jaulas, el cual aprovecha la ocupación del sistema hídrico.

Las jaulas para el cultivo de peces pueden generar trastornos en el sistema hídrico donde se encuentren, impactando el ambiente a través de dos procesos: principales como son el consumo de recursos, el proceso de transformación y la generación del producto final (Buschmann, 2001). Schmittou, 1970; Awang Kechik et al, 1983, estudiaron la eliminación de metabolitos y la importancia de la ubicación de las jaulas dentro de una masa de agua y su distribución relativa, ya que los peces que se hallan en esos recintos dependen de grandes flujos de agua para la eliminación de los metabolitos tóxicos del flujo de agua a través de los recintos.



Los desperdicios de alimentos concentrados y la materia orgánica que se deposita en los fondos de los cuerpos hídricos pueden ocasionar problemas de acumulación de metales o causar cambios químicos en la columna de agua. Los estudios de Eley *et al*, 1972; Penczak *et al*, 1982; Phillips *et al*, 1983 sugieren que la mayor repercusión en la calidad de la columna de agua y sedimentos es el método de cultivo, (intensivo, semi-intensivo o extensivo); ya que afecta directamente a la concentración de nutrientes, al nivel de oxígeno disuelto y a la concentración de metabolitos tóxicos. Mente *et al.* ; Leon en 2006, , también concluyeron en sus estudios que la pérdida de nutrientes por el alimento no consumido, desechos fecales y excrementos de los peces criados en jaulas, y los posibles impactos (negativos y positivos) sobre la calidad del agua y la salud del medio ambiente acuático y el ecosistema .

Los residuos nitrogenados en la superficie y en la columna de agua podrían conducir a procesos de eutrofización de los sistemas de agua, aumentando la producción de algas y la demanda de oxígeno biológico. Aspectos relacionados con la nitrificación de las aguas representa un problema de salud pública. Los problemas sanitarios presentes en los sistemas de jaulas podrían afectar las especies del área donde se desarrolla la actividad (Lundborg y Lyndberg 1977).

Numann en estudios realizados en jaulas productoras de salmón en Noruega y Escandinavia en 1972, concluyó que las condiciones eutróficas (aumentos de materia orgánica, Fosfatos y Nitrógeno en los sedimentos) favorecen la proliferación de organismos patógenos; lo anterior fue corroborado para estudios en Oriente y Asia sub-tropical por Lundborg y Lyndberg, 1977.

Los cambios en la calidad del agua afectan su potabilidad (Jones y Lee, 1982; Beveridge y Muir, 1982) para la producción natural de peces y la pesca

(Henderson *et al.*, 1973; Melack, 1976; Liang *et al.*, 1981), por lo que es posible que las presiones de esos intereses contribuyan a reducir o restringir el cultivo en recintos, como ha sucedido en Laguna de Bay (Filipinas) y en el lago Lomond (Escocia). Se ha demostrado también que las variaciones de la calidad del agua tienen consecuencias negativas para la producción de peces en los recintos (Aquino, 1982; Kitabatake, 1982).

Un estudio realizado a los componentes agua y sedimentos en el Lago Gauméz, departamento de Nariño, demostró cambios significativos en los parámetros fisicoquímicos revelando pérdida de la calidad de agua en las áreas de cultivos; los nutrientes presentaron diferencias significativas debido a la contaminación causada principalmente por el concentrado comercial y las heces de los peces (González, 2017). Aunque la acuicultura es un leve contribuyente a la contaminación medioambiental (en términos globales, debido a su tamaño relativamente pequeño), puede que no sea así en el futuro, conforme crece la industria; la contaminación medio ambiental proveniente de este sector, puede causar un serio problema. Chen *et al.*; Duqi y Minjie, 2006; Honghui *et al.*, 2006; Xiao *et al.*, 2006).

La acuicultura en jaulas, puede generar impactos en el sistema hídrico donde se encuentren, causando problemas como acumulación de metales o cambios químicos en la columna de agua, como en los sedimentos subyacentes, este tipo de actividad también causa efectos sobre la fauna y flora, produciendo una disminución de diversidad, debido a la introducción de especies foráneas que potencian el riesgo de enfermedades, y se convierte en una amenaza para las especies nativas al competir por el alimento y lugares para vivir. Lo anterior puede generar conflictos para el uso ecosistémico sostenible, sino se realiza el monitoreo adecuado y se implementa políticas de gobernanza hídrica en relación con la capacidad de carga que no afecte el sistema, para esta clase de industrias.

En este orden de ideas, el conocimiento de la calidad físico-química y de los sedimentos del recurso hídrico de las aguas influenciadas por proyectos de producción acuícola en jaulas en el embalse del Guajaro, generará información que servirá de insumo para la retroalimentación de las estrategias de monitoreo de la calidad del agua, a fin de establecer y reglamentar el uso racional de este recurso

### **1.1. DESCRIPCION DE LA POBLACION AFECTADA POR LA PROBLEMÁTICA:**

El Embalse del Guájaro, tiene como finalidad principal el uso de grandes volúmenes de agua para ciertas actividades definidas y es importante ecológicamente para el desarrollo de la fauna íctica compuesta por especies residentes y por especies migratorias, las cuales usan este ecosistema como proveedor de refugio, nutrientes y condiciones necesarias para el desarrollo de los procesos reproductivos, lo cual redundo en una importante producción aprovechada por los pescadores artesanales de las poblaciones del área de influencia.

El embalse presta sus servicios ecosistemicos a los Municipios de Repelón, Sabanagrande, Manatí, Santa Lucia en el Departamento del Atlantico Se considera que más de 2.500 pescadores artesanales sobreviven del recurso pesquero que aporta el embalse del Guajaro (Caraballo, 2009).Las actividades socioeconómicas de las comunidades de influencia al Embalse del Guájaro, son principalmente la agricultura, ganadería intensiva y extensiva, pesca y el comercio (CRA, 2014). El municipio de Luruaco presenta explotación del suelo para la extracción de materiales de construcción como calizas, arena y piedras.

Entre las problemáticas que afectan este cuerpo de agua se encuentran la pérdida del cuerpo de agua y cambios en su dinámica hidrobiológica, a causa de la disminución de la capacidad de almacenamiento, tal como lo muestran registros satelitales desde el año 2008, donde se observa una pérdida de 4.065 hectáreas aproximadamente del área total y 89.4488.293.52 m<sup>3</sup> /año en su volumen, lo que hace pensar que para el año 2120 se podrá reducir en más del 50% el espejo de agua que hoy posee el embalse, si no se toman las medidas correctivas a tiempo (Gobernación Del Atlántico & Conservación Internacional Colombia. 2009. p 126).

Las principales causas de esta pérdida se deben a la expansión de la frontera productiva, la sedimentación y la proliferación de malezas acuáticas sobre áreas someras del embalse y en menor proporción a una dinámica natural propia de cuerpos de agua , su cuenca presenta numerosas intervenciones como la erosión laminar de los suelos, producto de 60.000 ton/año por el flujo de agua a través de las compuertas de entrada y las provenientes del río Magdalena por el canal del Dique con una carga de 50.000 ton/año (CRA, 2014).

Según lo planteado por la CRA, los sedimentos provenientes de la explotación de canteras se calculan entre el 2,0% al 15% del total de sedimentos aportados por erosión laminar. El 50% de los sedimentos aportados al sistema es generado por la intensa deforestación de los sectores aledaños que se han reducido más del 98,5 % de cobertura, promoviendo consecuentemente una disminución sustantiva de la biodiversidad vía desplazamiento de la fauna nativa o presión directa. A su vez, el mal manejo de las compuertas de forma arbitraria por persona ajenas a este proceso, pone en riesgo la oferta de los servicios ambientales del embalse.

## 1.2. PRINCIPALES PROBLEMAS ENCONTRADOS:

Según la autoridad ambiental (CRA 2014), los problemas que aquejan la calidad del embalse son los siguientes:

- Pérdida de cobertura vegetal por deforestación intensa trayendo como consecuencia un aumento de los sedimentos en el agua por arrastre por parte de los vientos, las lluvias o los arroyos que llegan al embalse.
- Ocupación de rondas hídricas, principalmente en época seca para realizar cultivos.
- Retención del flujo y canalización de los arroyos con fines particulares disminuyendo el aporte de agua al embalse.
- Introducción de especies exóticas o foráneas que disminuyen la oferta de recursos pesqueros e hidrobiológicos del cuerpo de agua.
- Falta de acuerdos en el manejo de las compuertas. A pesar que la autoridad ambiental ha intentado tomar el manejo de las compuertas, los intereses particulares han generado conflictos ya que a algunos, como los pescadores, les conviene tenerlas abiertas para que se mantengan los niveles óptimos para tener una buena pesca; a otros, los agricultores, les interesa una regulación entre el cierre y la apertura; mientras que a los ganaderos les conviene que las compuertas estén cerradas para ganar espacios en el establecimiento de áreas en pastizales.
- Utilización de artes de pesca inadecuados que deterioran la producción y desmejoran la actividad pesquera. Uno de los métodos utilizados es el zangarreo, principalmente en los corregimientos de Aguada de Pablo y la Peña (Sabanalarga – Atlántico).

- Actividades como agricultura y ganadería extensiva inciden negativamente con prácticas inadecuadas de mecanización del suelo, la adición de agroquímicos, la carencia de tecnificación, el sobrepastoreo y la predación de la avifauna incrementan el deterioro del ecosistema.
- Desconocimiento general de las funciones, productos y atributos del embalse, y falta de educación ambiental por parte de los lugareños, ocasionando deterioro del ecosistema.
- Vertimiento de residuos sólidos en el cauce de los arroyos que llegan al embalse, causando contaminación del cuerpo de agua y disminución de recursos hidrobiológicos. Asimismo, el inadecuado manejo de las canteras de minería, que incluso a pequeña y mediana escala, principalmente en el corregimiento de Arroyo de Piedra, es una causa más de la conducción de sedimentos hacia el embalse.
- Vertimiento de residuos líquidos sin tratamiento ya que algunas de las poblaciones del área de estudio no cuentan con servicio de alcantarillado.

## **FORMULACION DEL PROBLEMA**

¿Cuál es el impacto ambiental que puede generar la acuicultura en jaulas en los componentes físico-químicos en el agua y materia orgánica en los sedimentos en el embalse del Guajaro?

## **HIPÓTESIS**

La cría de peces en jaulas en el embalse del Guajaro- Atlántico, causa un impacto ambiental en los componentes agua y sedimento.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el impacto ambiental ocasionado por una granja acuícola de producción intensiva en jaulas de Tilapia roja (*Oreochromis spp*), en los componentes agua y sedimento en el Embalse del Guajaro, departamento del Atlántico.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar parámetros físico-químicos en agua y cuantificar materia orgánica en sedimentos en dos áreas del Embalse del Guajaro, un área con producción acuícola en jaulas y un área sin producción acuícola en jaulas (punto control).
- Evaluar el impacto ambiental en la columna de agua y sedimentos en el embalse del Guajaro, en relación con los procesos de producción acuícola en jaulas, mediante la ponderación de parámetros físico-químicos en el agua y en la cuantificación de materia orgánica en los sedimentos.

### 3. JUSTIFICACIÓN

El nivel de degradación de los recursos naturales especialmente del recurso hídrico, ha llevado al incremento de la cría de peces en cautiverio en aguas salobres o en aguas dulces, utilizando estanques, jaulones y jaulas, este es probablemente el sector de producción de alimentos de más rápido crecimiento y representa ahora el 50% del pescado destinado a la alimentación mundial, la pesca y la acuicultura siguen siendo importantes fuentes de alimentos, nutrición, ingresos y medios de vida para cientos de millones de personas en todo el mundo (FAO, 2016).

La acumulación de residuos nitrogenados, fosfatos y otros nutrientes en la superficie y en la columna de agua, podría conducir a procesos de eutrofización, aumentando la producción de algas y la demanda de oxígeno biológico de los sitios con explotaciones acuícolas en comparación con sistemas libres de actividades acuícolas (FUNIBER, 2010; Velasco et al., 2012). Aspectos relacionados con la nitrificación de las aguas representa un problema de salud pública. Los problemas sanitarios presentes en los sistemas de jaulas, podrían afectar las especies del área donde se desarrolle la actividad, la modificación de los microecosistemas acuáticos bentónicos, disminuyendo la biodiversidad acuática, lo que conlleva a la generación de condiciones anaerobias.

Es esencial que se estudien los impactos ambientales que generan las explotaciones piscícolas en el medio acuático y se evalúen los diferentes parámetros afectados (López et al., 2008). Las políticas de monitoreo de la calidad del recurso hídrico en Colombia, se basan en la caracterización de los parámetros físico-químicos de la columna de agua, sin embargo, si lo que se busca en un



futuro cercano, es establecer programas de producción acuícola que armonicen con los objetivos del desarrollo sostenible, es fundamental conocer la calidad de los sedimentos donde se encuentran localizados estos proyectos, esencialmente la composición de materia orgánica, puesto que constituye un factor acelerador de los procesos de eutrofización del recurso hídrico.

Esto incluye implícitamente la necesidad de fomentar la capacidad de realizar estas evaluaciones y de incorporar sus datos en los marcos de ordenación pesquera y toma de decisiones (FAO 2016). La gestión integral del recurso hídrico plantea la necesidad de conocer con suficiente aproximación la calidad de los cuerpos de agua y sus posibilidades de uso por parte de las comunidades a corto mediano y largo plazo, a partir de estudios de monitoreo, los cuales deben ser planificados y desarrollados de acuerdo con el modelo de utilización y la zonificación hidrigeográfica de cada elemento objeto de estudio (CRA, 2014).

La importancia biológica, ecológica, alimentaria, económica y social que posee el embalse del Guájaro determinan su valor ecosistémico (Programa Nacional De Transferencia De Tecnología Agropecuaria PRONATTA, 2002), la gestión de políticas de monitoreo de la calidad biológica de las aguas del embalse , tiene su base en la importancia que este recurso tiene para la supervivencia de la biodiversidad endémica y migratoria, para el logro de proyectos sociales en las zonas de influencia del mismo; el poder establecer y prevenir los procesos de eutrofización que conllevaría a la pérdida de la calidad de los servicios ambientales que presta este recurso hídrico, no tiene otra finalidad que salvaguardar su uso por parte de las presentes y futuras generaciones de los habitantes del área y de la flora y fauna que dependen de él.

En este orden de ideas, surge la necesidad de realizar el estudio sobre el impacto ambiental que ocasiona la producción de Tilapia roja (*Oreochromis spp*) cultivada

en jaulas flotantes en el Embalse del Guajaro, analizando la calidad del agua y de los sedimentos, a fin de evaluar las variables que ejercen una influencia dinámica sobre los procesos físicos, químicos y biológicos de este recurso hídrico y que pueden afectar su calidad y sus servicios ecosistémicos. Una de las contribuciones más importantes de la investigación, será establecer una línea base para la modelación de futuros estudios de carga de proyectos acuícolas y de factores contaminantes del embalse asociado a esta actividad.

La valoración del impacto ambiental en el sistema hidrico mediante matrices basadas en las caracterizaciones de parámetros físico-químicos de alta relevancia en cuanto a calidad de aguas, y la medición de la materia organica en sedimentos como indicadores de la calidad ecológica, aproxima al análisis del estado de resiliencia de este cuerpo de agua, frente a procesos relacionados con la actividad acuícola en jaulas; trazando el camino a seguir para lograr que este tipo de actividades sean ambientalmente amigables, mediante la implementación de estrategias muy útiles como las buenas practicas pesqueras, rotación de los sitios de producción, mejoras en los sistemas de nutrición etc.

La medición de los parámetros físico-químicos en agua y de la materia organica en sedimentos, se convierte metodologicamente en la herramienta científica más rápida y eficaz para evaluar el estado ambiental del recurso hidrico y de analizar la influencia de la actividad acuícola en el Embalse del Guajaro, a fin de considerar la sostenibilidad de este tipo de empresas, sin agotar los servicios ecosistemicos de este recurso hidrico, conforme a los objetivos de desarrollo sostenible. El estudio realizado permitio confrontar los hallazgos con trabajos de la misma naturaleza, realizados en el embalse del Guajaro durante la ultima decada, sin embargo, el monitoreo de fauna y flora en diferentes condiciones climáticas, permitiría ampliar la base de conocimiento necesaria para la modelación de las repercusiones de este tipo de sistemas en sistemas lenticos similares en el tropico.

#### 4. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE

El engorde y producción de organismos acuáticos cultivados en jaulas es una práctica relativamente nueva en la acuicultura. El cultivo en jaulas procede del Sudeste de Asia, aunque se cree que su origen es relativamente reciente (Ling, 1977), aunque los orígenes del uso de jaulas para mantener y transportar los peces por periodos cortos se remontan a dos siglos atrás en Asia (Pillay y Kutty, 2005), según Pantalu (1979) las primeras noticias del cultivo en jaulas proceden de Kampuchea, donde los pescadores de la región del Gran Lago criaban bagres y otros peces comerciales en jaulas y cestas de bambú o junco, durante su cautividad, los peces, a los que se alimentaba con restos de comidas, crecían satisfactoriamente hasta que estaban listos para transportarlos al mercado.

En los últimos 15 años, aproximadamente, el cultivo en jaulas en aguas continentales se ha extendido a más de 35 países de Europa, Asia, Africa y América, en 1978 se criaban experimentalmente en jaulas más de 70 especies de peces de agua dulce (Coche, 1978).

El sector de la acuicultura en jaulas ha crecido rápidamente durante la última década y experimenta en la actualidad veloces cambios como respuesta a las presiones de la globalización y a la creciente demanda de productos acuáticos tanto en los países en desarrollo como en los no desarrollados. Tacon, A.G.J.2001.

#### 4.1. ANALISIS DE CONTEXTO

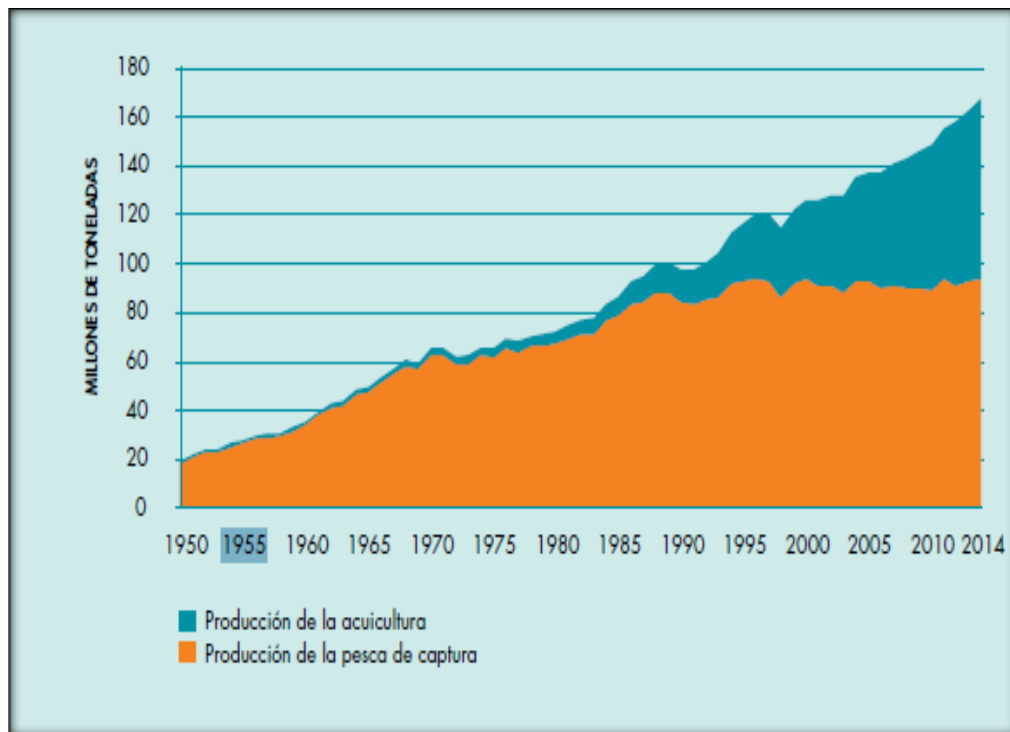
Particularmente, la necesidad de contar con espacios adecuados ha llevado al sector a acceder y extenderse hacia nuevas áreas sin explotar, cultivos en aguas abiertas, como lagos, embalses, ríos, aguas costeras salobres y aguas en mar abierto. Una parte considerable y cada vez mayor del pescado que se consume en los países desarrollados se abastece de las importaciones, debido a la firme demanda y la disminución de la producción pesquera nacional (González 2017).

En los países en desarrollo, el consumo de pescado suele basarse en los productos locales y de temporada disponibles, y la cadena de producción está impulsada por la oferta. Esta gran demanda para el consumo de pescado y su fuente de provisión como lo es la acuicultura también generan efectos negativos al ambiente, por lo que actualmente las entidades gubernamentales y privadas, grupos de ambientalistas y ecologistas vienen desarrollando a nivel mundial determinadas normas y leyes para las buenas prácticas de producción acuícola. (Arnesen, 2012).

Las jaulas pueden afectar a las masas de agua tanto por su presencia física en un lugar como por los cambios que pueden inducir en las características físicas, químicas y biológicas del agua a causa del método de cultivo (extensivo/semi-intensivo/intensivo) y de las especies criadas. (FAO 2012)

**4.1.1. Panorama mundial de la piscicultura en jaulas:** En el contexto mundial el recurso pesquero rebaso su tasa de autosostenibilidad, pero su demanda global se incrementa día a día debido a la calidad biológica de su proteína, el aumento de su consumo, el crecimiento de la población, de la riqueza y de la urbanización en los países; esto según FAO en 2016 (Figura 1).

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



**FUENTE:** FAO Estado de la Acuicultura 2016

El subsector de la acuicultura en jaulas ha crecido rápidamente durante los últimos 20 años y actualmente está sufriendo cambios como respuesta a las presiones de la globalización y a un aumento de la demanda global de productos acuáticos.”. En respuesta a esto, se ha incrementado la producción controlada de peces mediante variadas técnicas, una de las cuales es el cultivo en jaulas, aprovechando el recurso hídrico de aguas marinas, submarinas y continentales.

**Tabla 1.** Participación porcentual por regiones en la producción acuícola mundial (toneladas)

REGIONES	1970	1980	1990	2000	2009	2010	Porcentaje en 2010
África	10.271	26.202	81.015	399.676	991.183	1.288.320	2,15
América	173.491	198.850	548.479	1.423.433	2.512.829	2.576.428	4,30
Caribe	352	2.329	12.169	39.704	42.514	36.871	0,06
América Latina	869	24.590	179.367	799.234	1.835.888	1.883.134	3,15
América del Norte	172.272	171.931	356.943	584.495	634.427	656.423	1,10
Asia	1.799.101	3.552.382	10.801.356	28.422.189	49.538.019	53.301.157	89,02
China	764.380	1.316.278	6.482.402	21.522.095	34.779.870	36.734.215	61,35
Otros países asiáticos	1.034.721	2.236.104	4.318.954	6.900.094	14.758.149	16.566.942	27,67
Europa	575.598	916.183	1.601.524	2.050.958	2.499.042	2.523.179	4,21
Oceania	8.421	12.224	42.005	121.482	173.283	183.516	0,31
Total mundial	2.566.882	4.705.841	13.074.379	32.417.738	55.714.356	59.872.600	100,00

**Fuente.** FAO 2012

Es importante resaltar que este tipo de actividad trae consigo numerosos e importantes beneficios sociales, económicos y medioambientales, mitigación de la pobreza, mayores oportunidades de empleo en las comunidades rurales, mejora bienestar y nutrición humanos, mayor entrada de divisas. La notable disminución de la pesca de captura en el mundo ha conducido a que la producción acuícola (acuicultura) se constituya en una fuente alternativa de proteína para la seguridad alimentaria mundial (FAO, 2003) y a su vez, como una actividad generadora de empleo e ingresos. Se prevé que el consumo de pescado en los países en desarrollo se incremente un 57 por ciento, de 62,7 millones de toneladas en 1997 a unos 98,6 millones en 2020 (Delgado et al., 2003).

Al igual que en la agricultura terrestre la tendencia hacia el desarrollo dentro de la acuicultura y el uso de sistemas intensivos en la cría en jaulas se debió a una combinación de factores, incluyendo la creciente competencia a la que se enfrenta el sector por los recursos disponibles (Foley *et al.*, 2005; Tilman *et al.*, 2002) Los principales productores de peces en jaulas son en su orden: China 29%; Noruega 19%, Chile 17% y Japón con el 8% de la participación mundial respectivamente en general en el mundo las empresas piscícolas que representan la mayor importancia económica se encuentra en los sistemas intensivos. (FAO 2016).

A pesar de la falta de información estadística fiable sobre el tamaño y el estado preciso de la producción de la acuicultura en jaulas a nivel mundial, resulta evidente de los varios estudios del cultivo en jaulas a nivel regional (con la posible excepción de África subsahariana), que la cría en jaulas es, hoy en día, uno de los segmentos con más rápido crecimiento de la producción acuícola mundial, (Tacon, A.G.J. y Halwart, M. 2008).

**4.1.2. Contexto regional:** América Latina, registra un crecimiento muy importante en la producción piscícola al pasar de casi 0,2 millones de toneladas en 1990 a casi 1,9 millones de toneladas en 2010, Chile lidera la actividad en el subcontinente, seguida de lejos por Brasil, Ecuador y México; Colombia ocupa el sexto lugar, después de Perú, que en los años anteriores había producido bastante menos que nuestro país. (AUNAP, 2012). Se observa en la tabla 2 el comportamiento de la piscicultura en la región. La acuicultura es una actividad de gran relevancia en esta región, sin embargo el desarrollo de la actividad es muy desigual, Chile y Brasil participan con el 72% de la producción y de esta el 70% proviene del cultivo en jaulas, 23 países del área producen solo el 2% del total, lo anterior tiene su explicación en las grandes explotaciones en plataforma marina que posee Chile para la producción de salmón en sistemas de agua dulce, salobres y marinos. (FAO, 2016).

**Tabla 2.** Producción de la Acuicultura en América Latina (toneladas) en los últimos 20 años

Número	Países de América Latina	Producción anual (Toneladas)			Porcentaje (%) en 2010
		1990	2000	2010	
1	Chile	70.464	425.058	701.062	37,23
2	Brasil	20.490	172.450	479.399	25,46
3	Ecuador	77.731	61.312	271.919	14,44
4	México	22.348	53.919	126.240	6,70
5	Perú	5.226	6.596	89.021	4,73
6	Colombia	10.455	61.786	80.367	4,27
	Otros	0	18.113	135.126	7,18
TOTAL		206.714	799.234	1.883.134	100

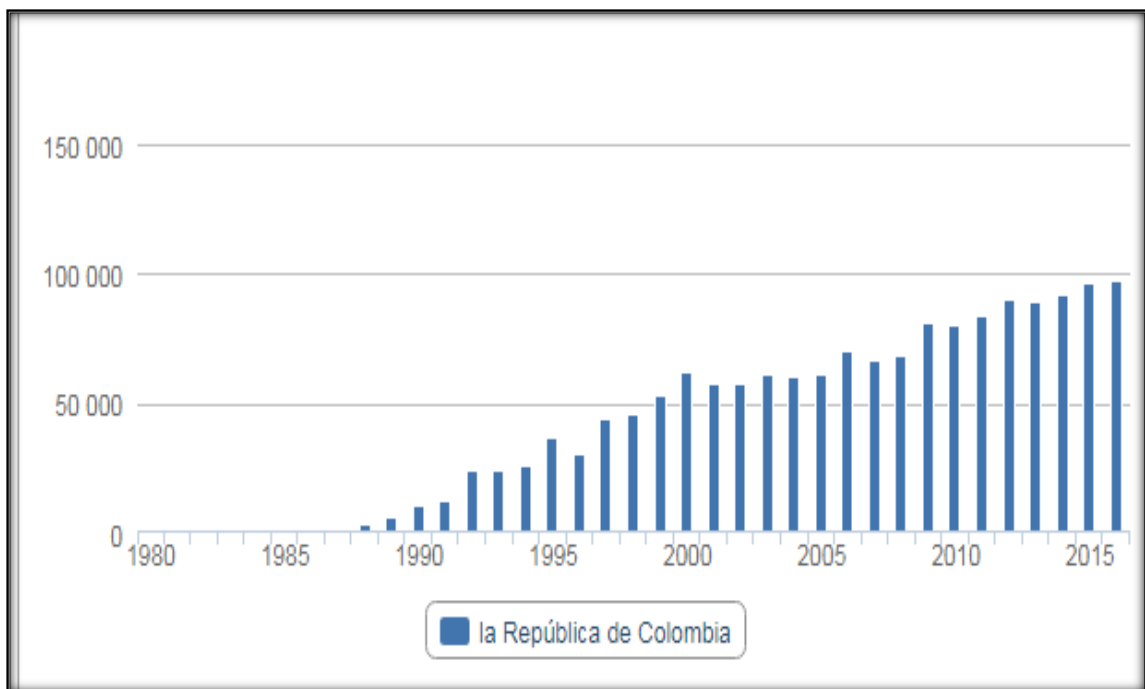
Fuente: FAOSTAT 2012

**4.1.3. Estado Actual de la Acuicultura en Colombia:** La acuicultura es el sector productor de alimentos de más rápido crecimiento a escala global, en virtud de que es la única vía sostenible para acortar la brecha de la demanda de proteína de origen acuático. América Latina es la región con el mayor potencial para la expansión de esta actividad que gradualmente va integrándose en los sistemas de producción de alimentos no sólo para exportación sino para el fortalecimiento de la seguridad alimentaria local (AUNAP 2013). Colombia es un país tropical con temperaturas estables, posee todos los pisos térmicos y una vasta red fluvial que recorre todo el país. Tiene una superficie continental de 1.44. 748 km<sup>2</sup> y posee costas sobre el océano Pacífico (1 300 km) y el océano Atlántico (1.600 km). Tiene una gran cantidad de cuencas hidrográficas que lo posicionan en un lugar destacado en recursos hídricos en el mundo. Posee una de las mayores diversidades de peces del planeta y una alta biodiversidad de organismos hidrobiológicos, al igual que aguas dulces, salobres y marinas y terrenos aptos que le otorgan un gran potencial para el desarrollo de la acuicultura (FAO, 2005).



En Colombia la producción de piscicultura se ha orientado principalmente a los mercados internos con exportaciones relativamente marginales pero con gran potencial, la acuicultura continental es únicamente piscicultura y está representada principalmente por la producción de tilapia, cachama, trucha y algunas especies nativas, realizada por un número relativamente grande de productores (AUNAP 2013).

**Figura 2.** Producción de acuicultura total en Colombia (Toneladas)



**Fuente.** FAO FishStat 2016.

**4.1.4. Cultivo de tilapia roja y nilotica en jaulas y jaulones flotantes:** A finales de los años 90, aprovechando cuerpos de agua artificiales como los embalses para hidroeléctricas o para distritos de riego, se iniciaron en el país los cultivos intensivos en mayor escala o industriales, con el uso de jaulas o jaulones flotantes (lo cual depende de las características del cuerpo de agua), con

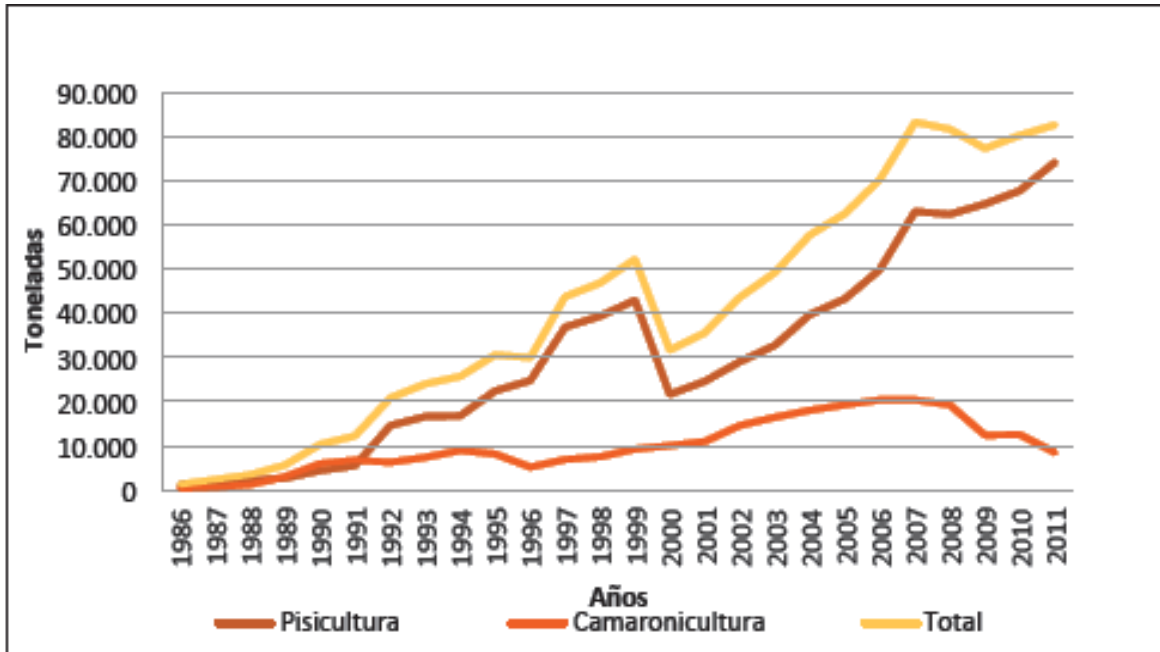
utilización exclusiva de alimento concentrado y con el uso de aireadores para incrementar las densidades de siembra. (MADR-IICA, 2012).

La tendencia de crecimiento de la acuicultura en el período 1990 – 2011 es muy positiva al pasar de 9.330 toneladas en 1990 a 82.733 en 2011, es decir, un 12% anual promedio y, aunque muestra una menor aceleración que otros países de Latinoamérica, supera por mucho la tasa media del crecimiento del resto del sector agropecuario y del conjunto total de la economía nacional. La tendencia creciente es más marcada en la piscicultura que en el cultivo de camarón (MADR, CCI, ACUANAL, AUNAP, Consejo Nacional de la Cadena de la Acuicultura, 2012) como se muestra en la figura N° 3.

El cultivo en jaulas flotantes se usa en cuerpos de agua de poca profundidad y poco recambio de agua, como son la represa de La Salvajina (cuenca del río Cauca), en el Tolima, principalmente en el embalse de Prado (cuenca del Magdalena) y en el Departamento del Atlántico, principalmente en la represa del Guájaro (cuenca del río Magdalena),(AUNAP 2013).

**4.1.5. Producción de tilapia roja en jaulas en el Embalse del Guajaro:** El Embalse del Guájaro es considerado una ecorregión estratégica, se ubica en el departamento del Atlántico, en sus áreas de influencia se encuentran los municipios de Luruaco, Repelón, Manatí y Sabanalarga, baña más de 16 corregimientos, su importancia económica y para el desarrollo sostenible del área, es vital para el sostenimiento del sector agropecuario del área, de él depende más de 2.500 pescadores artesanales, Caraballo (2009).

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



**Fuente:** MADR, CCI, ACUANAL, AUNAP, Consejo Nacional de la Cadena de la Acuicultura, 2012

El embalse fue formado al modificarse una gran área del plano inundable de la cuenca del río Magdalena, por medio de la construcción de un terraplén de 11 km de longitud en los causes de pequeñas ciénagas como Ahuyamal de 400 ha, Concordó 140 ha, Cabildo 1,025 ha, Quintanilla 35 ha, Zarzal 12,0 ha, Playón de Hacha 420ha, Cortadera 35 ha, Limipia 1,420 ha, Gallitos 225 ha, Puerco 190 ha, Manzanilla 40 ha, Verde 70 ha, Quemado 35 ha, y el Guájaro 4,780 ha, que en total sumaban 8,925 ha, y que en épocas de inundaciones daban lugar a unas 20,000 ha aprovechables para la pesca, cambiándose por un solo embalse, el Guájaro, con cerca de 16,000 hectáreas que tiene como función primordial el suministro de agua a toda la zona comprendida dentro del distrito de riego, actividad contradictoria en la mayoría de los casos con el desarrollo de la pesca,

debido al manejo de compuertas para regular el uso de canales y sistemas de bombeo para los distritos de riego y aprovechamiento acuícola. (MADS, 2002).

#### **4.2. IMPACTO AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN DE PECES EN JAULAS EN LA COLUMNA DE AGUA Y SEDIMENTOS**

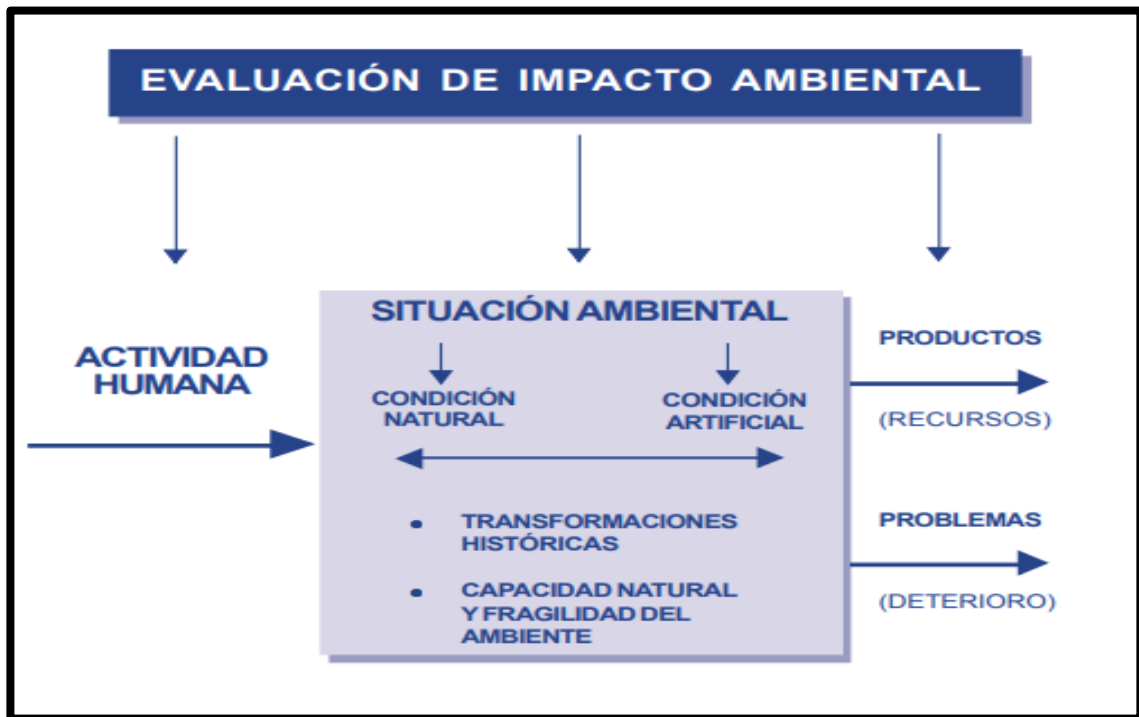
Se conoce como impacto ambiental (impacto antrópico o antropogénico) al efecto que produce cualquier actividad o acción de la naturaleza sobre el medio ambiente. Técnicamente, es la alteración en la línea base ambiental. Espinoza (2002). Los impactos ambientales potencialmente se manifiestan a partir de diversas actividades y se expresan tanto en ambientes naturales como en aquellos que resultan de la intervención y creación humana.

El impacto ambiental es una alteración significativa del ambiente de carácter positiva o negativa. Cuando son directos involucran pérdida parcial o total de un recurso o deterioro de una variable ambiental (contaminación de aguas, tala de bosques, etc.). Cuando son indirectos inducen y/o generan otros deterioros sobre el ambiente (erosión antrópica, inundaciones, etc.)

Las metodologías existentes para el cálculo del impacto ambiental de una actividad conllevan la ponderación de indicadores sobre características específicas o integradas de factores medioambientales o recursos, ya sea cualitativa o cuantitativa para describir impactos anticipados de un determinado tipo de proyecto en una localización geográfica dada, comparadas con áreas de similares características pero sin la influencia del proyecto a evaluar, los índices numéricos o descriptivos se han desarrollado como una medida de la vulnerabilidad del medio ambiente y los recursos a la contaminación u otras acciones humanas y

han probado su utilidad en la comparación de localizaciones para una actividad propuesta. Espinoza (2002)

**Figura 3.** Evaluación del impacto ambiental.



**Fuente.** Espinoza 2002

La acuicultura en jaulas, puede generar trastornos en el sistema hídrico donde se encuentren, debido a los desperdicios de alimentos concentrados y a la materia orgánica que se deposita en los fondos de los cuerpos hídricos, causando problemas de acumulación de metales o cambios químicos en la columna de agua, (Maldonado et al., 2005), como en los sedimentos subyacentes (Aksu y Kocatas 2007), (González 2017).

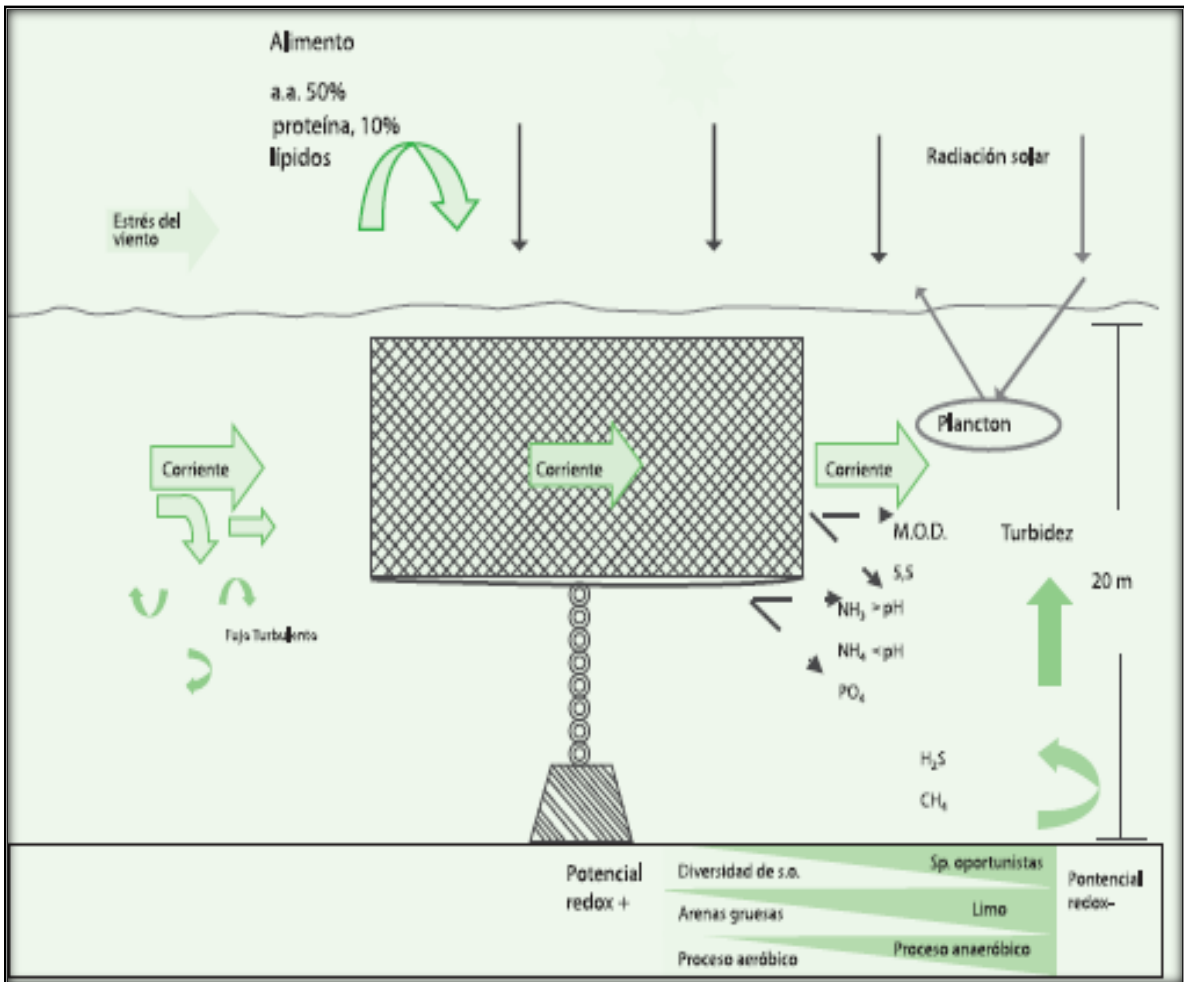
La acuicultura intensiva en jaulas tiene impactos localizados en el ambiente, con un incremento de las cargas de nitrógeno y Fosfatos y una «huella» de

enriquecimiento bajo las jaulas (Soto y Norambuena, 2004). Dentro de esta huella se observaran cambios ecológicos y ocurrirá una sucesión de especies en los sedimentos. Con un control y manejo eficaz, se ha demostrado que, estos efectos pueden ser reversibles (Black, 2001).

Las jaulas pueden afectar a las masas de agua tanto por su presencia física en un lugar como por los cambios que pueden inducir en las características físicas, químicas y biológicas del agua a causa del método de cultivo (extensivo/semi-intensivo/intensivo) y de las especies criadas (FAO, 2002). La acuicultura también causa efectos sobre la fauna y flora, produciendo una disminución de diversidad, entre estos el plancton (Sanz-Lazaro y Marín, 2011). La introducción de especies foráneas potencia el riesgo de enfermedades, y se convierte en una amenaza para las especies nativas al competir por el alimento y lugares para vivir (Johansen et al., 2011).

La introducción del cultivo en jaulas o corrales en una masa de agua tiene repercusiones en el medio ambiente que pueden ser causa de conflictos, ya que a menudo, las aguas continentales son utilizadas también por otros usuarios con finalidades diversas. Los efectos que la construcción de jaulas y corrales tienen en una masa de agua son principalmente los siguientes: ocupan espacio (dando lugar así a una competencia potencial con otros usuarios); modifican el régimen de flujo del agua (del que depende el transporte de oxígeno, sedimentos, plancton y larvas de peces); y tienen repercusiones en el aspecto estético del lugar. (Buschmann, 2001). El establecimiento de jaulas y corrales piscícolas en un lago, embalse o río puede tener también repercusiones fuera de las inmediatas cercanías del lugar, por razón de la demanda de materiales de construcción (Cariaso, 1983).

**Figura 4.** Esquema simplificado de las relaciones que se pueden establecer entre los ciclos biogeoquímicos la operación de las jaulas.



**Fuente.** Modificado apartir de “The Fishprint of Aquaculture Can the Blue Revolution be Sustainable?”. K. Wolowicz

Los recintos pueden afectar a las masas de agua tanto por su presencia física en un lugar como por los cambios que pueden inducir en las características físicas, químicas y biológicas del agua a causa del método de cultivo (extensivo/semi-intensivo/intensivo) y de las especies criadas, como se puede apreciar en la figura 3.

Debido a que a interacción entre los peces encerrados en jaulas o corrales y el medio ambiente exterior es mucho mayor que en otros sistemas, las jaulas y corrales han de considerarse como un subcomponentes de los ecosistemas acuáticos en que están instalados, dado que el recinto y el ambiente que lo circunda están íntimamente relacionados (es decir, los cambios que se produzcan en la masa de agua tendrán repercusiones en el ambiente del recinto, y viceversa). (FAO, 2016).

Los cambios en la flora y la fauna de las aguas continentales que están asociados con el cultivo en recintos fueron observados por primera vez por Vaas y Sachlan (1957), que estudiaron los efectos del cultivo extensivo de carpas en la biota de los cursos de agua. Estudios hechos por Murphy y Lipper (1970) y Liao (1970) demostraron que el cultivo intensivo de peces tenía como consecuencia la producción de grandes cantidades de desechos por unidad de peso vivo, mayor que en el caso de otros animales, como pollos, cerdos o vacunos. En algunas investigaciones se han hecho comparaciones entre el ambiente en el lugar donde se hallan las jaulas y una zona testigo situada a cierta distancia de las jaulas, mientras en otras se ha procedido a estudiar el lugar antes de la introducción de las jaulas y durante el período de cultivo y después de él (Kilambi et al, 1976; M. Phillips, com. pers).

La introducción en el ambiente de nutrientes y piensos, que acompaña siempre a las operaciones de explotación intensiva, es quizás elemento que más impacta el medio en que se desarrolla este tipo de producciones, muchos autores han mencionado las pérdidas de piensos desde los años 70" (Collins, 1971, Eley et al, 1972; Coche, 1979; Muller y Varadi, 1980; Beveridge y Muir, 1982; Penczak et al, 1982).



Independientemente de las diferencias de la metodología, las especies cultivadas, las dimensiones y tipo del lugar, en la mayoría de los estudios se ha registrado un aumento de los niveles, de sólidos en suspensión y nutrientes (alcalinidad, P-total, PO<sub>4</sub>-P, NH<sub>4</sub>-N, N orgánico, C) y una disminución de O<sub>2</sub> en los recintos y alrededor de ellos (FAO, 2016). En los sedimentos que se hallan por debajo de las jaulas, se han registrado considerables aumentos en el consumo de oxígeno y en el contenido de N-total, P-total y materias orgánicas en el cieno (Tucholski et al, 1980; Enell, 1982; Merican, 1983).

El resumen de algunos de los estudios realizados en diferentes partes del mundo sobre impactos ambientales de la producción de peces en jaulas en los componentes agua y sedimentos se observan en la tabla N°4. En Colombia son pocos los estudios realizados con datos verdaderos de seguimiento realizados a los cuerpos de aguas que tienen producciones de peces en agua, sea en climas cálidos o en climas fríos, y muchos de los datos se evalúan indiscriminadamente junto a otros proyectos.

El estudio de la influencia individual de cada proyecto en jaulas, sería importante para a evaluar el impacto individual no solo de la infraestructura, sino de los procesos conjuntos in situ, con el fin de establecer de manera precisa cual es el comportamiento frente a los impactos generados al medio por proyecto

**Tabla 4.** Resumen de los resultados de estudios sobre los impactos ecológicos de la cultura cultural intensiva en jaulas y corrales en varios países

MASA DE AGUA	DE ÁREA	ESPECIES CULTIVADAS	PRODUCCIÓN (T AÑO <sup>-1</sup> )	DURACIÓN DE LA OPERACIÓN	IMPACTO	IMPACTO INDETECTABLE	COMENTARIOS	REFERENCIAS
Bull Shoals Reservoir, Arkansas, EE.UU.	-	truchas arco iris peces gato canales gato azul peces	~ 205	5 años	<u>incrementos</u> : NH <sub>4</sub> , P-total, algas verdes, diatomeas, peces deportivos y peces blancos <u>disminuyen</u> : discos de <u>entrenamiento</u> seco hi : heces en jaulas	O <sub>2</sub> , temperatura, NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , turbidez de CO <sub>2</sub> , la bahía, pH, alcalinidad, conductividad, algas verde-azules, rotíferos, desmides	Búsqueda de Hays, 1982 cambios en la bahía donde se ubican las jaulas.	Hays, 1982
White Oak	1083 ha	bagre	~ 150	2 años	<u> aumentos</u> :	temp, DQO	Jaulas ubicadas cerca de las	Eley et al., 1972

<p>Lake, Arkansas, EE.UU. Ta nque construido en 1960</p>	<p>turbidez, alcalinidad, P-total, PO<sub>4</sub>-P, N orgánico, DBO, bacterias, zooplancton, invertebrados binarios, <u>disminución</u> de <u>la producción</u> primaria : O<sub>2</sub> disuelto, NO<sub>3</sub>, clorofila a</p>	<p>salidas.</p>
<p>Crystal Lake, Arkansas, EE.UU.</p>	<p>24 ha    pescado    trucha ~9    1 año arco iris canales</p>	<p><u>Aumentos</u> :    temperatura, O<sub>2</sub>, Elección de Kilambi <u>et</u> Turbidez, PO<sub>4</sub>-P, pH, NH<sub>4</sub>    tres    <u>al</u> ., 1976 NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>,    estaciones fitoplancton,    de muestreo zooplancton, oligochaetes, poblaciones de peces. <u>Disminución</u> : Culícidos.</p>

Lago Hartwell, Carolina del Sur, EE.UU.	24300 ha	bagre de canal	0.15	5 meses	<u>Incrementos</u> :	-	Pequeñas jaulas experimentales. Estudio de efectos solo en la comunidad de peces.	Loyacano y Smith, 1976
Lago Keowee, Carolina del Sur, EE.UU.	7300 ha	bagre de canal	0.43	12 meses	<u>Incrementos</u> :	-	Pequeñas jaulas experimentales. Estudio de efectos solo en la comunidad de peces.	Loyacano y Smith, 1976
Lago Globokie, Polonia	47.3 ha	trucha arcoiris	~ 18	5 años	<u>Incrementos</u> :	C, P- total, N-total	Revisión de los presupuestos de C, P y N solamente	Penczak et al., 1982
Dgal Wielki, Polonia	93.9 ha	carpa y tenca	-	4 años	<u>Incrementos</u> :	PO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> - DBO, sólidos suspendidos P contenido de	Korycka y Zdanowski, 1980	

					seston		
					<u>disminuido</u> :		
					O <sub>2</sub>		
Lago Skarsjon, Noruega	310 ha	trucha arcoíris	20	3 años	<u>incrementos</u> : P-total, y en sedimentos: P-total, N-total, <u>disminución del consumo</u> de O <sub>2</sub> : potencial redox en sedimentos	P-total, NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> y NO <sub>2</sub> , Kjeldahl-N en agua principalment e a los sedimentos.	Estudio Enell, 1982
Lago Byajon, Noruega	140 ha	trucha arcoiris	15	3 años	<u>incrementos</u> : P-total, y en sedimentos: P-total, N-total, <u>disminución del consumo</u> de O <sub>2</sub> : potencial redox en sedimentos	P-total, NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> y NO <sub>2</sub> , Kjeldahl-N en agua principalment e a los sedimentos.	Estudio Enell, 1982

FUENTE. FAO, 2016.

### **4.3.PARAMETROS FISICOQUIMICOS RELEVANTES PARA EVALUAR EL IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACUICULTURA EN LA COLUMNA AGUA**

Una de las formas más fehacientes de diagnosticar el estado ambiental de un recurso hídrico, es evaluar la composición de los nutrientes presentes en la columna de agua, para ello se miden en laboratorio parámetros físicoquímicos, aunque su información es puntual y transitoria (Gonzales, 2017). Los parámetros a los cuales son más sensibles los organismos acuáticos son a menudo el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y la temperatura (Neumann et al., 2003 citado por Leiva, 2004).

**4.3.1. Temperatura:** La temperatura es un factor abiótico que regula procesos vitales para los organismos vivos, así como también afecta las propiedades químicas y físicas de otros factores abióticos en un ecosistema. La temperatura es el mayor factor para la riqueza y composición de especies de macroinvertebrados acuáticos, Jacobsen et al., (1997).

**4.3.2. Sólidos Suspendidos Totales:** Los sólidos suspendidos corresponden a la materia orgánica como detritus, o de origen aluvial, restos de rocas, arcilla, arena y similares, y aunque pueden tener su origen en aguas residuales, también están relacionados con la erosión del suelo, lo cual se asocia con los procesos de deforestación. (Roldan, 2008).

**4.3.3. Conductividad eléctrica:** La conductividad es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y de la temperatura de la medición. Las soluciones de la mayor parte de los compuestos inorgánicos son buenas conductoras. Las moléculas orgánicas al

no disociarse en el agua, conducen la corriente en muy baja escala. La conductividad es el inverso de la resistencia específica. (IDEAM, 2006).

**4.3.4. Oxígeno disuelto (OD):** El oxígeno disuelto (OD) es uno de los gases más importantes en un sistema acuático, ya que es fundamental para los organismos y para la degradación de la materia orgánica. Llega al agua por difusión de la atmósfera o por fotosíntesis. Se acepta que un valor aproximado a 4 mg/L es aceptable para la sobrevivencia de la mayoría de los organismos acuáticos. Después de la temperatura el oxígeno es uno de los factores más importantes que debe ser medido en el agua. Solo tiene valor si se mide con la temperatura, para así establecer el porcentaje de saturación (Sawyer, et al, 1978)

**4.3.5. Potencial de Hidrógeno ( pH) :** El valor del pH en el agua es un indicador indica la concentración de iones de Hidrógeno en el agua que nos determina la acidez o no acidez (basicidad o alcalinidad) del agua; el pH no mide el valor de la acidez o alcalinidad sino que la determinación de su valor en el agua es una medida de la tendencia de su acidez o su alcalinidad, puede alterarse de acuerdo al grado de eutroficación y a las modificaciones del sistema carbonatos del agua dadas por la producción de CO<sub>2</sub> (durante la respiración por parte de los organismos heterotróficos) o por el consumo de este gas (debido a la fotosíntesis de los organismos autotróficos). (Prieto 2004).

En un agua pura la concentración de H<sup>+</sup> es igual a la de OH<sup>-</sup> y su valor de pH es de 7,0 las aguas en las cuales la concentración de H<sup>+</sup> es superior a la de OH<sup>-</sup> son aguas ácidas y el valor de su pH está por debajo de 7,0. Por el contrario aquellas cuya concentración de OH<sup>-</sup> es superior a la de H<sup>+</sup> son aguas básicas o alcalinas y su pH es superior a 7,0. (Sawyer, et al, 1978).

**4.3.6. Demanda Biológica de Oxígeno:** La DBO<sub>5</sub>, es un parámetro indispensable para determinar el estado ambiental o la calidad de diferentes cuerpos de agua. Es una medida de concentración de oxígeno usada por los microorganismos para degradar y estabilizar la materia orgánica biodegradable o la materia orgánica carbonácea en condiciones aeróbicas. Además, indica aproximadamente la fracción biodegradable del desecho, la tasa de degradación del mismo y la tasa de consumo de oxígeno en función del tiempo y determina la forma aproximada y la cantidad de oxígeno requerido para la estabilización biológica de la materia orgánica presente. (Roldan, 2008). Todo esto ayudaría a evaluar el estado de resiliencia del recurso hídrico.

**4.3.7. Demanda Química de Oxígeno DQO:** La Demanda Química de Oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. Las sustancias orgánicas e inorgánicas oxidables presentes en la muestra, se oxidan mediante reflujo cerrado en solución fuertemente ácida (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) con un exceso de dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) en presencia de sulfato de plata (Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) que actúa como agente catalizador, y de sulfato mercuríco (HgSO<sub>4</sub>) adicionado para eliminar la interferencia de los cloruros. Después de la digestión, el K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> remanente se titula con sulfato ferroso amoniacal para determinar la cantidad de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> consumido. La materia orgánica se calcula en términos de oxígeno equivalente. Para muestras de un origen específico, la DQO se puede relacionar empíricamente con la DBO, el carbono orgánico o la materia orgánica. (IDEAM, 2006).



#### **4.4. VARIACION DE NUTRIENTES EN AGUA POR ACTIVIDADES ACUICOLAS RELEVANTES PARA EVALUAR EL IMPACTO AMBIENTAL**

Los cuerpos de agua naturales ya sean lenticos o loticos presentan una mínima cantidad de nutrientes como nitritos, nitratos y fosfatos. Estos niveles de nutrientes tienden a incrementarse o disminuir dependiendo de la afectación que estén recibiendo como cuerpos receptores de contaminantes por diferentes fuentes antropogénicos como lo es la acuicultura. (González, 2017). Factores como el alimento no consumido, las heces de los peces, la mortalidad y el residuo de diferentes compuestos de las jaulas de cultivo permiten que estos macronutrientes actúen en la eutrofización de los cuerpos de agua (López, 2008; Claros, 2012).

Los nutrientes en estado natural, son principalmente el resultado del ciclo del nitrógeno y del fósforo, por lo que las alteraciones antropogénicas o naturales causadas al ciclo, resultan en transformaciones de las concentraciones en el ambiente. Cuando los sistemas acuáticos se ven enriquecidos excesivamente con materia orgánica y nutrientes, se producen cambios físicos, químicos y biológicos que se reflejan en el crecimiento desmesurado de algas y bacterias, en el agotamiento del oxígeno disuelto y, en casos extremos, en la muerte de muchos organismos aeróbicos. (CORMAGDALENA, 2006)

**4.4.1. Nitratos:** Los nitratos y nitritos son iones que existen de manera natural y que forman parte del ciclo del nitrógeno. Los niveles naturales de nitratos en aguas superficiales y subterráneas son generalmente de unos pocos miligramos por litro. La nitrificación es la oxidación de un compuesto de amonio a nitrito por la acción de las bacterias nitrificantes Nitrosomas, y estos a su vez son oxidados a nitratos por la acción de las bacterias Nitrobacter. La nitrificación es más rápida a

un pH de 7 a 8 y a temperaturas de 25-30 °C. La nitrificación hace que el pH del agua baje (Claros, 2012).

**4.4.2. Fosfatos:** Los fosfatos se encuentran en las aguas naturales en pequeñas concentraciones. Los compuestos de fósforo que se encuentran en los cuerpos de agua superficiales provienen de fertilizantes, desechos de actividades agropecuarias como la acuicultura y la ganadería, detergentes entre otros. La carga de fosfato total se compone de ortofosfato + polifosfato + compuestos de fósforo orgánico, siendo normalmente la proporción de ortofosfato la más elevada, (Solórzano and Sharp, 2003). La concentración de fosfatos en un agua natural es fundamental para evaluar el riesgo de eutrofización. Así, Los fosfatos están directamente relacionados con la eutrofización de ríos, pero especialmente de lagos y embalses. (Solórzano and Sharp, 2003).

**4.4.3. Materia orgánica:** La materia orgánica, que se define como un conjunto de residuos orgánicos de origen animal y / o vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo (rosell, 1999). además, incluye una fracción viva, o biota, que participa en la descomposición y transformación de e los residuos orgánicos (Aguilera, 2000).

El carbono orgánico del suelo es el principal elemento que forma parte de la materia organica, por esto es común que ambos términos se confundan o se hable indistintamente de uno u otro (Martínez et al 2008). La materia organica en los sedimentos de los lugares con presencia de jaulas de producción piscícola agotarían el recurso oxigeno para su degradación aumentando la DBO y la DQO, aumentando el tiempo de resiliencia del sistema hidrico y concadenar desequilibrio ambiental del sistema.

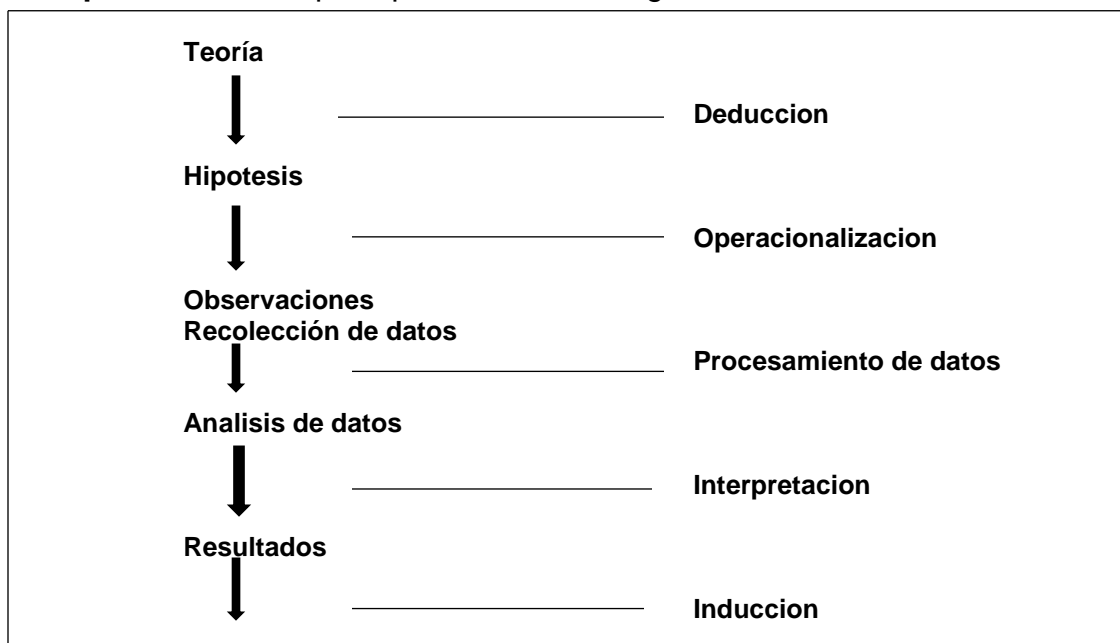
Considerando la caracterización de los anteriores parámetros tanto en agua como en sedimentos, se transformaron en índices ponderales que representan una unidad o aspecto ambiental, cuya evaluación es representativa del impacto ambiental sobre el medio, derivado de la actividad de producción de peces en jaulas en el embalse del Guajaro.

## 5. METODOLOGIA

### 5.1. TIPO DE INVESTIGACION

La investigación siguió el método cuantitativo, se pretendió responder a una hipótesis para determinar el grado de impacto ambiental de la actividad piscícola sobre los componentes agua y sedimentos en el embalse del Guajaro, mediante la medición de parámetros físico-químicos y biológicos en el agua y materia organica en sedimentos; mediciones realizadas en dos áreas del embalse , una donde se desarrolla actividad acuícola en jaulas, contra un punto testigo situado en un lugar con condiciones similares y sin presencia de actividad acuícola en jaulas.

**Esquema 1** Fases principales de la investigación cuantitativa



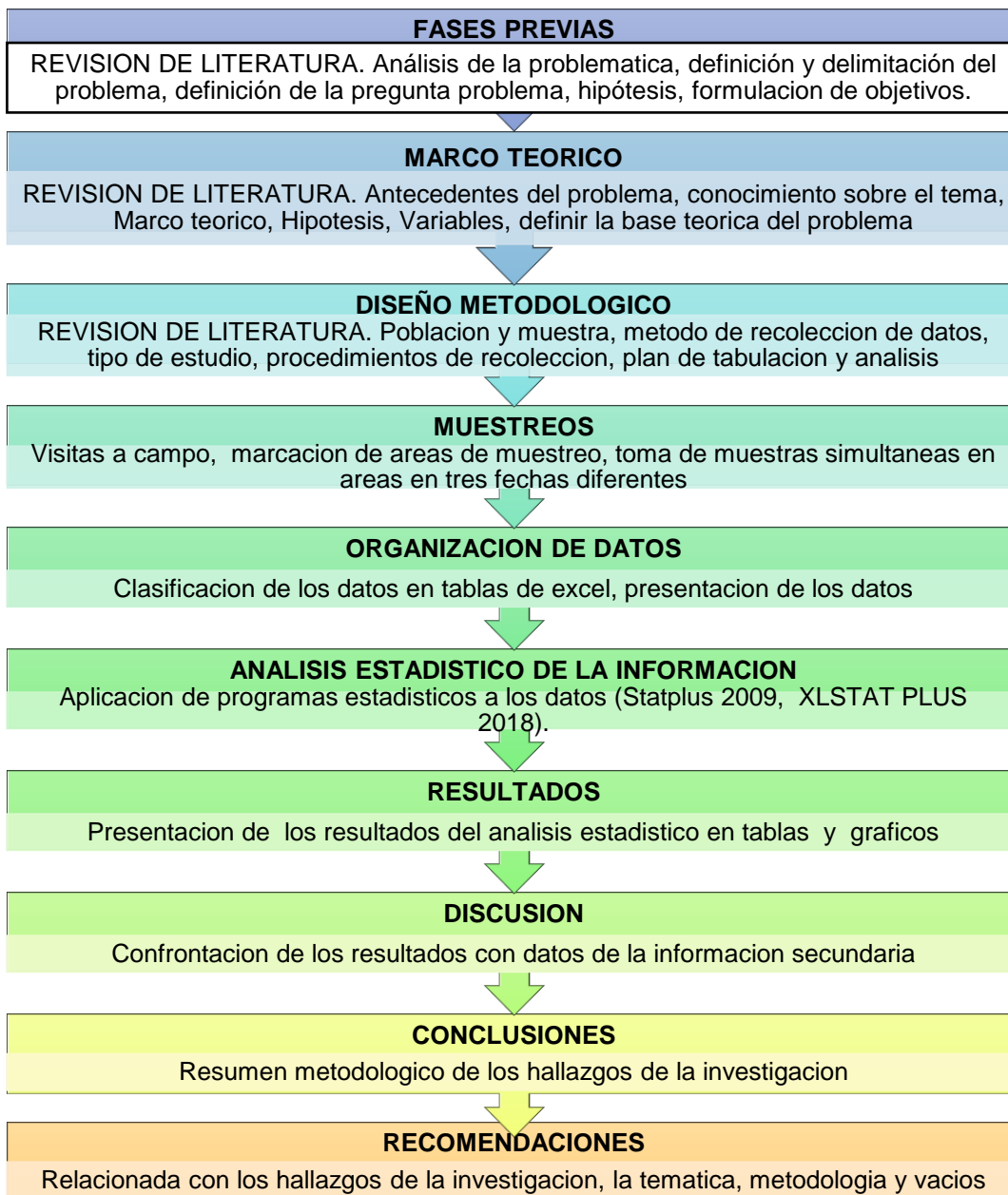
Fuente: Monje, C.A, 2011

**5.1.1. Fases de la investigación:** La investigación desarrolló el siguiente esquema conceptual (Ilustración 1), basado en la metodología propuesta por Monje (2011):

- 1) Fase conceptual.
  - Formulación y delimitación del problema.
  - Revisión de literatura.
  - Construcción del marco teórico.
  - Formulación de hipótesis.
- 2) Fase de planeación y diseño.
  - Selección de un diseño de investigación.
  - Identificación de la población que se va a estudiar.
  - Selección de métodos e instrumentos.
  - Diseño del plan de muestreo.
- 3) Fase empírica.
  - Recolección de datos.
  - Preparación de los datos para análisis.
- 4) Fase analítica.
  - Análisis de datos.
  - Interpretación de resultados.

Siguiendo a Polit y Hungler (1994: 58-64) a continuación se presenta una síntesis de los pasos que se tuvieron en cuenta para la investigación:

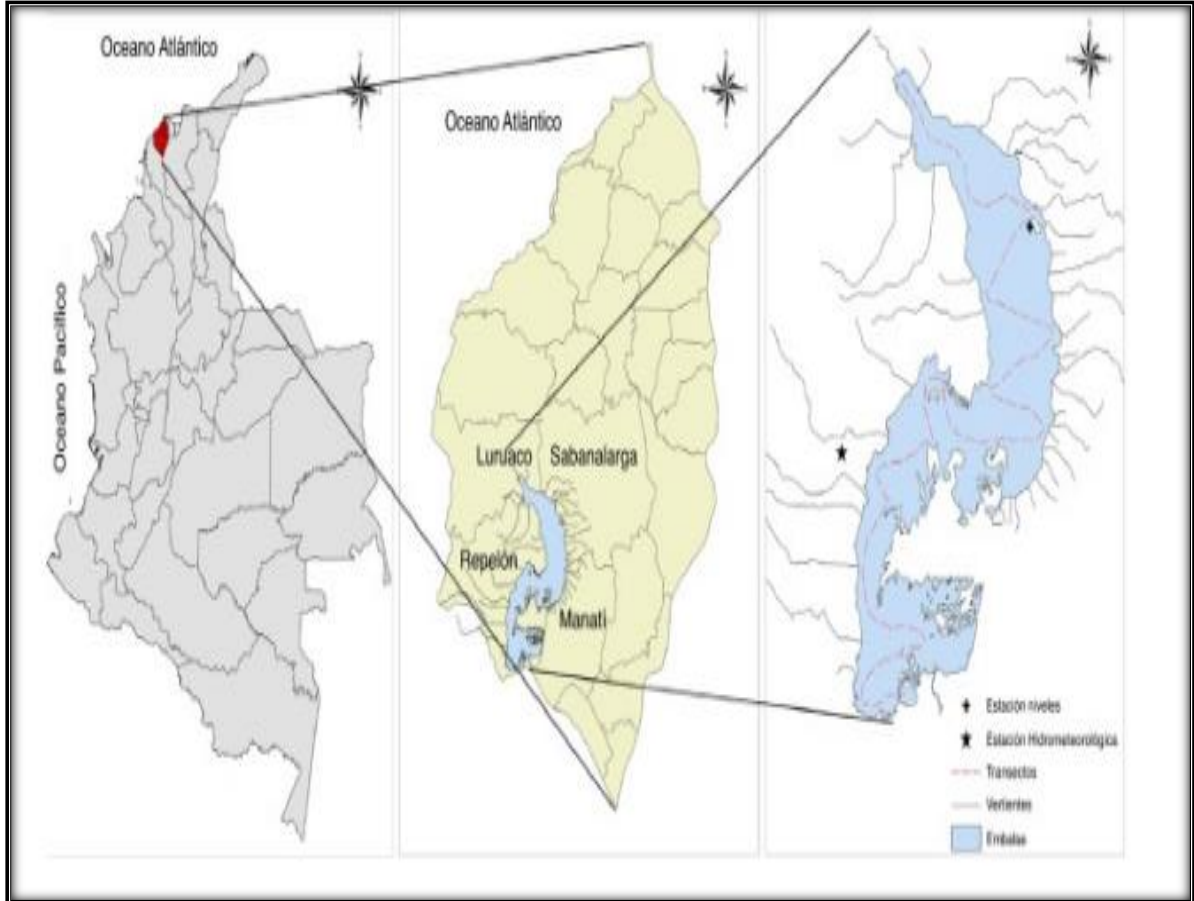
## Ilustración 1. Fases de la investigación



Fuente: Urbano M., C. P., 2018

## 5.2. AREA DE ESTUDIO

**Figura 5.** Ubicación del área de estudio, dentro del Embalse del Guajaro y ubicación en el contexto Departamental y Nacional



**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018

El embalse del Guajaro está ubicado en la parte sur del departamento del Atlántico en las siguientes coordenadas  $10^{\circ} 25' 38''$  N y  $75^{\circ} 00' 0''$  O. Su origen se remonta a la unión artificial de las ciénagas Limpia, Cabildo, Playón de Hacha, Ahuyamal, la Celosa y el Guájaro, a través de una obra hidráulica realizada por el antiguo Instituto Colombiano de la Reforma Agraria (INCORA), teniendo como área de influencia los municipios de Luruaco, Repelón, Manatí y Sabanalarga. (CRA, 2007). Entre 1955 y 1956 construyeron un dique de 70 kilómetros de longitud para

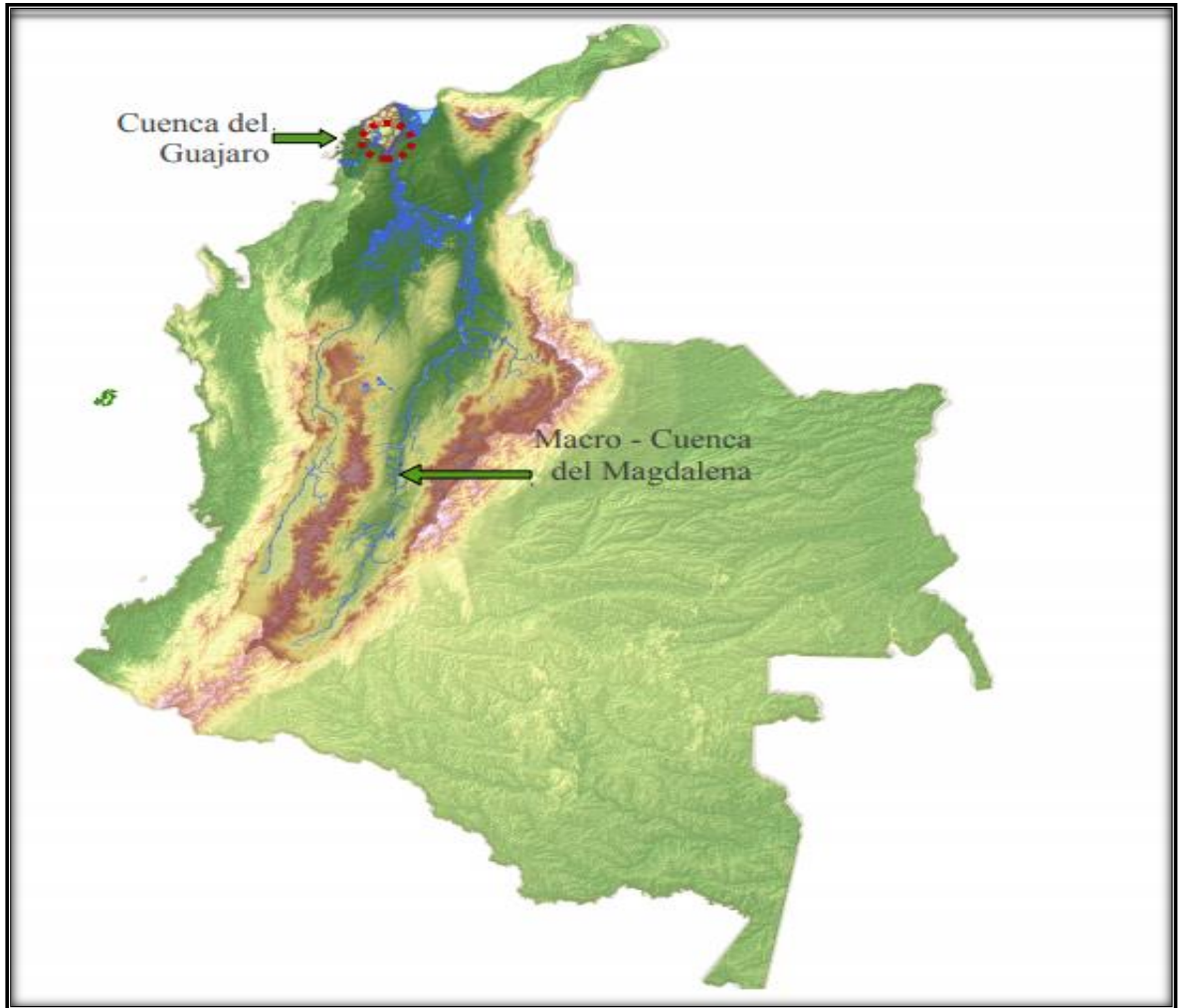
control de inundaciones y se desecó parte de una ciénaga manteniendo una superficie de agua de 16.000 hectáreas que se denominó embalse de Guájaro la longitud N-S es de 22 kilómetros y el ancho máximo 8 kilómetros, el cual almacena unos 42 m<sup>3</sup>, de los cuales 294 son embalse útil, en la cota 4.80 m.s.n.m. El embalse fue formado al modificarse una gran área del plano inundable de la cuenca del río Magdalena, por medio de la construcción de un terraplén de 11 kilómetros de longitud en los cauces de pequeñas ciénagas. Se construyó la nueva compuerta, los canales y bombas para el distrito de riego, cediendo la lucha campesina por la tierra. (Torres, 2011)

En sus inicios el embalse tenía capacidad para almacenar unos 400 millones m<sup>3</sup> de agua en un área total de 16.000 hectáreas y con una profundidad promedio de cinco metros. Además, 14.000 de estas hectáreas fueron destinadas para la pesca diaria de más de 2.500 pescadores provenientes de los municipios circundantes, pero ante el abandono institucional y la falta de conciencia ecológica de los pobladores de su alrededor, su extensión se ha reducido a 12.000 hectáreas de su espejo de agua y casi la totalidad de sus rondas naturales, su profundidad ha disminuido a dos metros en promedio y su capacidad de almacenamiento ha bajado ostensiblemente. (Arrieta, 2000).

A finales del año 2010 se presentó un aumento en las precipitaciones en todo el país, haciendo que los ríos llenaran su capacidad. En los 257.400 kilómetros cuadrados de la cuenca del río Magdalena, las precipitaciones superaron todos los registros hechos por del IDEAM desde más de 70 años.



**Figura 6.** Localización de la ronda hídrica del embalse del Guajaro



**Fuente:** G2C ENVIRONNEMENT - AÏGOS

La cuenca del embalse del Guájaro fue receptora de los caudales extraordinarios generados por esas lluvias. Bajo este contexto, el 30 de noviembre del 2010 se abrió un boquete en la orilla derecha del Canal del Dique, 2 kilómetros aguas abajo de Calamar, cerca al municipio de Santa Lucia. Esta ruptura alcanzó una longitud de 214 metros, dejando entrar un caudal de 1.660 metros cúbicos por segundo. Las consecuencias fueron dramáticas: 30.000 Hectáreas inundadas, 9 poblaciones y 13.000 viviendas afectadas, 129.000 damnificados, 298 kilómetros

de vías parcialmente o totalmente destruidas, 14 escuelas y 11 hospitales no recuperables.

**5.2.1. Población de estudio:** El estudio de investigación se llevó a cabo en la única granja productora de Tilapia Roja (*Oreochromis niloticus*), en sistema de jaulas flotantes, que presenta actividad para la fecha de estudio en el Embalse del Guajaro, y actualmente produce cerca de 60 toneladas anuales de tilapia roja, la empresa posee en total 50 jaulas de 43m<sup>3</sup>.

La empresa se encuentra ubicada en la zona centro-oriental del Embalse del Guajaro en área del corregimiento de Aguadas de Pablo, jurisdicción del Municipio de Sabanalarga, sus jaulas se encuentran ubicadas dentro de las siguientes coordenadas:

**Tabla 5.** Coordenadas del polígono de ocupación de cauce del proyecto acuícola de estudio

1	10°32'32.25" N	75°01'2,0.78" O
2	10°32'32.32" N	75°00'55.71" O
3	10°32'21.58" N	75°01'2,0.68" O
4	10°32'21.42" N	75°00'54.42" O

**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018

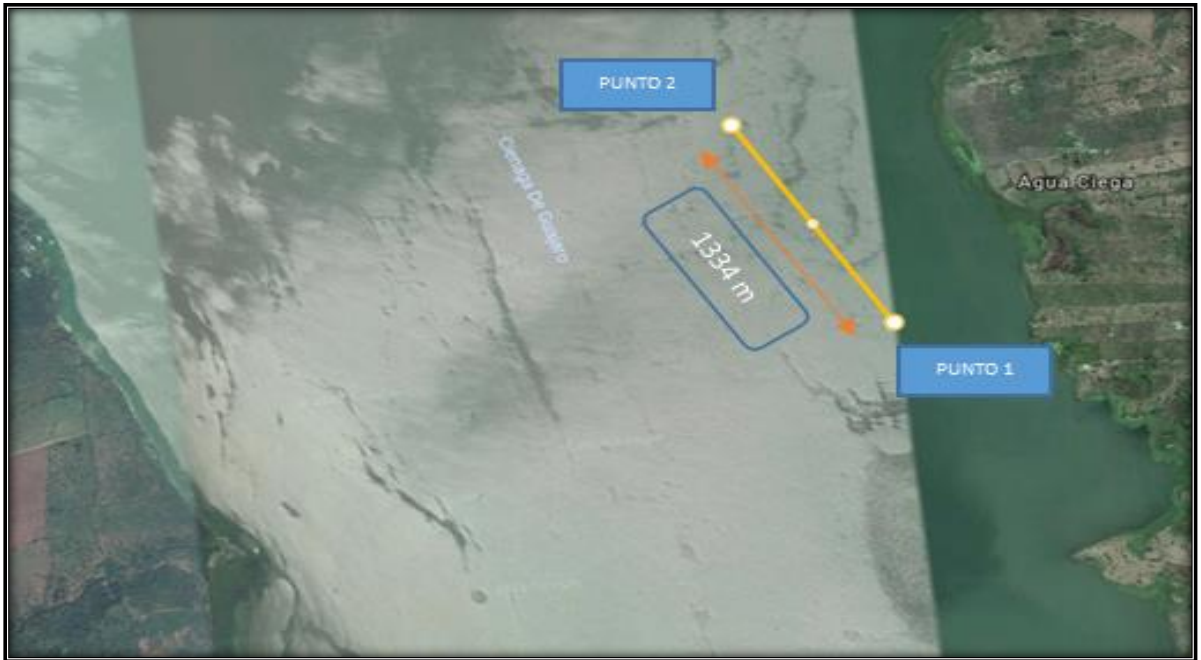
La empresa cuenta con los correspondientes permisos de Concesión de Aguas y Ocupación de Cauces, otorgados por la Corporación Autónoma Regional del Atlántico, para un espejo de agua de 15 hectáreas de extensión, para realizar las actividades de cría, levante y engorde de tilapia roja (*Oreochromis niloticus*).

La estación acuicola posee un total de 35 jaulas octogonales de 173.8 m<sup>3</sup>, construidas en hierro galvanizado, las que poseen 2 mallas perimetrales con fondo de ojo de ½ “en nylon para evitar la fuga de peces y malla antipajaros para el manejo de aves de rapiña. Las jaulas se encuentran ancladas con varillas de hierro galvanizado al fondo del embalse. Se guardan los parámetros establecidos en el artículo primero de la Resolución 461 de 1995 de Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

La densidad de carga de la tilapia en las jaulas es de 2 peces/m<sup>2</sup>. Se siembran 40.000 alevinos semanales, la producción es continua durante el año, los peces se cosechan de 450 a 500 gramos de peso vivo. El ciclo de producción es de 180 días. Las mortalidades se encuentran por debajo del 25%. Se utiliza concentrado para la alimentación de los peces iniciando con 40% de proteína en harina para los alevinos, se baja a 30% en levante y se finaliza con concentrado al 25%, estos dos últimos concentrados se suministran en forma estrudizada. El pescado se comercializa en Barranquilla. La producción promedio mensual es de 3.8 toneladas mensuales. Dentro del agua se observan 2 barcazas, una que es utilizada para labores de post-cosecha y una bodega flotante para el concentrado. El tipo de jaulas utilizado se observa en la figura 6.

**5.2.2. Áreas y estaciones de Muestreo:** El estudio de investigación se desarrolló en dos áreas del Embalse del Guajaro (Figura 8), un área donde se encuentra infraestructura de jaulas para la producción acuícola de peces, y un área sin la presencia de esta infraestructura de jaulas, pero con similares características, se realizaron muestreos de agua y sedimentos entre los meses de enero a julio de 2018. Dentro de cada área se tomaron tres estaciones de muestreo que se determinaron bajo coordenadas geográficas con la ayuda de un GPS marca GARMIN, para un total de seis estaciones de muestreo.

**Figura 8.** Imagen satelital de las áreas de estudio



**Fuente.** Imagen Tomada de Google Earth, Enero 2018

**Figura 7.** Tipo de jaula utilizada en el proyecto investigado



**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018

En cada estación se realizó muestreo a 3 profundidades diferentes (0,0 m ; 2,0 m y 3,0 m); a fin de comparar el comportamiento de los parámetros y establecer el impacto a la columna de agua y a los sedimentos del fondo del embalse. Tabla 6.

**Tabla 6.** Ubicación de las áreas de estudio

AREAS DE MUESTREO	DESCRIPCION DE LAS AREAS	COORDENADAS
P1. Área con presencia de jaulas	Jaulas de producción de peces	10°32'22.77"N 75° 1'7.02"O
P2. Punto Testigo	Sin presencia de jaulas con las mismas características de P1	10°32'57.65"N 75° 1'23.82"O

**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018 Figura 8.

**Figura 9.** Muestreos en el punto control y área con jaulas



**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018

Las distancias entre las jaulas son las siguientes expresadas en metros: Entre el punto con jaulas y el punto testigo hay 2,069 metros. Perímetro total del área de estudio de 22.2 ha. Figura 9.

### 5.3. SELECCIÓN Y TAMAÑO DE LA MUESTRA

La muestra a la cual se le aplicó el conjunto de instrumentos y técnicas se seleccionó al azar dentro de la estación piscícola tres estaciones de muestreo, para el punto testigo se tomó un área al azar dentro de la zona centro del Embalse del Guajaro, igualmente se muestreo en tres estaciones. En las 6 estaciones se muestreo a tres diferentes profundidades en tres fechas diferentes.

**5.3.1. Tamaño de la muestra de los parámetros físico-químicos.** Para establecer el tamaño de la muestra se trabajó con un nivel de confianza del 95% y un error máximo permisible del 3%. Teniendo una población de 2 áreas con 3 estaciones cada una. La fórmula utilizada para obtener la muestra es la siguiente:

MUESTRA

$$n_0 = \frac{Z^2 * P Q}{e^2}$$

Donde

$N_0$ = Tamaño de la muestra

Z= 95% Nivel de confianza =  $1-\alpha$ = 1.96

e=0.03

P= 0.5

Q=0.5

$$n_0 = \frac{(1.96)^2 * (0.5 * 0.5)}{0.03^2}$$

$$n_0 = \frac{3.8416 * (0.25)}{0.0009}$$

$$n_0 = \frac{0.9604}{0.0009}$$

$$n_0 = 1.067,111$$

Ajuste de N.

$$n' = \frac{n_0}{1 + \left(\frac{n_0 - 1}{N}\right)}$$

$$n' = \frac{1,067}{1 + \left(\frac{1,067 - 1}{54}\right)}$$

$$n' = 54 \sim 3$$

El tamaño de muestreos correspondió a 54 para los parámetros fisicoquímicos, para que la muestra fuera estadísticamente representativa.

### 5.3.2. Tamaño de la muestra para materia orgánica y turbiedad.

$$n_0 = \frac{Z^2 * P Q}{e^2}$$

Donde

$N_0$  = Tamaño de la muestra

Z= 95% Nivel de confianza =  $1-\alpha$  = 1.96

$e=0.03$

P= 0.5

Q=0.5

$$n_0 = \frac{(1.96)^2 * (0.5 * 0.5)}{0.03^2}$$

$$n_0 = \frac{3.8416 * (0.25)}{0.0009}$$

$$n_0 = \frac{0.9604}{0.0009}$$

$$n_0 = 1.067,111$$



Ajuste de N.

$$n' = \frac{n_0}{1 + \left(\frac{n_0 - 1}{N}\right)}$$
$$n' = \frac{1,067}{1 + \left(\frac{1,067 - 1}{18}\right)}$$
$$n' = 18 \sim 3$$

Para la materia orgánica se recogieron 18 muestras y se realizaron 18 muestras de turbiedad.

#### 5.4. RECOLECCION DE LA INFORMACION

**5.4.1. Monitoreo de parámetros fisicoquímicos:** Para la medición de los parámetros fisicoquímicos, oxígeno disuelto, temperatura, pH, conductividad eléctrica, se utilizó una sonda multiparametros marca HANNA INSTRUMENTS HI9829, modelo 2015. Figura 10.

Los parámetros DBO, DQO, SST, Fosfatos, Nitratos se determinaron por el método volumétrico. Estos parámetros se tomaron y analizaron a tres profundidades de la columna de agua (0,0 m, 2,0 m y 3.3 m) en cada una de las dos estaciones de muestreo. Todas las muestras fueron recogidas y analizadas con base en métodos y procedimientos estandarizados de acuerdo al Standard Methods a través de un laboratorio acreditado por el IDEAM. Tabla 7.

**Figura 10.** Sonda multiparametros HANNA INSTRUMENTS HI9829



**Fuente.** Catalogo HANNA INSTRUMENTS HI9829

**Tabla 7.** Metodología de medición parámetros físico-químicos

VARIABLE	METODOLOGIA
DBO5 (mg O <sub>2</sub> /L)	SM Prueba DBO 5210 B Ed. 22 /2012
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	SM Reflujo Cerrado Colorimétrico 5220 D
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	SM Gravimétrico 2540 D Ed. 22 /2012
Nitratos (mg NO <sub>3</sub> /L)	SM Espect. Uv 4500 NO <sub>3</sub> -B Ed. 22 /2012
Fosfato (mg P-PO <sub>4</sub> /L)	SM Espectrofotométrico 4500 P-E Ed. 22 /2012

**Fuente.** IDEAM 2014

**5.4.2. Análisis de nutrientes:** Se tomó muestras simples de agua a tres profundidades diferentes en las seis estaciones de muestreo (0,0 ; 2,0 metros y 3,3 metros), para realizar las mediciones de nitratos, fosfatos, SST , DBO y DQO.

**5.4.3. Sedimentos:** Se realizó el muestreo del sedimento bajo las 2 áreas de estudio; de forma directa en las tres estaciones en cada área.

Para el muestreo de Materia Orgánica se utilizó una técnica de muestreo de fondos someros, con el uso de un nucleador, que es un tubo de PVC de aproximadamente 20 cm de diámetro, que permite realizar muestreos en zonas de baja profundidad. Este equipo es de fácil manejo, se introduce en el suelo de la laguna y se obtiene la muestra de sedimento superficial. Esta técnica de muestreo es publicada por el Programa de Biología Internacional, (Internacional Biological Programme, IBP).

Para la medición en laboratorio se utilizó el método de calcinación de la muestra del suelo. Con este método se obtienen niveles más altos del contenido de materia orgánica del suelo, ya que se volatilizan todas las formas de carbono orgánico presentes en la muestra. Este método consiste en pesar una cantidad de suelo (6 – 8 gramos) secados al aire y tamizados a 2 mm se coloca en crisoles de porcelanas secándolos en hornos a 2,05 °C hasta peso constante entre 24 y 48 horas, se enfría en desecador y luego se pesa, al final calcinamos en una mufla a 650 – 700 °C durante 3 a 4 horas. Se retira de la mufla, se deja enfriar en desecador y se pesa la diferencia de pesos entre el antes y después de calcinar se la expresa como % de MO que tenía el suelo.

## **5.5. ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS**

Los datos recolectados fueron procesados para su presentación, mediante los programas STAT PLUS 2009, XLSTAT 2018, utilizando métodos de estadística descriptiva, en tablas de frecuencia, medidas de tendencia central y de dispersión y gráficas estadísticas. En todos los casos se indica la media, mediana y se estableció si cumplían con los supuestos estadísticos de normalidad, mediante las pruebas de Chi-cuadrado, la prueba T Student y Z para sesgo, de las cuales, por lo menos una debe verificar la hipótesis de que las muestras provienen de una población con distribución normal; para establecer el supuesto de homogeneidad de varianzas. Después de establecer que no existen datos atípicos, se efectuó un análisis de varianza (ANOVA), para cada una de las variables, con el fin de determinar la existencia de diferencias significativas entre las áreas de muestreo, en cuyo caso se aplicó pruebas de comparación múltiple de Tukey, para identificar diferencias significativas entre las medias. Para los datos no paramétricos se aplicó el Test de U de Mann-Whitney, calculando el IQR, para los datos a los que no aplicaba la normalidad.

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

Después de establecer que no existen datos atípicos, se efectuó un análisis de varianza (ANOVA), para cada una de las variables, con el fin de determinar la existencia de diferencias significativas entre las áreas de muestreo, en cuyo caso se aplicó pruebas de comparación múltiple de Tukey, para identificar diferencias significativas entre las medias.

## 5.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Los datos relacionados con los parámetros productivos se analizaron con un diseño completamente al azar (Kaps, & Lamberson, 2017), de acuerdo con el modelo presentado en la siguiente ecuación.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$$

**Donde:**

$Y_{ij}$ = Valor de la variable de respuesta de la unidad experimental asociada al tratamiento i-esimo, repetición j-esima.

$\mu$ = Promedio general de la variable de respuesta en el experimento

$T_i$ = Efecto del tratamiento i-esimo.

$\epsilon_{ij}$ = Error asociado a la unidad experimental del tratamiento i-esimo, repetición j-esima

La investigación se baso en un diseño experimental, enfocado en establecer relaciones de causa-efecto, para lo cual se tomo dos áreas del Embalse del Guajaro (grupos experimentales):

- Area 1 con presencia de jaulas de producción acuícola de tilapia roja (Variable dependiente).

- Area 2 otro punto del embalse de iguales condiciones pero sin presencia de jaulas de producción acuícola u otra actividad que sirvió de punto control pues no se encuentra influenciada por la actividad acuícola en jaulas.
- Se seleccionaron al azar tres estaciones de monitoreo en el área 1 y tres estaciones en el punto control, y se realizó la toma de muestras de agua en tres profundidades diferentes en cada una de ellas. Dentro de cada estación se realizó muestreo de sedimentos. Los muestreos se realizaron paralelamente en tiempo para evitar la variación climatológica los horarios de muestreo fueron de 8 a.m a 11 a.m. Se realizaron tres muestreos en fechas diferentes 09 de enero, 19 de febrero y 19 de marzo.
- Variable independiente la presencia de estación acuícola de producción de tilapia roja en jaulas (infraestructura, peces, alimentos concentrados, desechos organicos de los peces, medicamentos, etc).
- Variables dependientes parámetros físico-químicos en agua y materia organica en sedimentos.

## **5.7. METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL AGUA Y SEDIMENTOS DEL EMBALSE DEL GUAJARO**

La valoración de los impactos ambientales se realizó mediante una modificación del método Battelle-Columbus, elaborado para la planificación y gestión de recursos hídricos en Estados Unidos. Se modificaron los valores asignados a los índices ponderales e incluso sus componentes, como lo recomienda el propio laboratorio (Battelle- Columbus Laboratories, 1972).

La metodología se basa en una lista de indicadores de impacto, que representan una unidad o un aspecto del medio ambiente que merece considerarse por separado y cuya evaluación es representativa del impacto ambiental derivado de las acciones o proyectos.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. ANALISIS DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

**Tabla 8.** Valores promedio de los parámetros físico-químicos, evaluados por áreas y profundidades de muestreo

PARÁMETRO	PROFUNDIDAD	ÁREA 1 (jaulas)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	ÁREA 2 (Testigo)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)
OD (mg/L)	0,0 metros	4,88±0,16 <sup>a*</sup>	9,8	5,04±0,0 <sup>a*</sup>	0
	2,0 metros	4,68±0,20 <sup>b</sup>	13,1	5,04±0,0 <sup>a</sup>	0
	3,3 metros	4,13±0,16 <sup>c</sup>	11,3	5,09±0,0 <sup>b</sup>	0
T° (°C)	0,0 metros	30,50±0,42 <sup>a</sup>	4,1	30,20±0,493 <sup>a</sup>	4,9
	2,0 metros	29,35±0,47 <sup>b</sup>	4,8	29,70±0,348 <sup>b</sup>	3,5
	3,3 metros	27,63±0,20 <sup>c</sup>	2,1	27,87±0,25 <sup>c</sup>	2,7
CE (µS/cm)	0,0 metros	849,72±56,28 <sup>a</sup>	19,9	364,00±55,95 <sup>a</sup>	0
	2,0 metros	815,25±59,82 <sup>b</sup>	22,0	247,50±78,65 <sup>b</sup>	56,5
	3,3 metros	735,63±58,46 <sup>c</sup>	23,8	332,33±58,75 <sup>c</sup>	1,4
pH	0,0 metros	8,67±0,01 <sup>a</sup>	0,4	8,75±0,08 <sup>a</sup>	2,6
	2,0 metros	8,60±0,00 <sup>b</sup>	0,1	8,62±0,00 <sup>b</sup>	0
	3,3 metros	8,67±0,01 <sup>c</sup>	0,3	8,62±0,00 <sup>c</sup>	0
SST (mg/L)	0,0 metros	25,53±1,83 <sup>a</sup>	21,5	13,97±0,45 <sup>a</sup>	9,8
	2,0 metros	21,64±1,45 <sup>b</sup>	20,1	16,24±1,20 <sup>b</sup>	22,2
	3,3 metros	12,66±0,84 <sup>c</sup>	19,9	14,54±0,09 <sup>c</sup>	1,9
DQO	0,0 metros	50,13±0,20 <sup>a</sup>	1,2	25,35±0,25 <sup>a</sup>	1,3
	2,0 metros	54,67±0,50 <sup>b</sup>	2,7	29,61±0,25 <sup>b</sup>	1,2
	3,3 metros	59,27±0,92 <sup>c</sup>	4,7	32,30±0,63 <sup>c</sup>	2,7
DBO	0,0 metros	25,05±0,24 <sup>a</sup>	2,9	11,20±0,12 <sup>a</sup>	3,1
	2,0 metros	26,42±0,36 <sup>b</sup>	4,1	18,37±2,81 <sup>b</sup>	45,9
	3,3 metros	28,07±0,34 <sup>c</sup>	3,6	15,60±0,17 <sup>c</sup>	3,3
Transparencia		52,61±3,16 <sup>a</sup>	18,0	76,33±1,15 <sup>a</sup>	4,5

a,b,c: Diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). \* = Promedio  $\pm$  Error estándar.

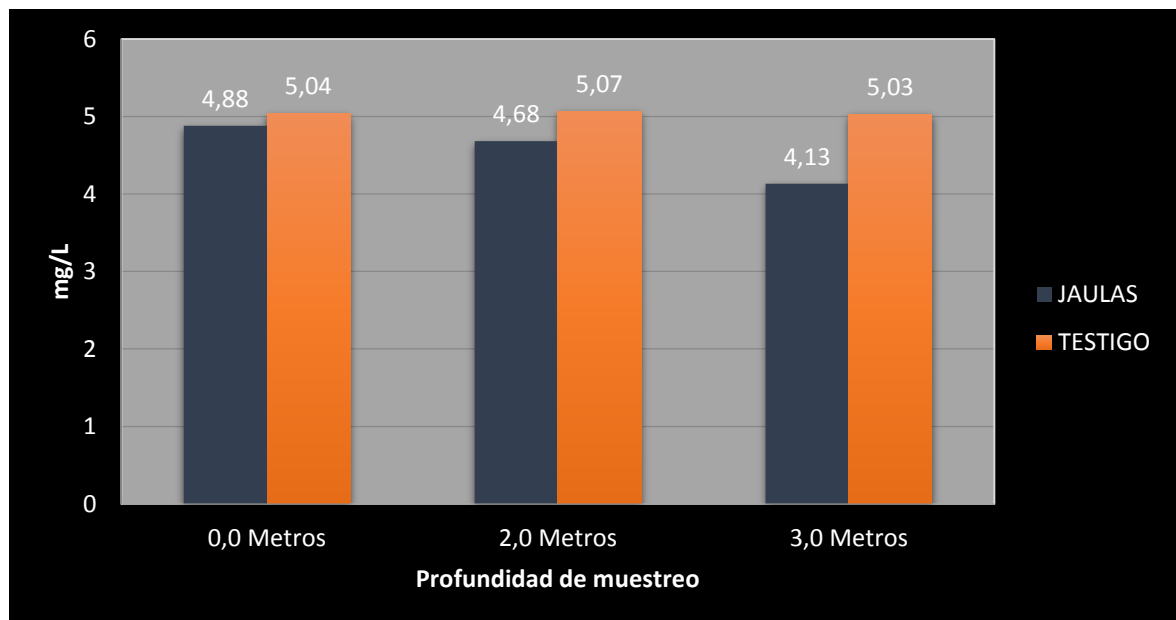
**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018



El análisis de parámetros fisicoquímicos, estimo el promedio para cada variable tomando como base los 54 datos tomados in situ en las dos áreas de muestreo (punto con jaulas y el punto testigo) (Anexo 1). En la Tabla 8 se registraron los valores promedio de los parámetros físico-químicos con sus respectivos errores estándar y coeficiente de variación, evaluados por áreas y profundidades de muestreo (Anexo 2).

**6.1.1. Oxígeno disuelto OD.** En la medición correspondiente a la superficie se registró  $5,04 \pm 0,0$  mg/L para el punto testigo y un valor de  $4,88 \pm 0,16$  mg/L para el punto con jaulas. Para la profundidad de 2,0 metros, se obtuvo un valor de  $5,04 \pm 0,0$  mg/L para el punto testigo; y un valor de  $4,68 \pm 0,20$  mg/L para el punto con jaulas, finalmente para la profundidad de 3,3 metros se obtuvieron valores correspondientes a  $4,13 \pm 0,16$  mg/L, para el punto con jaulas y  $5,09 \pm 0,0$  mg/L para el punto testigo. (Figura 9).

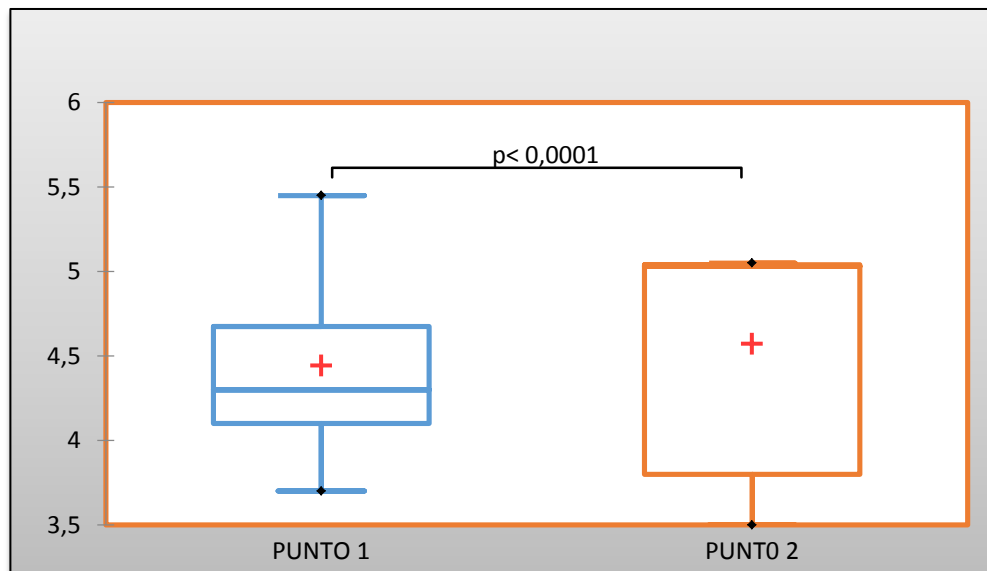
**Figura 11.** Valores promedio de Oxígeno Disuelto (mg/L) de las áreas y profundidades de monitoreo.



Fuente: Urbano M., C. P., 2018

En el análisis estadístico para Oxígeno Disuelto (Anexo 3), la prueba de Mann-Whitney permite establecer que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las dos áreas de muestreo así como entre las diferentes profundidades en cada área, como se muestra en la figura 10.

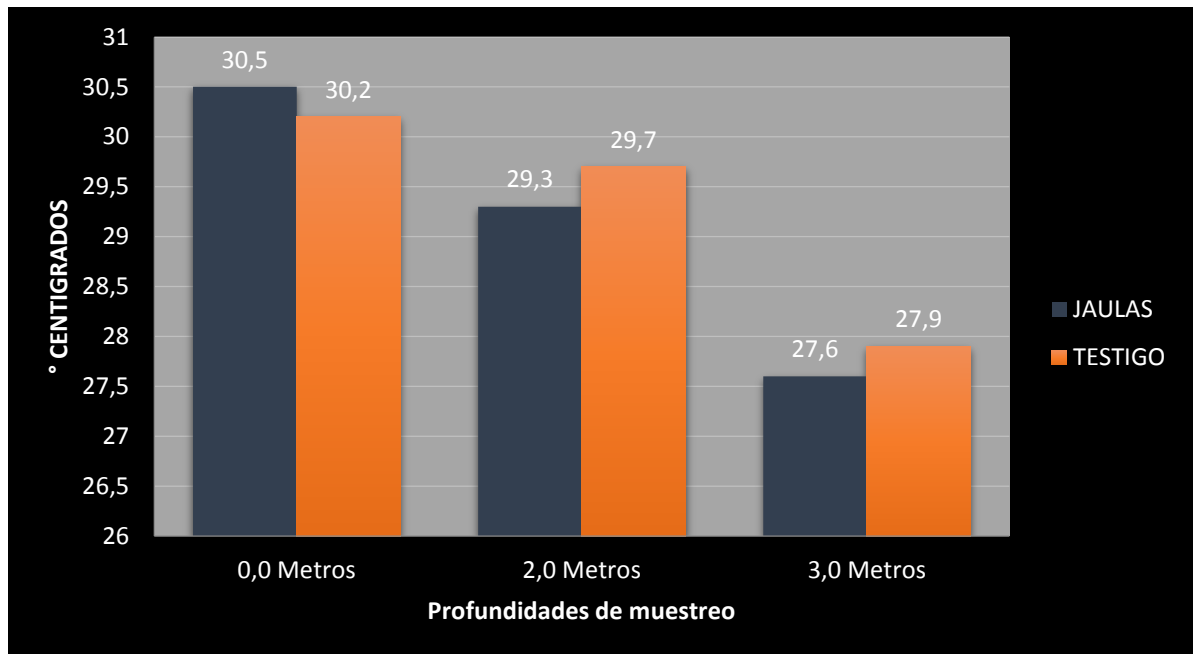
**Figura 12.** Prueba de Mann-Whitney para Oxígeno Disuelto.



**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018

**6.1.2. Temperatura (°C).** Para el estudio la temperatura disminuye a medida que aumenta la profundidad, los valores en las dos áreas de muestreo fueron para el punto testigo de  $30,20 \pm 0,49^\circ\text{C}$  en la superficie (0,0 metros),  $29,70 \pm 0,348$  a 2,0 metros de profundidad y  $27,87 \pm 0,25$  °C en el fondo (3,3 metros), y para el punto con jaulas de  $30,50 \pm 0,42^\circ\text{C}$  en la superficie (0,0 metros),  $29,53 \pm 0,47$  a 2,0 metros de profundidad y  $27,63 \pm 0,20$  °C en el fondo (3,3metros), (Figura 11).

**Figura 13.** Valores promedio de temperatura (°C) en las áreas y profundidades de muestreo.

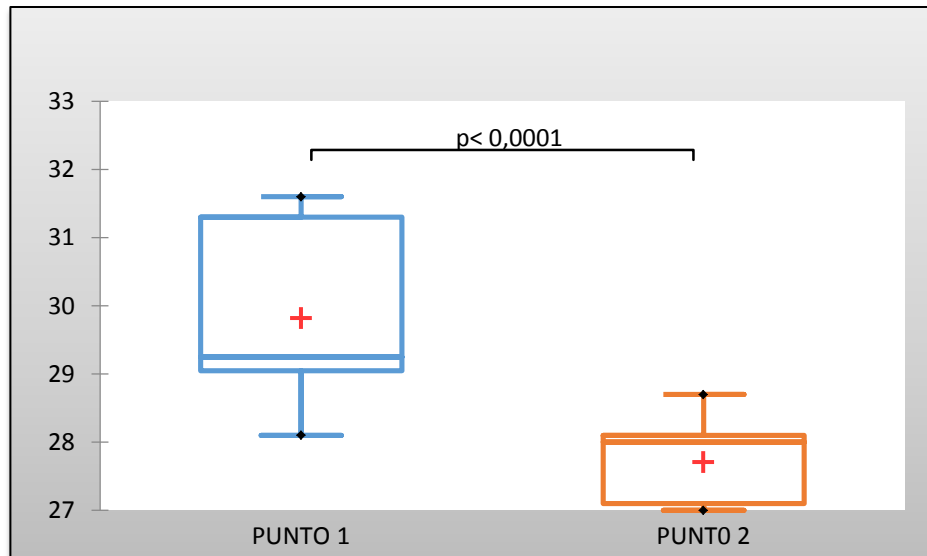


**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas de muestreo, al igual que entre las profundidades ( $p < 0,05$ ). La prueba de Mann-Whitney (Anexo 4), permite establecer que hay diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medias de las dos áreas de muestreo, como se muestra en la figura 12.

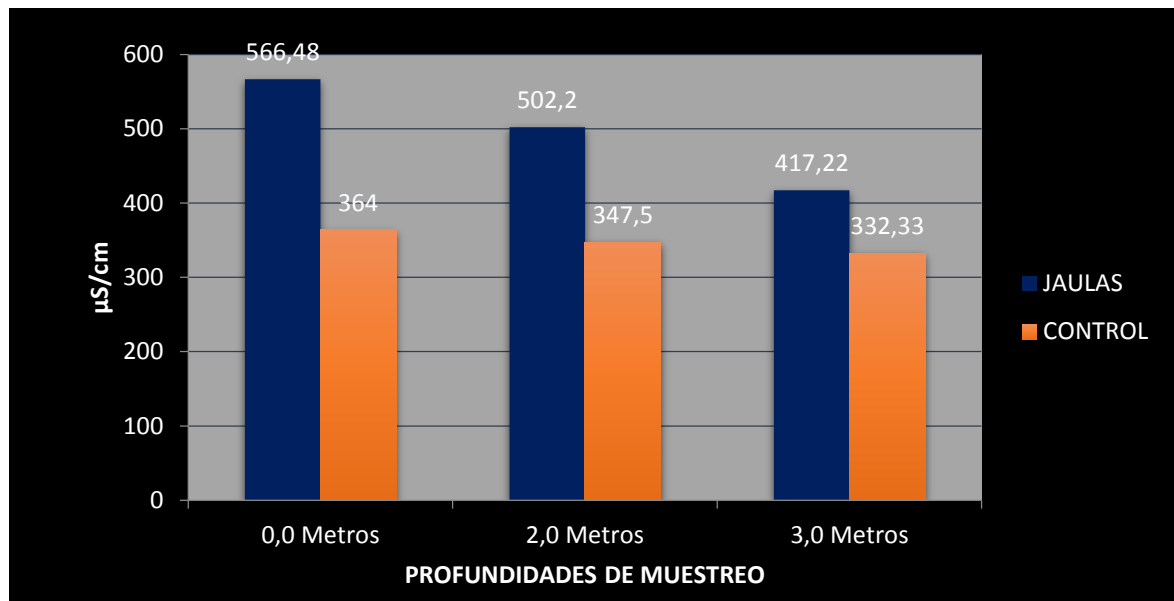
**6.1.3. Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).** Para el área con presencia de jaulas se presentan valores de  $849,72 \pm 56,28 \mu\text{S}/\text{cm}$ ;  $815,25 \pm 59,82 \mu\text{S}/\text{cm}$  y  $735,63 \pm 58,46 \mu\text{S}/\text{cm}$ , a 0,0; 2,0 y 3,3 metros respectivamente; para el punto testigo los valores fueron  $364,00 \pm 55,95 \mu\text{S}/\text{cm}$  para 0,0 metros,  $247,50 \pm 78,65 \mu\text{S}/\text{cm}$  para 2,0 metros y  $332,33 \pm 58,75 \mu\text{S}/\text{cm}$  a 3,3 metros de profundidad (Figura 13).

**Figura 14.** Prueba de Mann-Whitney para Temperatura.



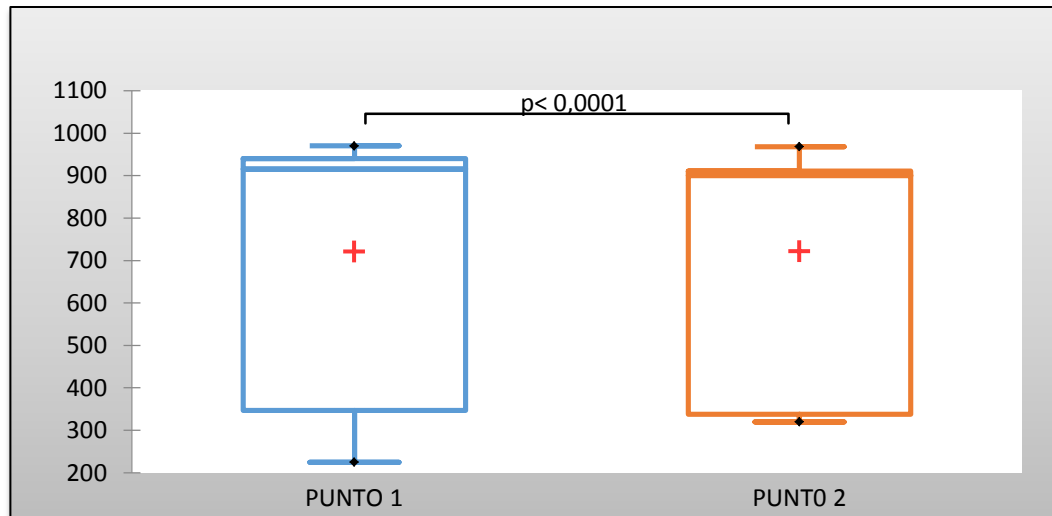
**Fuente:** Urbano M., C. P., 201

**Figura 15.** Valores promedio de conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en las áreas y profundidades de muestreo



**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018

**Figura 16.** Prueba de Mann-Whitney Conductividad Eléctrica.

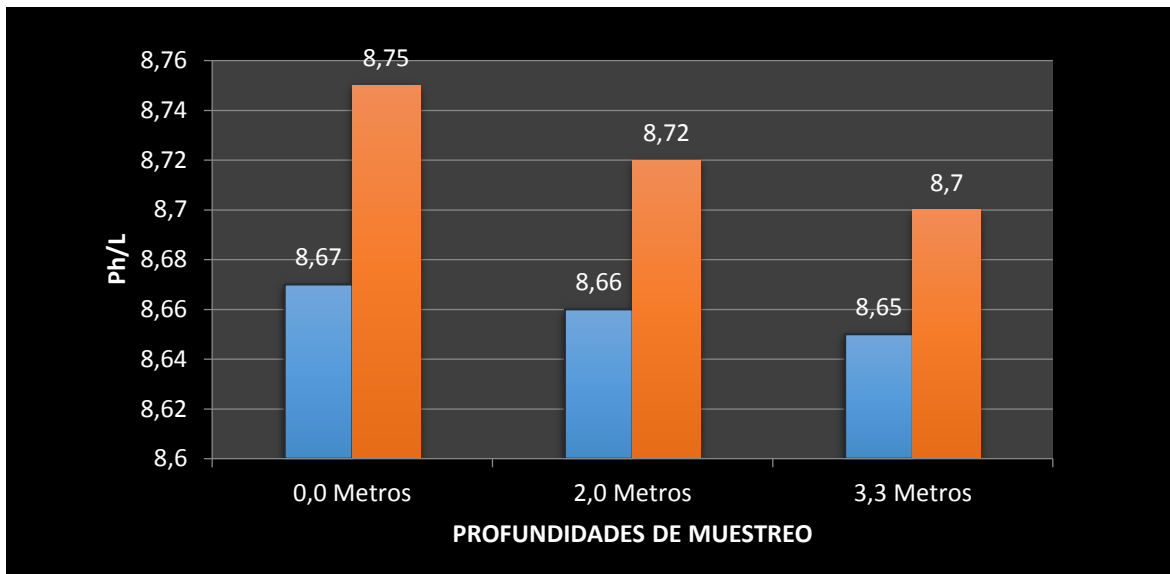


**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018.

**6.1.4. Potencial de Hidrógeno.** Los valores de pH presentan una tendencia básica y similar entre las dos áreas y profundidades de muestreo; a medida que aumenta la profundidad, el pH tiende a disminuir. Los valores a 0,0 metros de profundidad fluctúan entre  $8,67 \pm 0,01$  en punto con jaulas; y  $8,75 \pm 0,08$  para el punto testigo. Para la medición a 2,0 metros, se presentan valores de  $8,60 \pm 0,00$  y  $8,62 \pm 0,00$  para punto con jaulas y el punto testigo respectivamente; y finalmente a 3,3 metros de profundidad se obtuvieron valores de  $8,67 \pm 0,01$  para el punto con presencia de jaulas; y  $8,62 \pm 0,00$  para el punto testigo. (Figura 15).

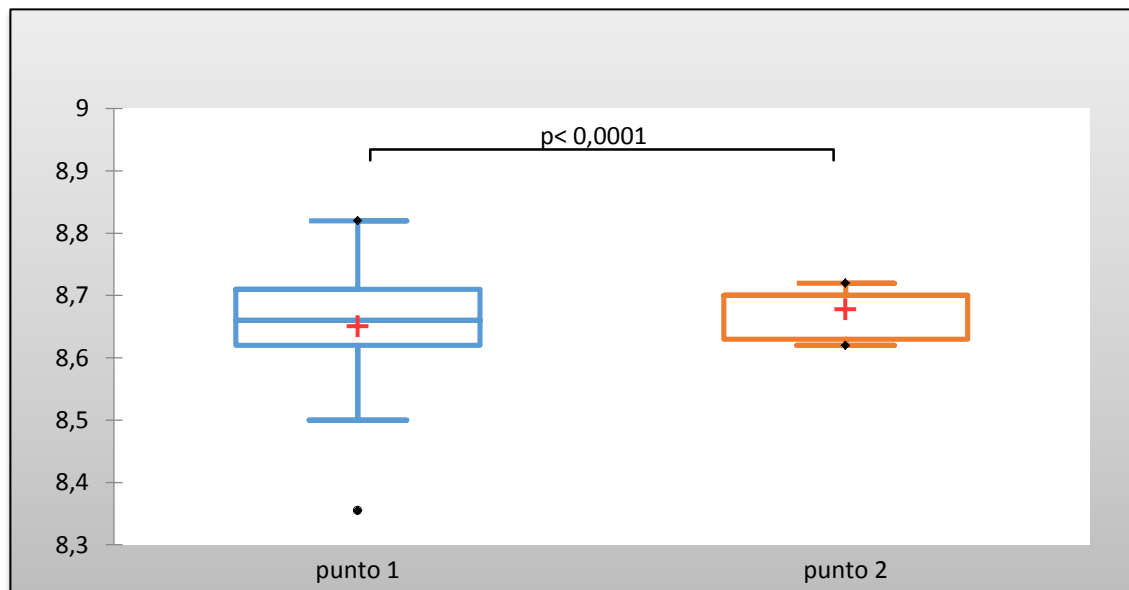
El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas de muestreo, al igual que entre las profundidades ( $p < 0,05$ ). La prueba de Mann-Whitney (Anexo 6), permite establecer que hay diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medias de las dos áreas de muestreo, como se muestra en la figura 16.

**Figura 17** . Valores promedio de potencial de Hidrógeno (pH) en las áreas y profundidades de muestreo



Fuente: Urbano M., C. P., 2018.

**Figura 18** Prueba de Mann-Whitney Potencial de Hidrógeno.

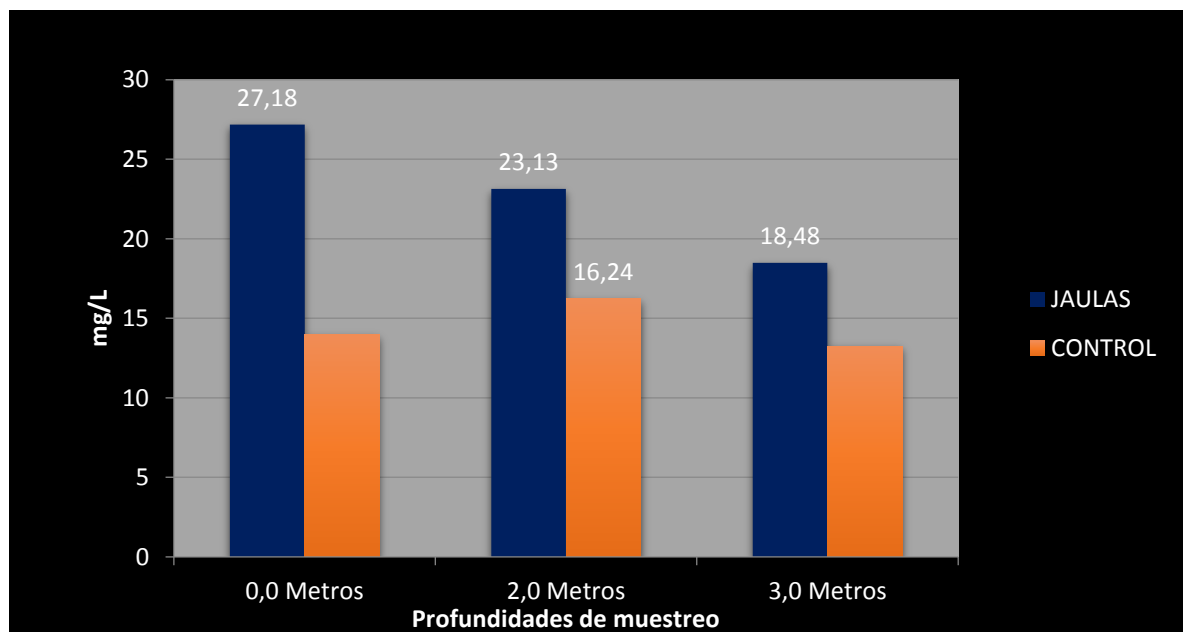


Fuente: Urbano M., C. P., 2018.

Los resultados demuestran que el pH tiende a acidificarse a medida que aumenta la profundidad y se presenta mayor contacto con los sedimentos, de igual forma los valores tendientes a la mayor basicidad corresponden al punto testigo donde no hay intervención de cultivos acuícolas (Figura 15).

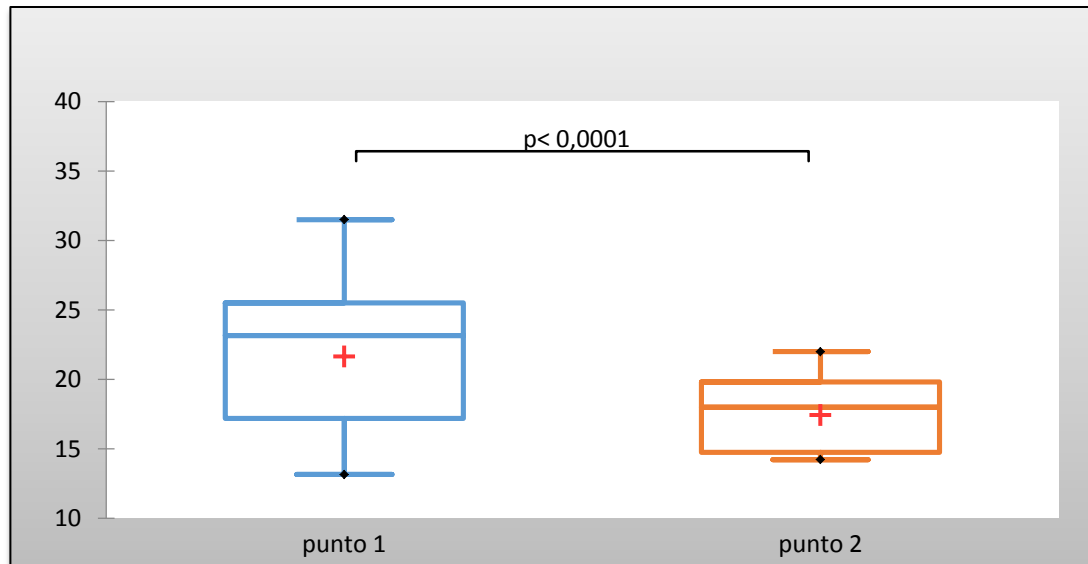
**6.1.5. Sólidos Suspendidos Totales.** En la medición correspondiente a la superficie, se registró  $13,97 \pm 0,45$  mg/l para el punto testigo y un valor de  $25,53 \pm 1,83$  mg/l para el punto con presencia de jaulas. Para la profundidad de 2,0 metros, se obtuvo un valor de  $16,24 \pm 1,20$  mg/l para el punto testigo; y un valor de  $21,64 \pm 1,45$  mg/l para el punto con jaulas; finalmente para la profundidad de 3,3 metros se obtuvieron valores correspondientes a  $12,66 \pm 0,84$  mg/l, para punto con jaulas y  $14,54 \pm 0,09$  mg/l para el punto testigo (Figura 17).

**Figura 19.** Valores promedio de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en las áreas y profundidades de muestreo



Fuente: Urbano M., C. P., 2018.

**Figura 20.** Prueba de Mann-Whitney para Solidos Suspendedos Totales.



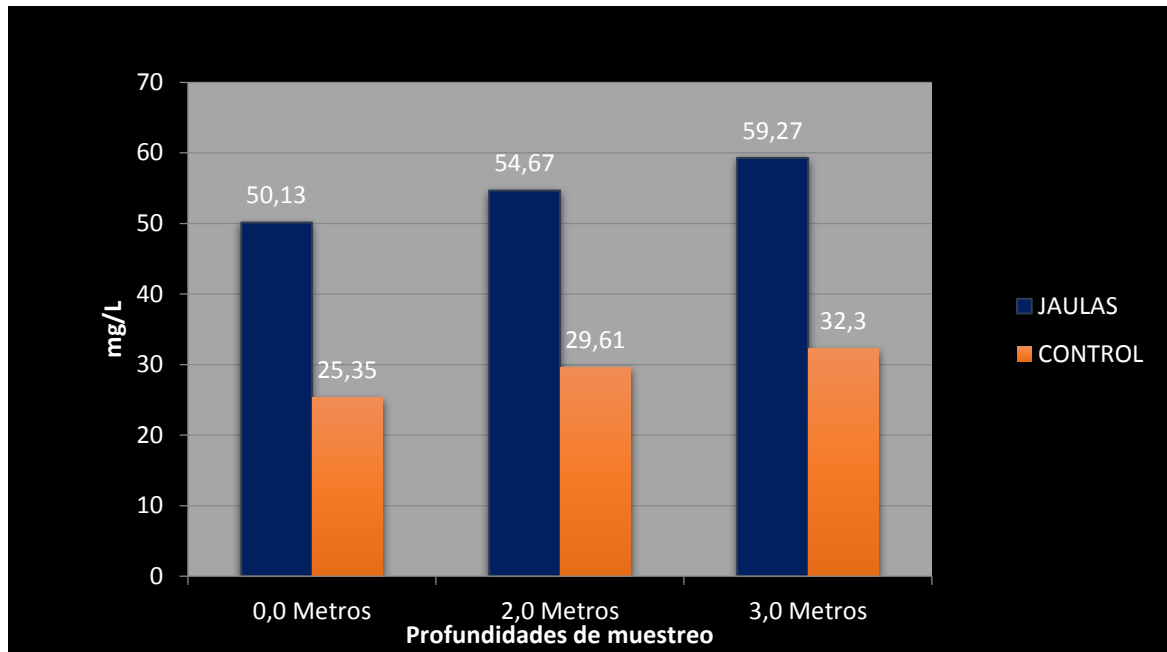
**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018.

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas de muestreo, al igual que entre las profundidades ( $p < 0,05$ ). La prueba de Mann-Whitney permite establecer que hay diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medias de las dos áreas de muestreo, como se muestra en la figura 18.

**6.1.6. Demanda Química De Oxígeno DQO.** En la medición correspondiente a la superficie, se registró  $25,35 \pm 0,25$  mg/l para el punto testigo y un valor de  $50,13 \pm 0,20$  mg/l para punto con presencia de jaulas. Para la profundidad de 2,0 metros, se obtuvo un valor de  $29,61 \pm 0,25$  mg/l para el punto testigo; y un valor de  $54,67 \pm 0,50^b$  mg/l para el punto con jaulas; finalmente para la profundidad de 3,3 metros se obtuvieron valores correspondientes a  $59,27 \pm 0,92$  mg/l, para el punto con jaulas; y  $32,30 \pm 0,63$  mg/l para el punto testigo. (Figura 19).



**Figura 21.**Valores promedio de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las áreas y profundidades de muestreo

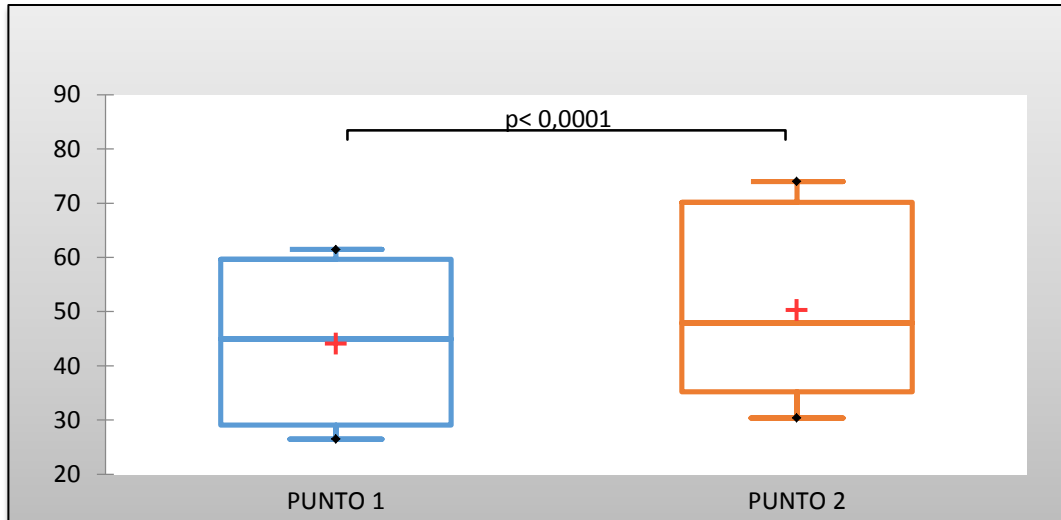


**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018

Dichos resultados demuestran que la demanda química de oxígeno DQO, aumenta a medida que aumenta la profundidad en la columna de agua y se hace evidente que los mayores valores se obtuvieron en el área 1 correspondiente al área con presencia de jaulas (Figura 19).

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas de muestreo, al igual que entre las profundidades ( $p < 0,05$ ). La prueba de Mann-Whitney (Anexo7); permite establecer que hay diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medias de las dos áreas de muestreo, como se muestra en la figura 20.

**Figura 22.** Prueba de Mann-Whitney para Demanda Química de Oxígeno.

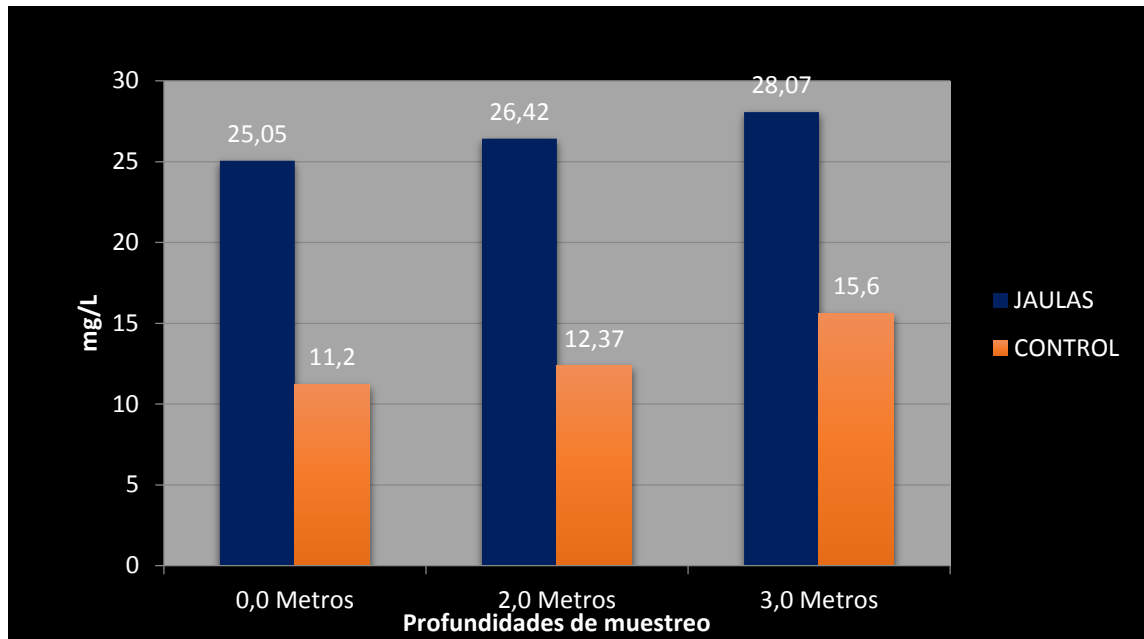


**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018.

**6.1.7. Demanda Biológica De Oxígeno DBO:** En la medición correspondiente a la superficie, se registró  $11,20 \pm 0,12$  mg/l para el punto testigo y un valor de  $25,05 \pm 0,24$  mg/l para punto con jaulas. Para la profundidad de 2,0 metros, se obtuvo un valor de  $18,37 \pm 2,81$  mg/l para el punto testigo; y un valor de  $26,42 \pm 0,36$  mg/l para el punto con jaulas; finalmente para la profundidad de 3,3 metros se obtuvieron valores correspondientes a  $28,07 \pm 0,34$  mg/l, para el punto con jaulas; y  $15,60 \pm 0,17$  mg/l para el punto testigo. (Figura 21).

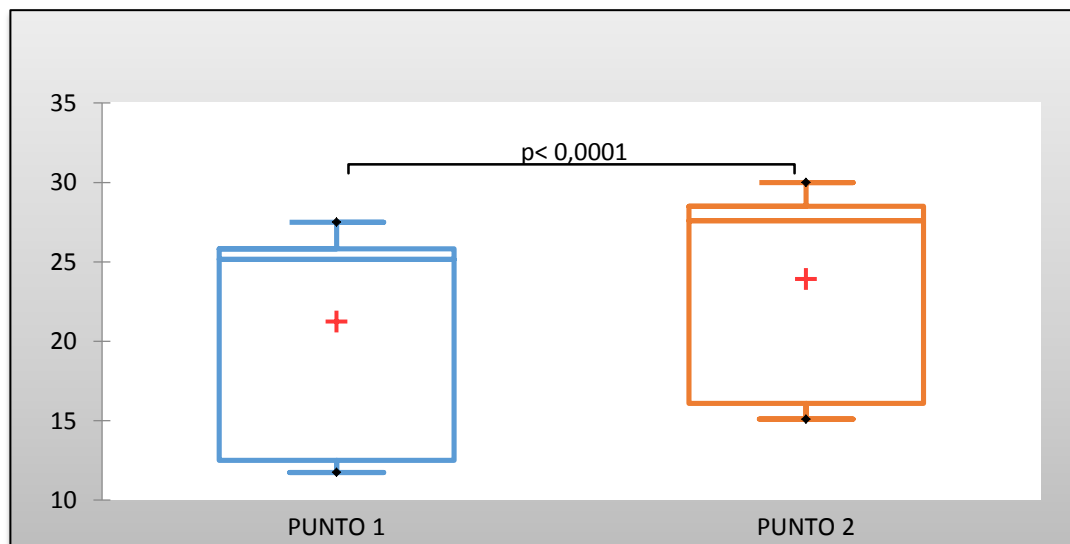
El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas de muestreo, al igual que entre las profundidades ( $p < 0,05$ ). La prueba de Mann-Whitney (Anexo8); permite establecer que hay diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medias de las dos áreas de muestreo, como se muestra en la figura 22.

**Figura 23.** Valores promedio de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) en las áreas y profundidades de muestreo



Fuente: Urbano M., C. P., 2018.

**Figura 24.** Prueba de Mann-Whitney para Demanda Bioquímica de Oxígeno.

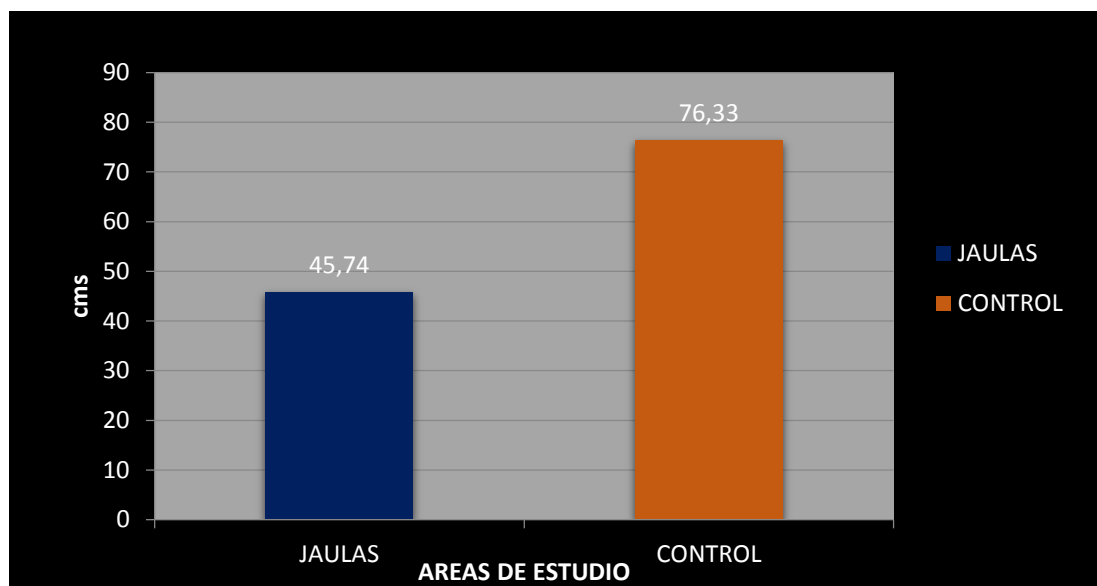


Fuente: Urbano M., C. P., 2018.

Dichos resultados demuestran que la demanda biológica de oxígeno DBO aumenta a medida que aumenta la profundidad en la columna de agua y se hace evidente que los mayores valores se obtuvieron en el área 1 correspondiente al área con presencia de jaulas.

**6.1.8. Transparencia.** En la medición correspondiente a la transparencia se registró  $76.33 \pm 1.15$  cms para el punto testigo y un valor de  $52,61 \pm 3,16$  cms para punto con presencia de jaulas, (Figura 23).

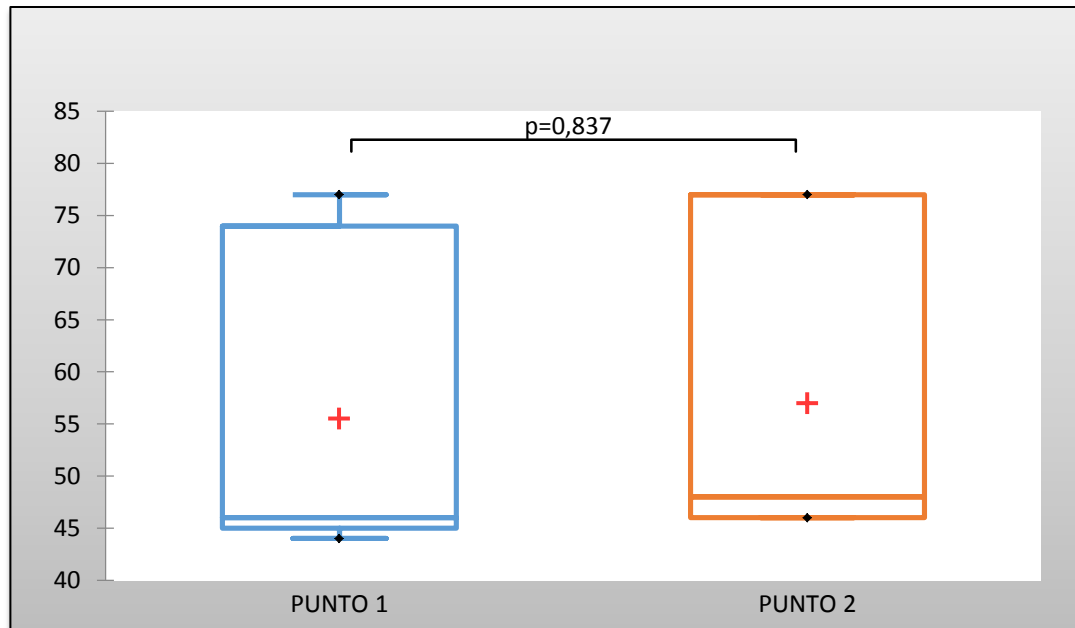
**Figura 25.** Valores promedio de la Transparencia en las áreas de muestreo.



**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas de muestreo, al igual que entre las profundidades ( $p < 0,05$ ). La prueba de T Student (Anexo 10); permite establecer que hay diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medias de las dos áreas de muestreo, como se muestra en la figura 24.

**Figura 26.** Prueba T Student para transparencia.



**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018.

## 6.2. ANALISIS DE NUTRIENTES

Para el análisis de parámetros nutrientes, se procedió a estimar el promedio para cada variable tomando como base los 54 datos tomados in situ en las dos áreas de muestreo (punto con jaulas y el punto testigo.) (Anexo 1).

En la tabla 9 se registraron los valores promedio de los nutrientes Nitratos y Fosfatos con sus respectivos errores estándar y coeficiente de variación, evaluados por áreas y profundidades de muestreo (Anexo 11).

**Tabla 9.** Valores promedio de los nutrientes Nitratos y Fosfatos, evaluados por áreas y profundidades de muestreo.

Parámetro	Profundidad (metros)	Área 1 (Jaulas)	Coefficiente de Variación (%)	Área 2 (Punto testigo)	Coefficiente de Variación (%)
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,0	0,29±0,03 <sup>a*</sup>	27,9	0,16±0,00 <sup>a*</sup>	88,4
	2,0	0,32±0,03 <sup>b</sup>	26,9	0,16±0,01 <sup>b</sup>	114,1
	3,3	0,17±0,06 <sup>c</sup>	105,3	0,01±0,00 <sup>c</sup>	17,3
Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0,0	0,06±0,0 <sup>a</sup>	21,2	0,017±0,08 <sup>a</sup>	145,8
	2,0	0,06±0,0 <sup>b</sup>	3,4	0,06±0,00 <sup>b</sup>	0,00
	3,3	0,16±0,03 <sup>c</sup>	51,1	0,07±0,00 <sup>c</sup>	0,00

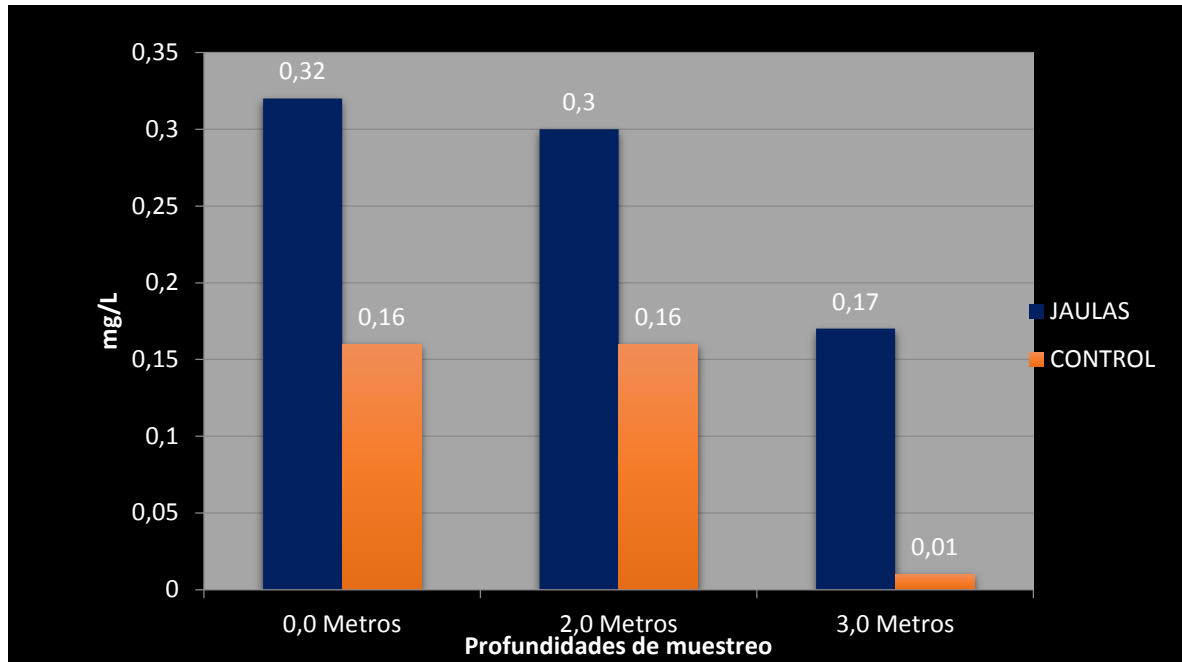
a,b,c: Diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). \* =Promedio  $\pm$  Error Estándar.

**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018

**6.2.1. Nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).** En la medición correspondiente a la superficie, se registró 0,16±0,0 mg/l para el punto testigo y un valor de 0,29±0,03 mg/l para el punto con jaulas. Para la profundidad de 2,2 metros, se obtuvo un valor de 0.16±0,01 mg/l para el punto testigo; y un valor de 0.32±0,03 mg/l para el punto con jaulas, finalmente para la profundidad de 3,3 metros se obtuvieron valores correspondientes a 0,01±0,00 mg/l, para el punto con presencia de jaulas y 0,17±0,06 mg/l para el punto testigo, (Figura 25).

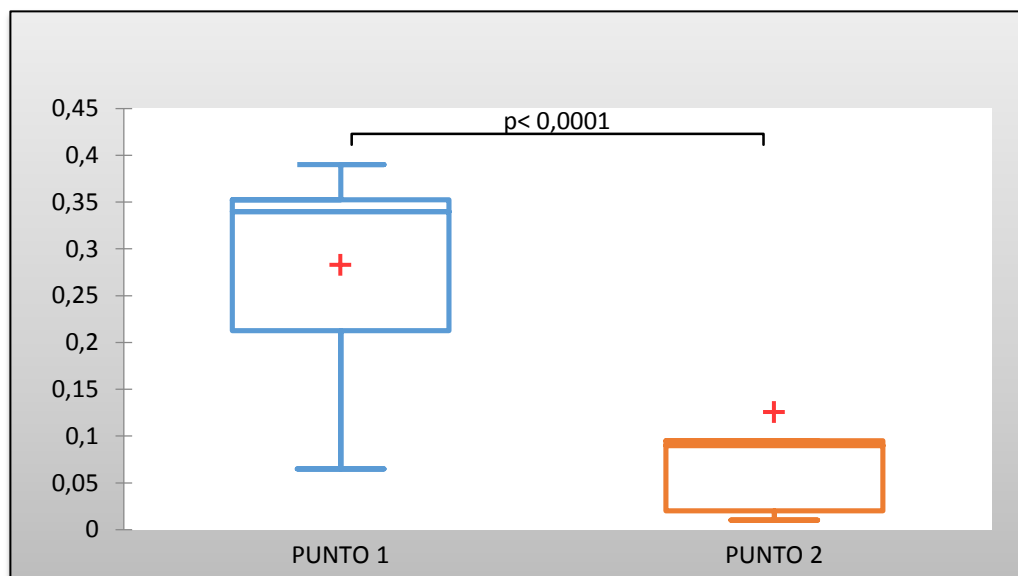
El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas de muestreo, al igual que entre las profundidades ( $p < 0,05$ ). La prueba de T Student (Anexo 12); permite establecer que no existen hay diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medias de las dos áreas de muestreo, como se muestra en la figura 26.

**Figura 27** Valores promedio Nitratos (NO<sub>3</sub>-) en las áreas y profundidades de muestreo



Fuente: Urbano M., C. P., 2018

**Figura 28.** Prueba de Mann-Whitney para Nitratos.

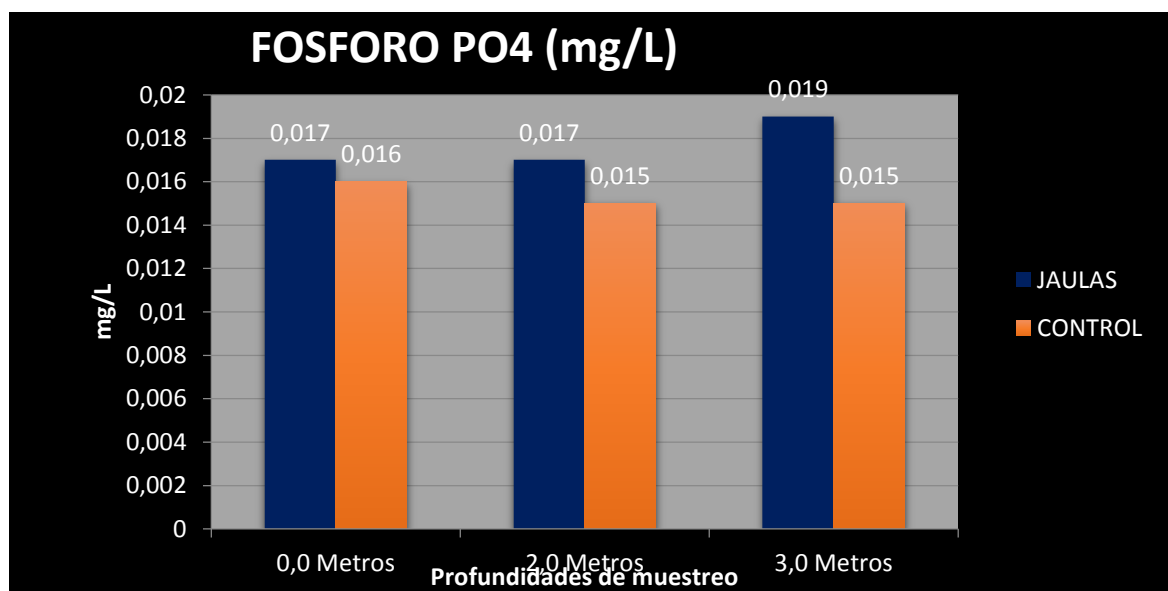


Fuente: Urbano M., C. P., 2018

**6.2.2. Fosfatos (PO4).** En la medición correspondiente a la superficie se registró  $0,017 \pm 0,08$  mg/l para el punto testigo y un valor de  $0,06 \pm 0,0$  mg/l para punto con jaulas. En la profundidad de 2,2 metros, se obtuvo un valor de  $0.06 \pm 0,0$  mg/l para el punto testigo y un valor de  $0.06 \pm 0,0$  mg/l para el punto con jaulas finalmente para la profundidad de 3,3, metros se obtuvieron valores correspondientes a  $0,16 \pm 0,03$  mg/l para punto con jaulas y  $0,07 \pm 0,0$  mg/l para el punto testigo, (Figura 27).

El análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas de muestreo, al igual que entre las profundidades ( $p < 0,05$ ). La prueba de Mann-Whitney (Anexo 13); permite establecer que no existe diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las medias de las dos áreas de muestreo, como se muestra en la figura 28.

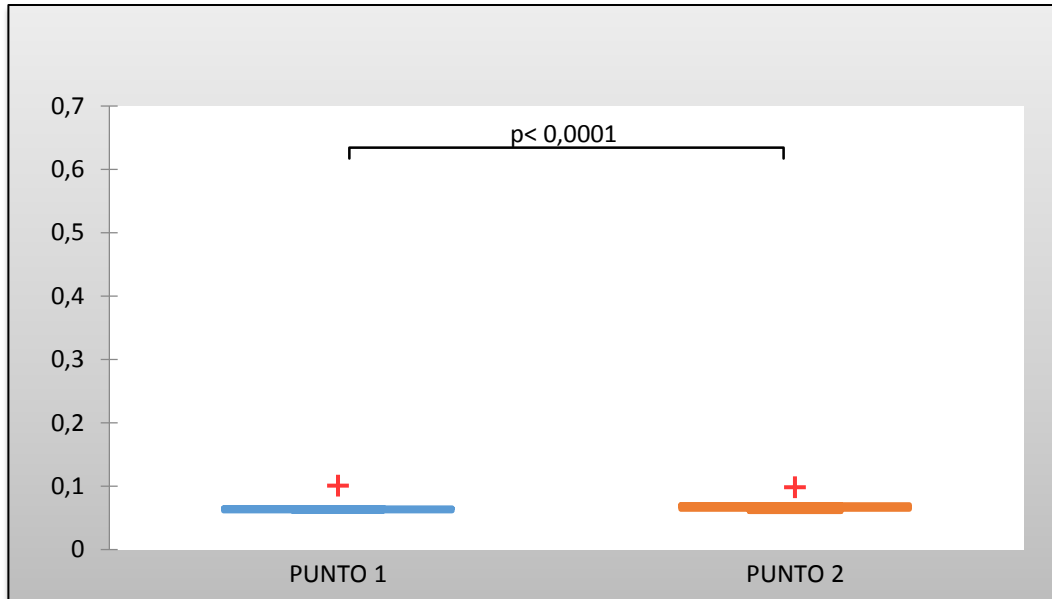
**Figura 29.** Valores promedio Fosfatos (PO4) en las áreas y profundidades de muestreo



Fuente: Urbano M., C. P., 2018



**Figura 30.** Prueba de Mann-Whitney para Fosfatos.



**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018

### 6.3 ANALISIS DE SEDIMENTOS

Para el análisis de materia orgánica, se procedió a estimar el promedio para cada variable tomando como base los 36 datos tomados in situ en las dos áreas de muestreo (punto con jaulas y el punto testigo) (Anexo 14). En la tabla 10 se registraron los valores promedio de este parámetros con sus respectivos errores estándar y coeficiente de variación, evaluados por áreas y profundidades de muestreo (Anexo 14). En la medición correspondiente a la superficie, se registró  $14.40 \pm 0,01\%$  para el punto testigo y un valor de  $40.05 \pm 0,04\%$  para punto con jaulas. Para la profundidad de 2,2 metros, se obtuvo un valor de  $13.70 \pm 0,01\%$  para el punto testigo; y un valor de  $38.50 \pm 0,03\%$  para el punto con jaulas finalmente para la profundidad de 3,3 metros se obtuvieron valores correspondientes a  $37.41 \pm 0,06\%$ , para punto con jaulas; y  $12.50 \pm 0,03\%$  para el punto testigo, (Figura 29).

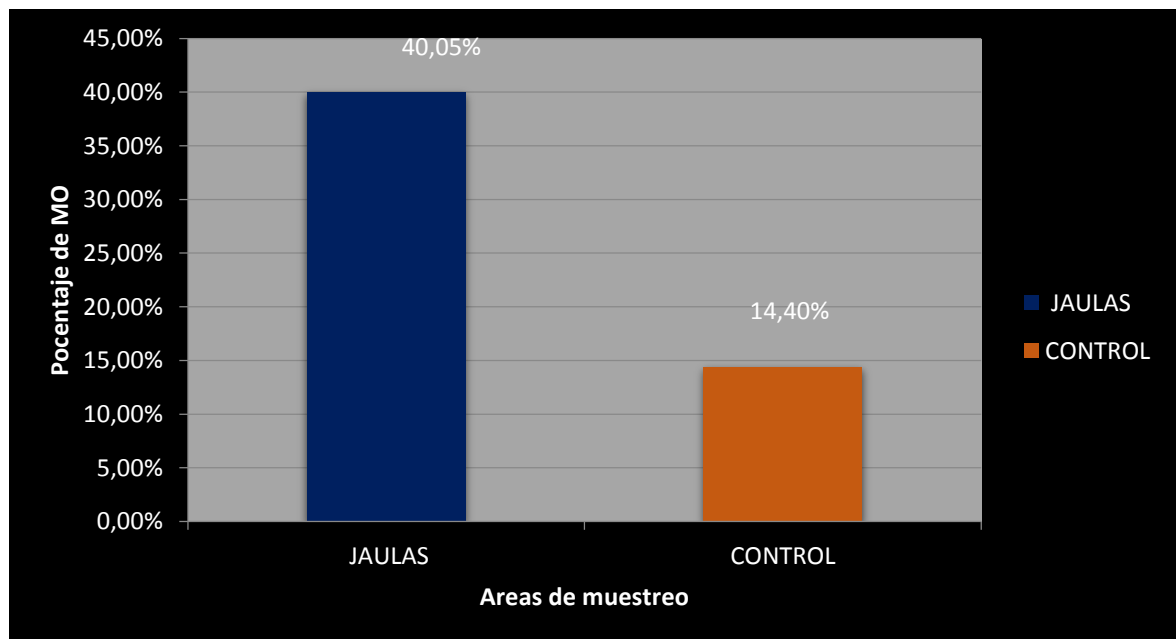
**Tabla 10.** Valores promedio de Materia Orgánica, evaluado por áreas y profundidades de muestreo.

PARÁMETRO	EST	AREA 1 (JAULAS)	COEFICIENTE DE VARIACION (%)	AREA 2 (PUNTO TESTIGO)	COEFICIENTE DE VARIACION (%)
<b>Materia</b>	E1	40,05±0,04 <sup>a</sup> *	0,3	14,40±0,01 <sup>a</sup> *	0,2
<b>Orgánica</b>	E2	38,50±0,03 <sup>b</sup>	0,2	13,70±0,01 <sup>b</sup>	0,1
<b>(%)</b>	E3	37,41±0,06 <sup>c</sup>	0,4	12,50±0,03 <sup>c</sup>	0,8

a,b,c: Diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) \* Promedio ± Error Estándar.

**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018

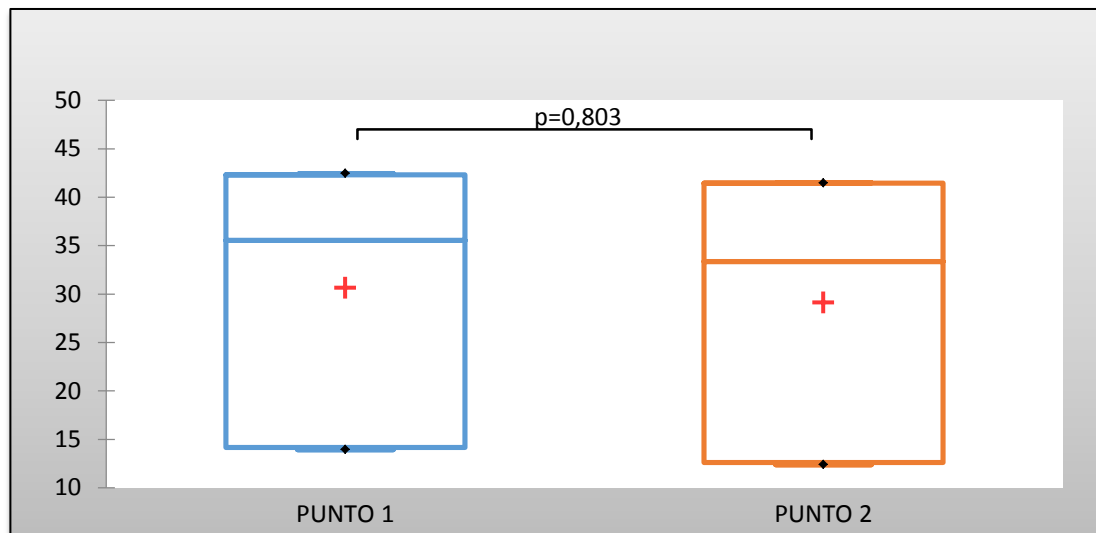
**Figura 31.** Valores promedio Materia Orgánica en las áreas y profundidades de muestreo



**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas de muestreo, al igual que entre las profundidades ( $p < 0,05$ ). La prueba de T Student permite establecer que hay diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medias de las dos áreas de muestreo, como se muestra en la figura 30.

**Figura 32** Prueba T Student para Materia Orgánica.



**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018.

#### 6.4. RELACION ENTRE VARIABLES

Mediante este procedimiento estadístico se analizó el comportamiento conjunto de algunas variables como los parámetros fisicoquímicos (Oxígeno disuelto, pH, temperatura, conductividad eléctrica, DBO, DQO y transparencia, nutrientes como Nitratos, fosfatos ; Sedimentos (Materia orgánica), con los cuales se determinaron las funciones discriminantes que ayuden a predecir la forma como se agrupan e interrelacionan los parámetros fisicoquímicos, en relación con cada una de las áreas evaluadas como factor de clasificación, con el fin de determinar el grado de impacto ambiental que ocasionan los cultivos de tilapia en el Embalse del Guajaro

Considerando que el método aplicado tiene capacidad de predicción, no existen errores tanto en la toma de datos como en el análisis de los mismos con respecto al impacto ambiental o grado de contaminación que presentan el área 1 donde se desarrollan los cultivos acuícolas en comparación al área 2 o punto control, donde no se presenta intervención, para realizar el análisis comparativo entre áreas con relación a las variables evaluadas.

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

Valor del índice de correlación varía en el intervalo [-1,1], indicando el signo el sentido de la relación:

- Si  $r = 1$ , existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada *relación directa*: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.
- Si  $0 < r < 1$ , existe una correlación positiva.
- Si  $r = 0$ , no existe relación lineal. Pero esto no necesariamente implica que las variables son independientes pueden existir todavía relaciones no lineales entre las dos variables.
- Si  $-1 < r < 0$ , existe una correlación negativa.
- Si  $r = -1$ , existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada *relación inversa*: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

**Tabla 11. Correlaciones entre pares de variables de parámetros fisicoquímicos**

	OD	CE	PH	SST	DQO	DBO	T°	PROFUNDIDAD
		0,75529228	0,236855172	0,304178682	0,570441016	-0,2049143	-0,112934164	-0,021693476
OD		54	54	54	54	54	54	54
		0	0,084630478	0,025336974	0	1,1372	0,416171825	0,876267923
	0,75529228		0,090781422	0,705564774	0,792184814	-0,114316865	0,034488925	-0,012225262
CE			54	54	54	54	54	54
			0,513856143	0	0	0,4105	0,80445614	0,930084827
	0,236855172	0,090781422		-0,230754738	0,06784095	0,06784095	-0,158322218	-0,004133158
PH		54		54	54	54	54	54
	0,084630478	0,513856143		0,093199359	0,026	0,626	0,252859069	0,976336766
	0,304178682	0,705564774	-0,230754738		0,451823344	-0,096648899	0,209810639	-0,092596319
SST		54	54		54	54	54	54
	0,025336974	0	0,093199359		0	0,4912	0,12782989	0,505441376
	0,570441016	0,792184814	0,06784095	0,451823344		-0,109878663	-0,062129415	-0,004170461
DQO		54	54	54		54	54	54
		0	0,026	0		0,429	0,6554	0,9761
	-0,2049143	-0,114316865	0,06784095	-0,096648899	-0,109878663		-0,116991425	-0,003729668
DBO		54	54	54	54		54	54
	1,1372	0,4105	0,626	0,4912	0,429		0,3995	0,9786
	-0,112934164	0,034488925	-0,158322218	0,209810639	-0,062129415	-0,116991425		-0,009238702
T°		54	54	54	54	54		54
	0,416171825	0,80445614	0,252859069	0,12782989	0,6554	0,3995		0,947136482
	-0,021693476	-0,012225262	-0,004133158	-0,092596319	-0,004170461	-0,003729668	-0,009238702	
PROFUNDIDAD		54	54	54	54	54	54	
	0,876267923	0,930084827	0,976336766	0,505441376	0,9761	0,9786	0,947136482	

Fuente: Urbano M., C. P., 2018

#### 6.4.1. Relacion entre variables de parametros fisicoquimicos

**6.4.1.1 Parámetro Oxígeno Disuelto OD:** La correlación entre las variables Oxígeno Disuelto OD, Conductividad Eléctrica CE (0.755), Potencial de Hidrógeno pH (0.236), Demanda Química de Oxígeno DQO (0.570) y Solidos Suspendidos Totales SST (0.304) es positiva. La correlación entre Oxígeno Disuelto OD y las variables Demanda Biológica de Oxígeno DBO (-0.204), y Profundidad (-0,021), es negativa, a medida que estas aumentan disminuye el oxígeno disuelto OD.

**6.4.1.2. Parámetro Conductividad Eléctrica CE:** La correlación entre las variables Conductividad Eléctrica CE con las variables Potencial de Hidrógeno pH (0,090), Solidos Suspendidos Totales SST (0,075), Demanda Química de Oxígeno (0,792), Temperatura T° es (0,034), es positiva porque a medida que una variable aumenta, la otra variable también aumenta. La correlación entre Conductividad Eléctrica y Demanda Biológica de Oxígeno DBO es (-0.143) y Profundidad (-0.012), es negativa entre las variables, a medida que una variable aumenta la otra variable disminuye.

**6.4.1.3. Parámetro Potencial de Hidrógeno ph:** La correlación entre las variables Potencial de Hidrógeno pH y las variables Demanda Bioquímica de Oxígeno DQO (0,067), y Demanda Biológica de Oxígeno DBO (0,067), es positiva a medida que una variable aumenta la otra variable también aumenta. La correlación entre las variables Potencial de Hidrógeno pH y las variables Solidos Suspendidos Totales es (-0,230), Temperatura T° (-0.1583) y Profundidad es (-0,004) es negativa fuerte entre las variables porque a medida que una variable aumenta la otra variable disminuye.

**6.4.1.4. Parámetros Solidos Suspendidos Totales SST:** La correlación entre las variables Solidos Suspendidos Totales y las variables Demanda Química de Oxígeno DQO (0,451), Temperatura T° (0,209), es positiva a medida que una variable aumenta la otra variable también aumenta. La correlación entre las variables Solidos Suspendidos Totales y las variables Demanda Biológica de Oxígeno DBO (-0,096) y Profundidad es (-0,092), es negativa fuerte a medida que una variable aumenta, la otra variable disminuye.

**6.4.1.5. Parámetro Demanda Química de Oxígeno DQO:** La correlación entre las variables Demanda Química de Oxígeno DQO y las variables Demanda

Biológica de Oxígeno DBO es (-0,109), Temperatura T° es (-0,062), y Profundidad es (-0,004), es una relación negativa fuerte, a medida que una variable aumenta la otra variable disminuye.

**6.4.1.6. Parámetro Demanda Biológica de Oxígeno DB:** La correlación entre las variables Demanda Biológica de Oxígeno DBO y Temperatura T° (-0,116) y Profundidad (-0,003), es negativa fuerte.

**6.4.1.7. Parámetro temperatura T°:** La correlación entre las variables Temperatura T° y Profundidad es (-0,009), lo que indica que existe una relación negativa fuerte, a medida que una variable aumenta, la otra variable disminuye.

#### 6.4.2. Relacion entre las variables de nutrientes

**Tabla 12.** Relacion entre las variables de nutrientes

	FOSFORO	NITRATOS	PROFUNDIDAD
FOSFORO		-0,16278912	-0,129741874
		54	54
		0,239544956	0,349759509
NITRATOS	-0,16278912		0,053562367
	54		54
	0,239544956		0,700483463
PROFUNDIDAD	-0,129741874	0,053562367	
	54	54	
	0,349759509	0,700483463	

**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018

**6.4.2.1. Parámetro Fosfatos PO4:** La correlación entre las variables Fosfatos PO4 y las variables Nitrato NO3 (-0,162) y Profundidad (-0,129), es negativa, a medida que una variable aumenta la otra variable disminuye.

**6.4.2.2. Parámetro Nitrato NO3:** La correlación entre las variables Nitratos NO3 y Profundidad es (0,053), lo que indica que solo existe una relación lineal moderada entre las variables, la relación es positiva a medida que una variable aumenta, la otra variable también aumenta.

**6.4.2.3. Parametro Materia Organica MO:** La correlación entre Materia Orgánica MO y Profundidad es (0,003) lo que indica que solo existe una relación lineal moderada entre las variables, la relación es positiva porque a medida que una variable aumenta, la otra variable también aumenta.

**Tabla 13.** Relacion entre las variables materia orgánica MO y profundidad

	MATERIA ORGANICA	PROFUNDIDAD
MATERIA ORGANICA		0,003013484
		18
		0,990531563
PROFUNDIDAD	0,003013484	
	18	
	0,990531563	

**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018



## **6.5. EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL AGUA Y SEDIMENTOS DEL EMBALSE DEL GUAJARO**

La valoración de los impactos ambientales se realizó mediante una modificación del método Battelle- Columbus, elaborado para la planificación y gestión de recursos hídricos en Estados Unidos. Se modificaron los valores asignados a los índices ponderales e incluso sus componentes, como lo recomienda el propio laboratorio (Battelle- Columbus Laboratories, 1972).

La metodología se basa en una lista de indicadores de impacto, que representan una unidad o un aspecto del medio ambiente que merece considerarse por separado y cuya evaluación es representativa del impacto ambiental derivado de las acciones o proyectos.

Se pretende que los parámetros se lleguen a evaluar en unidades comparables (conmensurables), y que cumplan las siguientes características:

- Representen la calidad del medio ambiente.
- Sean fácilmente medibles sobre el terreno
- Respondan a las exigencias del proyecto a evaluar
- Sean evaluables a nivel de proyecto.

Para transformar estos datos en “unidades de impacto ambiental” (UIA) se tienen que:

- Transformar los datos en su correspondiente equivalencia de índice de calidad ambiental para el parámetro correspondiente.

- Ponderar la importancia del parámetro considerado, según su importancia relativa dentro del medio ambiente.
- A partir de lo anterior, expresar el impacto neto como resultado de multiplicar el índice de calidad por su índice ponderal.

Para calcular el índice de calidad ambiental en unidades que sean comparables, se le asigna un valor de 1 al valor óptimo del parámetro (por ejemplo, DBO5, COV, etc.) y al pésimo el de 0, quedando comprendido entre ambos extremos los valores intermedios para definir los estados de calidad del parámetro. La “función de transformación  $f(M_i)$  o de evaluación” de la calidad ambiental de un parámetro  $i$  en términos de su magnitud ( $M$ ) se define como:

$$CA_i = f(M_i)$$

Se atribuye a cada parámetro un peso o índice ponderal, expresado en forma de “unidades de importancia” o puntos. Se indican las UIP (unidades de importancia del parámetro), o índice ponderal, así como los que corresponden por suma de aquellos niveles de agrupación de parámetros, componentes y categorías.

Para la obtención de las unidades de impacto neto (conmensurables) sus unidades de impacto ambiental (UIA), son expresadas por:

$$(UIA) = (CA)_i \times (UIP)$$

Aplicando el sistema establecido a la situación “con proyecto” (Área con jaulas) y a la que tendría el medio “sin proyecto” (Punto control) (por la suma del estado cero y la evolución sin proyecto previsible), tendremos para cada parámetro, unos valores cuya diferencia nos indicará el impacto neto del proyecto según dicho parámetro:

$$(UIA)_{i \text{ con proyecto}} - (UIA)_{i \text{ sin proyecto}} = (UIA)_{i \text{ con proyecto}}, \text{ (que puede ser positivo o negativo)}$$

Para cada parámetro pueden reflejarse los valores en UIA correspondientes “con proyecto”, “sin proyecto” y el referente al proyecto por diferencia de los dos. El impacto total del proyecto será la suma de los impactos, expresados en UIA.

$$\text{Impacto global} = \sum_{i=0}^{i=n} (UIA)_{i(d,p)}$$

Para determinar la calidad ambiental se caracterizaron los parámetros OD (mg/L), T (°C), CE (µS/cm), pH, SST (mg/L), DQO, DBO, Transparencia, Fosforo, Nitratos y Materia Orgánica. Tomando los valores máximos y mínimos de los parámetros anteriores, de las diferentes caracterizaciones realizadas a las aguas del Embalse del Guajaro, contenidas en el Estudio De Modelación De La Capacidad De Carga Del Embalse Del Guájar, CRA (2013), para determinar la calidad ambiental bajo la siguiente formula:

$$CA = \frac{MAX - M}{MAX - MIN}$$

Se asignó una UIP, con este fin se atribuye a cada parámetro un peso o índice ponderal, expresado en forma de “unidades de importancia”, se determinaron las unidades de impacto ambiental con la siguiente formula:

$$UIA = CA * UIP.$$

**Tabla 14.** Calidad ambiental del agua en el área con presencia de jaulas

PUNTO 1 CON PROYECTO							
	UIP	CONTAMINACION DEL AGUA	MAX	MIN	M	CA	UIA
	10	OD (mg/L)	9,19	3,34	4,56	0,79	7,91
	10	T° (°C)	35	26,8	29,16	0,71	7,12
	10	CE (µS/cm)	1804,7	16,55	495,3	0,73	7,32
	8	pH	9,22	7,24	8,66	0,28	2,26
	9	SST (mg/L)	56	13,92	22,96	0,79	7,07
	10	DQO	60,03	14	54,69	0,12	1,16
	10	DBO	15,42	3,21	26,51	-0,91	-9,08
	8	Transparencia	77	45,3	45,74	0,99	7,89
	8	Fosforo	0,06	0,027	0,017	1,30	10,42
	9	Nitrato	4	0,1	0,26	0,96	8,63
	8	Materia Organica	43,5	12,5	38,77	0,15	1,22
SUMA	100						

Fuente: Urbano M., C. P., 2018

CA	CALIDAD AMBIENTAL
M	MAGNITUD
MAX	VALOR MAXIMO DE MAGNITUD
MIN	VALOR MINIMO DE MAGNITUD
UIP	UNIDAD INDICE PONDERAL
UIA	UNIDADES DE IMPACTO AMBIENTAL
CP	CON PROYECTO
SP	SIN PROYECTO

**Tabla 15** Calidad ambiental del agua en el área control

		PUNTO 2 SIN PROYECTO				
UIP	CONTAMINACION DEL	MAX	MIN	M	CA	UIA
10	OD (mg/L)	9,19	3,34	5,05	0,71	7,08
10	T° (°C)	35	26,8	29,25	0,70	7,01
10	CE (µS/cm)	1804,7	16,55	347,94	0,81	8,15
8	pH	9,22	7,24	8,72	0,25	2,02
9	SST (mg/L)	56	13,92	13,91	1,00	9,00
10	DQO	60,03	14	29,08	0,67	6,72
10	DBO	15,42	3,21	15,05	0,03	0,30
8	Transparencia	77	45,3	76,33	0,02	0,17
8	Fosforo	0,06	0,027	0,015	1,36	10,91
9	Nitrato	4	0,1	0,11	1,00	8,98
8	Materia Organica	43,5	12,5	13,53	0,97	7,73
SUMA	100					

CA	CALIDAD AMBIENTAL
M	MAGNITUD
MAX	VALOR MAXIMO DE MAGNITUD
MIN	VALOR MINIMO DE MAGNITUD
UIP	UNIDAD INDICE PONDERAL
UIA	UNIDADES DE IMPACTO AMBIENTAL
CP	CON PROYECTO
SP	SIN PROYECTO

**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018

Los parámetros OD (mg/L), T (°C), CE (µS/cm), pH, SST (mg/L), DQO, Transparencia, Fosforo, Nitratos y Materia Orgánica medidos en el área con jaulas (tabla 14), dieron como resultado una calidad ambiental afectada principalmente por el parametro DBO, el cual dio negativo demostrando que se afecta la calidad ambiental y el impacto ambiental es adverso.

Con la fórmula:

$$\text{UIA (con proyecto)} - \text{UIA (sin proyecto)} = \text{CAMBIO NETO}$$

Se determinaron las Unidades de Impacto Ambiental en el área del proyecto (Tabla 16).

**Tabla 16.** Contaminacion ambiental por parametros en cada área de estudio

CONTAMINACION AMBIENTAL	Valor Unidades de Impacto Ambiental		CAMBIO NETO	SEÑALES DE ALERTA
	SP	CP		
CONTAMINACION DEL AGUA				
OD (mg/L)	7,077	7,915	0,838	
T° (°C)	7,012	7,122	0,110	
CE (µS/cm)	8,147	7,323	-0,824	
pH	2,020	2,263	0,242	
SST (mg/L)	9,002	7,067	-1,936	
DQO	6,724	1,160	-5,564	
DBO	0,303	-9,083	-9,386	
Transparencia	0,169	7,889	7,720	
Fosforo	10,909	10,424	-0,485	
Nitrato	8,977	8,631	-0,346	
Materia Organica	7,734	1,221	-6,514	

**Fuente:** Urbano M., C. P., 2019

El valor de Unidades de Impacto Ambiental calculados para los parametros CE (µS/cm), SST (mg/L), DQO, DBO, Fosforo, Nitratos y Materia Orgánica demuestran ser factores de contaminación ambiental en el área con jaulas frente al punto control.

## 7. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

El embalse del Guajaro es considerado una ecorregión estratégica en el departamento del Atlántico, se han realizado muchos estudios sobre la calidad de sus aguas, pero no se han realizado estudios del impacto ambiental que causan los cultivos de peces a los componentes agua y sedimento en el lugar donde se ubican. Siendo la acuicultura una de las estrategias de seguridad alimentaria para las futuras generaciones del área, es necesario contar con una línea de base para las modelaciones sobre los impactos que este tipo de actividades generaría; en el presente estudio se realizó la comparación de áreas con presencia de jaulas con producción de Tilapia Roja, con un área donde no se presenta intervención acuícola en confinamiento, obteniendo resultados importantes que contribuirán al análisis del estado ambiental y de las perspectivas sostenibles para esta clase de empresas en el embalse.

El recurso hídrico presente en sistemas como ríos, lagos y lagunas ha sido fuertemente afectado por el desarrollo de diferentes actividades agropecuarias que arrojan a las corrientes sustancias cada vez más agresivas y difíciles de tratar debido a su naturaleza química (Fernández y Solano, 2005). Los parámetros fisicoquímicos se caracterizan por brindar datos precisos sobre el estado ambiental de un cuerpo de agua, algunos de los parámetros de mayor importancia que se utilizan para dichos estudios son el oxígeno disuelto, pH, temperatura, transparencia, conductividad eléctrica, Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, los Solidos Suspendidos Totales. (NSF, 2006).

La concentración de oxígeno disuelto (OD), en el agua está sujeta a factores como la temperatura del agua y de la presión barométrica según la altitud sobre el nivel del mar a la que se encuentre; además es favorecida por el movimiento de las

aguas y condiciona la variedad de vida. Si se tienen aguas con valores de OD menores a 2 mg/L, quiere decir que no son aguas aptas para sustentar vida; y por el contrario, si existe un porcentaje de saturación mayor al 100%, infiere que ese lago se encuentra en condiciones de eutrofización (CRA, 2014).

En la presente investigación, se presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre áreas y profundidades, presentando los mayores valores en al área 2 o punto testigo; dicho comportamiento se presenta para las tres profundidades con valores promedio de  $5,04 \pm 0,0$  mg/L en la superficie,  $5,04 \pm 0,00$  mg/L a 2,0 metros y  $5,09 \pm 0,0$  mg/L a 3,3 metros de profundidad. El promedio de oxígeno disuelto en el Embalse del Guajaro se encuentra entre los 4,98 mg/L y los 5,98 mg/L (CRA, 2014), lo que concuerda con los resultados obtenidos, donde se observa que la producción acuícola disminuye la concentración de dicho parámetro, puesto que parte del oxígeno se utiliza para la degradación de la materia orgánica (Espinoza, 1979; Toro et al., 2002). Si bien es cierto se presenta una disminución en el área de cultivo con diferencias estadísticamente significativas entre esta y el punto testigo, no se observa un deterioro crítico con respecto a este parámetro (Davinson et al., 2014; Lepine et al, 2016).

La temperatura al igual que el oxígeno, es uno de los parámetros determinantes en un cuerpo de agua apto para el cultivo de tilapia, puesto que esta especie es muy exigente en cuanto a la calidad del agua, principalmente en parámetros como el oxígeno y la temperatura (FAO, 2014). La temperatura actúa en procesos como la actividad biológica, la absorción de oxígeno y la precipitación de compuestos, entre otros. Un aumento exagerado de temperatura, acelera el agotamiento de oxígeno en el agua por procesos de evaporación he incrementa la reproducción. Este parámetro presento diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las dos áreas muestreadas y sus respectivas profundidades, presentándose los mayores valores



en el área con presencia de jaulas, con relación al punto testigo fluctuando entre un rango de 27,6°C a 30,5°C.

Como se observa en los resultados, la temperatura disminuye a medida que aumenta la profundidad; esto se debe a que la superficie tiene mayor contacto con la atmosfera y por ende sus aguas retienen en mayor cantidad los grados de calor (Roldan y Ramírez, 2008), por lo cual, este embalse se caracteriza como tropical por tener una temperatura variante a lo largo del año y poca variación de la temperatura del agua de la superficie hasta el fondo gracias a su batimetría. Finalmente se puede analizar que la temperatura se comporta de acuerdo a las características de los lagos tropicales y que la presencia de cultivos acuícolas influye en pequeñas variaciones que no representan grandes cambios en el ambiente, en los mismos sistemas productivos, ni en el ecosistema acuático del lago (FONDEPES, 2004). Por otra parte se debe enfatizar en la importancia de la temperatura y su relación con otras variables como el oxígeno, la conductividad eléctrica (Benjumea y Toro, 2007).

La conductividad eléctrica es uno de los parámetros de mayor relevancia en el estudio de la calidad del agua y el impacto ambiental que ocasionan diferentes actividades agropecuarias, domesticas o industriales, debido a que se relaciona directamente con la cantidad de solidos disueltos y la salinidad de la columna de agua, los cuales no son más que la combinación de iones de carga positiva y negativa que alteran la calidad del agua en un ecosistema, entre los que se encuentran ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ); (Meza y Sepúlveda, 2012). En este estudio las áreas y sus profundidades presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), donde los mayores valores se presentaron en la superficie del área con presencia de jaulas con un valor de  $566,03 \pm 134 \mu\text{S}/\text{cm}$ ; donde se presentan las mayores densidades de cultivo y con ello se suministra mayores cantidades de alimento comercial, medicamentos y aditivos. De igual forma se

puede observar que la conductividad disminuye a medida que aumenta la profundidad de la columna de agua.

Duran (2009), quien cita a Ramírez (2007), expone que valores de conductividad entre 280  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  representan zonas con salinidades y conductividades medias, lo que concuerda con los datos obtenidos en este estudio y que caracterizan al Embalse del Guajaro con una conductividad media como lo son los lagos costeros que presentan contaminación por actividades industriales, mineras. El estudio de Ordenamiento del Recurso Hídrico de la CRA en 2014, reporta valores medios de 608,125  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en aguas superficiales y de fondo en lugares libres de intervención acuícola, lo que indica la variación diaria de la conductividad con respecto a la productividad primaria, descomposición de materia orgánica, detección de fuentes de contaminación y naturaleza geoquímica del terreno. (Pinilla, 2005). Si bien es cierto, los valores de conductividad eléctrica reportados en este estudio no representan niveles tóxicos de contaminación, se puede observar que dicho parámetro aumenta en las áreas de producción acuícola, con lo que se afirma que a mayor es la producción y mayores son las densidades de siembra, los valores de conductividad se incrementan causando un nivel de impacto ambiental negativo sobre el cuerpo de agua donde se desarrollan (Stone et al., 2013; Hatje et al., 2016; Cardoso et al., 2016; León et al., 2017).

El pH se caracteriza por representar el potencial de hidrogeniones y está directamente involucrado con los cambios de acidez, basicidad y alcalinidad, midiendo su intensidad e indica la concentración de iones en el agua (Roldan 1992; Sardiñas et al, 2006). En este estudio el pH presenta diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas y profundidades de muestreo, obteniendo los valores más altos en el área control (punto testigo) con un promedio de  $8,75 \pm 0,004$  a los cero metros de profundidad; al igual que el oxígeno disuelto, el

pH disminuye en las áreas de cultivo con un promedio de  $8,75 \pm 0,008$  en la superficie del área 2 y  $8,67 \pm 0,001$  para los cero metros del área con presencia de jaulas. De igual forma se puede analizar que a medida que aumenta la profundidad disminuye el valor de pH tendiendo a disminuir su alcalinidad. Según los datos registrados para pH en función de la profundidad, este tiende a volverse más ácido a medida que la profundidad aumenta acercándose al fondo, observándose que dicho parámetro es menor en el área 1 donde la utilización de concentrado comercial y otros productos son suministrados y el área 2 donde no se presenta intervención acuícola, los valores de pH son más altos tendiendo volverse alcalinos.

En el diagnóstico de Ordenamiento de la CRA en 2014, se obtuvo como resultado un promedio de 8,89 unidades de pH en aguas superficiales y 8,86 unidades en aguas de fondo, indicando escasa variación a las dos profundidades, lo cual posiblemente está asociado a procesos de mezcla intensos. A partir de lo anterior se puede deducir que el pH es un parámetro relativamente uniforme en el Embalse del Guajaro y que se mantiene dentro de los parámetros considerados como óptimos para el desarrollo de vida. Si bien es cierto, los valores de pH obtenidos en las áreas de estudio, se encuentran dentro del rango de valores característicos de lagos tropicales (Mariano et al., 2010), se demuestra que dicho parámetro tiende a perder su basicidad volviéndose más ácido en el área 1 correspondiente a las jaulas de cultivo; por lo que se puede decir que la acuicultura de tilapia en jaulas flotantes tiende a generar un impacto negativo en los ecosistemas acuáticos donde se desarrolla.

La Demanda Biológica de Oxígeno DBO, es un parámetro indispensable para determinar el estado o la calidad de diferentes cuerpos de agua. Es una medida de concentración de oxígeno usada por los microorganismos para degradar y estabilizar la materia orgánica biodegradable o la materia orgánica carbonácea en

condiciones aeróbicas. Además, la DBO indica aproximadamente la fracción biodegradable del desecho, la tasa de degradación del mismo y la tasa de consumo de oxígeno en función del tiempo y determina la forma aproximada y la cantidad de oxígeno requerido para la estabilización biológica de la materia orgánica presente. (CRA 2014).

En el presente estudio se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas de muestreo, al igual que en las diferentes profundidades ( $p < 0,05$ ), siendo el menor valor de concentración de DBO en el área testigo en la superficie con una media de  $11,20 \pm 0,12$  mg/L, y la mayor concentración corresponde al área 1 con presencia de jaulas a 3,3 metros, con un valor de  $28,07 \pm 0,34$  mg/L; se observó que el valor del DBO aumenta con la profundidad. Los análisis de los resultados del monitoreo realizado por CRA para el Diagnóstico de Ordenamiento de los cuerpos de agua del Departamento del Atlántico en 2014, muestran para el embalse del Guajaro, concentraciones de DBO con un promedio general de 16,4 mg O<sub>2</sub>/L en aguas superficiales y de 20,8 mgO<sub>2</sub>/L en aguas de fondo. Por otra parte, a modo de referencia (no hay criterios para usos del agua con esta variable en Colombia), los niveles de DBO encontrados en el embalse se pueden considerar como altos, en comparación con criterios como los acogidos por la CAN (Comunidad Andina), (OEA, 2004), que establecen que una DBO<sub>5</sub> de 7 mg/L es propia de cuerpos de agua cuyo uso está restringido para uso industrial y no es apta para abastecimiento, ni recreación, ni actividades agropecuarias. Mientras que otros criterios como los de CONAGUA (México), consideran que una DBO<sub>5</sub> entre 6 y 30 mg/L corresponde a aguas de calidad aceptable, con indicios de contaminación pero que mantiene su capacidad de autodepuración, si consideramos lo anterior este estudio demuestra que si bien existe una alta influencia de las jaulas de producción piscícola en el embalse del Guajaro en relación con la DBO, las áreas se podrían recuperar fácilmente si se lleva un control riguroso con relación a este parámetro, se podría mejorar la resiliencia de

las áreas al trasladar las jaulas hacia sectores no afectados y favorecer los procesos de recuperación.

La Demanda Química de Oxígeno DQO es un parámetro analítico de contaminación que mide el contenido de materia orgánica en una muestra de agua mediante oxidación química. El agua natural, además de minerales disueltos, puede llevar sustancias derivadas del metabolismo de algunos organismos como proteínas, lípidos, hormonas, pigmentos, etc.; desechos de los mismos, como urea y cadaverina, entre otros; descargas domésticas e industriales; e incluso, sustancias provenientes del arrastre por el suelo como es el caso de los ácidos húmicos. El estudio demostró que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas de muestreo, al igual que en las diferentes profundidades ( $p < 0,05$ ), siendo el mayor valor de concentración de DQO en el área con presencia de jaulas a 3,3 metros, con una media de  $59,27 \pm 0,92$  mg/L, y la menor concentración corresponde al área testigo en la superficie con un valor de  $25,35 \pm 0,25$  mg/L; el valor del DQO, igual que el DBO aumenta con la profundidad. Para el embalse del Guajaro los análisis de los resultados de monitoreo realizados por CRA para el Diagnóstico de Ordenamiento de los cuerpos de agua del Departamento del Atlántico en 2014, muestran una DQO con variaciones entre 25 mgO<sub>2</sub>/L y 53,68 mgO<sub>2</sub>/L en aguas superficiales y entre 25 mgO<sub>2</sub>/L y 108,8 mgO<sub>2</sub>/L en aguas de fondo, teniendo en cuenta registros de las caracterizaciones de la CRA desde 2002 a 2013, los valores promedio DQO son relativamente altos en todos los períodos. Los niveles de DQO arrojados por esta investigación, difieren de los encontrados por la CRA en 2014, encontrándose que las áreas influenciadas por la presencia de jaulas arrojan niveles mal altos de DQO, pero sin llegar a más de 60mg/L, en comparación con los encontrados por ellos de un nivel de 24 mg/L, esto podría deberse a los sitios muestreados o a las épocas de verano o lluvias en que fueron recogidas las muestras.

**MANGUAINE** rango intercuartil

Los Sólidos Suspendidos Totales SST, corresponden a la materia orgánica como detritus, o de origen aluvial, restos de rocas, arcilla, arena y similares, (ROLDAN, ibíd.) y aunque pueden tener su origen en aguas residuales, también están relacionados con la erosión del suelo, lo cual se asocia con los procesos de deforestación.

En el estudio se observó que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las áreas de muestreo, al igual que en las diferentes profundidades ( $p < 0,05$ ), en el área control con niveles de 13,97mg/L en la superficie contra 27,18 mg/L para el área con jaulas, casi el doble de lo medido en el área control. Estos datos se acercan a los datos obtenidos por CRA en 2014, el cual concluye que el embalse tiene una concentración media de sólidos suspendidos totales de 18,1 mg/L en superficie y 18,6 mg/L en fondo con una variación de 0,5 mg/L entre las dos capas de agua. Las variaciones de SST en el Embalse, muestran una media aproximada de 22,7 mg/L de acuerdo con los reportes históricos disponibles desde 2002, lo que corresponde en todo caso, para los datos primarios y los históricos, a aguas de calidad relativamente buena, adecuada para el desarrollo y conservación de comunidades acuáticas.

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

luz que reciben estas aguas (Wheaton, 1982). La transparencia presento diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las dos áreas de muestreo, donde su mayor valor se obtuvo en el área 2 o punto testigo con  $76,33 \pm 0,041$  centímetros, disminuyendo su valor para el área con presencia de jaulas; esto demuestran que la producción acuícola afecta negativamente la calidad del agua, debido a la concentración de sólidos disueltos por causa de la descomposición de materia orgánica proveniente del concentrado comercial, productos farmacéuticos, aditivos, los mismos residuos de los peces provenientes del metabolismo y las demás actividades como lavado de mayas y mantenimiento de las jaulas (Castillo & Martínez, 1996; M. López, 2014b; Fernández et al., 2010). La menor transparencia obtenida en el área 1 (Jaulas de levante y engorde), indica la distribución y estructura de la capa fótica lacustre donde se obtiene la mayor cantidad de radiación solar para procesos fotosintéticos y con ello sintetizar compuestos carbonados (Kormondoy, 1994., citado por López et al., 2008)

Las cargas de nutrientes provenientes de la acuicultura corresponden en su mayoría a la degradación del alimento no consumido por los peces y los procesos metabólicos de los mismos, aportando nitrógeno y Fosfatos que posteriormente cumplen su ciclo en la zona de influencia aumentando o disminuyendo la concentración de nitratos y/o Fosfatos total (Mitsch y Gosselink, 2000). La contaminación ambiental de un cuerpo de agua por parte de los nutrientes provenientes de la acuicultura, conlleva a la eutrofización como proceso de origen antrópico que va deteriorando la calidad de sus aguas, añadiendo mayores cantidades de nutrientes, elementos esenciales para el crecimiento de organismos, principalmente nitrógeno (N) y fósforo (P); lo cual enriquece en nutrientes a los sistemas acuáticos pero limita el oxígeno. Este proceso se produce naturalmente en todo lago cuya afluencia de elementos nutritivos sea superior a la salida de los mismos (Alcorlo, 2008; Folch et al., 2009). Por lo general, en ambientes oxigenados la forma dominante de los nutrientes

nitrogenados son los nitratos que son aprovechados por el fitoplancton como fuente de nitrógeno, los nitratos se mantienen en muy bajas concentraciones, tal como se evidenció en la mayoría de las estaciones del monitoreo.

En los embalses los nutrientes suelen acumularse en grandes cantidades llevando al desarrollo exagerado de la flora acuática, lo cual lleva a una eutrofización acelerada cuando se aúnan actividades antrópicas del hombre, no obstante, la limitación del nitrógeno es un aspecto natural de estos sistemas.

En los resultados de esta investigación se muestra que los nitratos presentaron diferencias significativas entre áreas presentando los mayores valores en el área 1 a 3,3 metros con  $0,17 \pm 0,06$  mg/L seguido del área 2 o punto testigo con  $0,13 \pm 0,000$  mg/L  $0,10 \pm 0,000$  mg/L. Según Roldan (1992), los lagos con niveles entre los 0,0 y 1,0 de nitratos corresponden a lagos oligotróficos. Los nitratos frecuentemente no presentan problemas de toxicidad para los peces, siendo los límites máximos permitidos de 100 mg/L. Se observa que los niveles encontrados corresponderían a lagos oligotróficos y los niveles se encuentran por debajo de los máximos permitidos.

En estudio sobre la capacidad de carga realizado por la CRA en 2012, los valores promedio reportados, están en un rango de 0 y 1,0 para la zona de Aguadas de Pablo en el Embalse de Guajaro, lo que se considera buenas concentraciones de nitratos para estos ecosistemas (Castro et al. 2013), los resultados contrastan con los de Acosta en 2002, quien encontró 2,81 mg/L para esta área del Embalse. Se puede decir que las áreas de cultivo estudiadas no están incrementando significativamente la concentración de nitratos analizados en las áreas de cultivo en el embalse del Guajaro.



El oleaje y las corrientes de un sistema lenticó por más insignificantes que parezcan favorecen la dispersión, así como el efecto reductor de los niveles de nutrientes por la biota asociada a los sistemas (Carroll et al., 2003; Camargo y Alonso, 2007). No se han estimado qué concentraciones de fosfatos afectan negativamente a los peces (Larned, 1998).

El Fosfato es un elemento biogénico que juega un papel muy importante en el metabolismo biológico (Ruiz et al., 2005). En el agua de los lagos tropicales oligotróficos, el Fosfato puede provenir de la descomposición de las rocas, la concentración de materia orgánica y heces de los peces, al igual que por aguas domésticas residuales y por el uso de detergentes; valores altos de fosfatos, se asocian a lagos con características de eutrofización (Vásquez et al., 2015). Para el Fosfato no se presentó diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre áreas de muestreo ni entre las profundidades dentro de cada área. Los datos muestran mayores valores en el área con presencia de jaulas seguido del área control, dichos valores no representan un peligro potencial para la calidad del agua del embalse.

En el estudio de Diagnóstico de ordenamiento realizado por CRA en 2014, se reportan valores promedio de fosfatos, promediando los resultados por sectores incluyendo todo el perfil de profundidad, se obtuvieron concentraciones entre 0,41 mg/L, y 0,22 mg/L; pero que al igual son valores bajos que no representan peligrosidad de eutrofización del embalse. De igual forma en estudios anteriores se reportan valores de fosfatos con rangos comprendidos 0,15 mg/L y 0,58 mg/L ; sin embargo contrastando los resultados de este estudio con respecto a lo expuestos por Acosta (2002), que encontró niveles de 1,16 mg/L. Se puede decir que el Embalse del Guajaro es caracterizado como mesotrófico por estar entre el rango de 0,010 y 0,030 mg/L. (Carneiro et al, 2016).

Con respecto a los análisis de la materia orgánica de los sedimentos, se resalta que los depósitos de sedimentos en los lagos funcionan bien sea como fuente o como reserva de muchos de los nutrientes esenciales involucrados en el proceso de eutroficación (Wetzel, 1981; Carmouze, 1994). Además, la energía externa disponible en el ambiente o en el sistema se refleja en las características del sedimento; por ello, la composición de los materiales de origen alóctono o autóctono y la velocidad con que se acumulan expresa la actividad del lago como receptor de una cuenca y como centro de actividad biológica (Margalef 1983).

El sedimento ha sido muy poco utilizado en la caracterización de ecosistemas lacustres y fue Naumann (1930) quien lo utilizó para la tipología de lagos por primera vez. Según este autor, sedimentos ricos en compuestos de fósforo, nitrógeno y materia orgánica de origen autóctono son típicos de lagos eutróficos, mientras que sedimentos con baja concentración de compuestos fosfatados, nitrogenados y de materia orgánica caracterizan lagos oligotróficos como lo es el caso del Embalse del Guajaro.

La determinación de materia orgánica de los sedimento determino que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre el área testigo con respecto al área con presencia de jaulas, donde se obtuvieron los mayores resultados con un porcentaje de 40,05 % del área con presencia de jaulas y el área 2 (punto testigo) con 14,4%. Estos resultados demuestran que la materia orgánica de los sedimentos se incrementan significativamente en las jaulas de cultivo, y por consecuente es mayor la utilización de concentrado comercial y otra clase de productos para el mantenimiento del cultivo; lo cual implica que la deposición de materia orgánica por la heces se incremente.

Con ello se puede demostrar que los procesos de cultivo de tilapia roja en jaulas flotantes ubicadas en el embalse del Guajaro, alteran la calidad del agua con respecto al contenido de materia orgánica en los sedimentos, causando un impacto ambiental en el medio circundante. (Vera y Vergara, 2016; Ackefors and Enel, 2007).

## 8. CONCLUSIONES

- El presente estudio permite concluir que la actividad acuícola de producción de Tilapia roja (*Oreochromis spp*) en jaulas en el Embalse del Guajaro, genera cambios ambientales negativos en los componentes agua y sedimentos en las áreas de influencia de la actividad.
- Se muestreo un punto del embalse con presencia de jaulas (Área 1) y un punto cercano del embalse sin presencia de jaulas (Área 2). En la columna agua se cuantificaron los parámetros fisicoquímicos: Oxígeno Disuelto OD, Temperatura T°, Conductividad Eléctrica CE, Potencial de Hidrógeno pH, Transparencia, Nitratos NO<sub>3</sub>, Fosfatos PO<sub>4</sub>, Solidos Suspendidos Totales SST, Demanda Biológica de Oxígeno DBO y Demanda Bioquímica de Oxígeno DQO, observándose que los parametros mayormente influenciados por los procesos acuícolas son el OD, los SST, la CE, la DBO y la DQO.
- Los cambios en la calidad del agua obedecen probablemente a los productos metabólicos de los mismos, al tipo, cantidad de alimento suministrado (por los altos niveles de proteína), y al desperdicio del alimento no consumido. Los niveles calculados se encuentran dentro del límite para la resiliencia del sistema después de un periodo de descanso.
- Las áreas estudiadas presentaron diferencia en cuanto al porcentaje de Materia Orgánica MO en los sedimentos, demostrando que el suministro y desperdicio de alimento, los productos farmacéuticos, los aditivos para el crecimiento de los peces, las heces de los mismos, el lavado de mallas e instalaciones entre otros, pueden influir en el incremento de los porcentajes de materia orgánica en los sedimentos lacustres, creando zonas de degradación

orgánica que deterioran la calidad de estos y la del agua en el medio circundante a las jaulas.

- Los resultados permiten inferir los impactos ambientales en la columna agua y en sedimentos ocasionada por la acuicultura intensiva en jaulas flotantes en sistemas lenticos como es el caso del Embalse del Guajaro. La evaluación de nutrientes demuestra que el embalse se puede clasificar como un sistema mesotrofico con cambios ambientales que aunque no sean alarmantes, evidencian degradación de los componentes agua y sedimentos en las áreas influenciadas por las jaulas de cultivo, por lo cual se debe prestar especial atención al desarrollo de esta actividad en el embalse.

## 9. RECOMENDACIONES

- Esta clase de investigaciones debe socializarse a las entidades territoriales, gubernamentales, empresarios y comunidad de la zona de influencia del Embalse del Guajaro, con el fin de dinamizar el desarrollo sostenible de los servicios ambientales de este recurso hidrico, en relación a las buenas prácticas de acuicultura.
- Seguir realizando esta clase de estudios no solo en el Embalse del Guajaro en el departamento del Atlantico, sino extenderse a los cuerpos de agua donde se realizan actividades y procesos acuícolas. Articular acciones técnicas e investigativas con las Corporaciones Autónomas Regionales quienes son las encargadas de velar por la protección del ambiente y los recursos naturales en el área de su jurisdicción y al mismo tiempo, aunar esfuerzos con entidades gubernamentales, no gubernamentales y entes territoriales de carácter ambiental a nivel local, regional y nacional con el fin de brindar lineamientos para el desarrollo y sostenibilidad del sector.
- La disponibilidad presupuestal es un limitante para la ejecución de esta clase de investigaciones, por lo cual junto a la actividad académica y al sector empresarial se debe gestionar los recursos técnicos y económicos que permitan analizar un mayor número de variables que brinden una mayor información técnica y científica sobre los impactos ambientales que causa la acuicultura intensiva en instalaciones de jaulas flotantes en sistemas acuáticos lenticos como el caso del Embalse del Guajaro
- Sería pertinente replicar los muestreos en época de lluvias altas y bajas con el fin de mitigar al máximo los errores de información en la toma de muestras de

parámetros fisicoquímicos y nutrientes a fin de conocer los cambios dinámicos producidos por la variabilidad climática.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, S.M. (2000). *Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos*. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile, 77-85 pp.
- Arrieta, M. (2000). *Presente y pasado de una microrregión del norte de Colombia*. Bogotá: Panamericana. 286 p
- Black, K., (2001). Environmental impacts of aquaculture. Sheffield, UK: Sheffield Academic. pp. 73–94
- Buschmann H. A. (2001). *Impacto Ambiental de la Acuicultura, El Estado de La Investigación en Chile y El Mundo*. Santiago de Chile: Terram Publicaciones.
- Caraballo, P. (1989). *Evaluación Biológico Pesquera y Económica del Embalse de El Guájaro (Atlántico, Colombia) entre febrero y diciembre de 1988*. Rev. Recursos Hidrobiológicos. INDERENA, 2, 85-2,03.
- Castro Hernández, L. F. (2005). *Estudio de la capacidad de carga del embalse El Guájaro en el Departamento del Atlántico*. Barranquilla: ASOCAGUA.
- Chen, J., Guang, C., Xu, H., Chen, Z., Xu, P., Yan, X., Wang, Y. & Liu, J.(2006). *A review of cage and pen aquaculture: China*.
- Claros, J. (2012). *Estudio del Proceso de Nitrificación y Desnitrificación Vía Nitrito para el Tratamiento Biológico de Corrientes de Agua Residual con Alta Carga de Nitrógeno Amoniacal* (Tesis Doctoral). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Coche, A.G. (1978). *Revue des pratiques d'élevage des poissons en cages dans les eaux continentales*. Aquaculture, 13:157–89 p
- Coche, A.G. (1978). *The cultivation of fish in cages*. Roma: FAO Fish.Circ. (714):43 p.
- Coche, A.G., (1979). *A review of cage fish culture and its application in Africa*. En *Advances in aquaculture*. Roma: T.V.R. Pillay y W.A. Dill. Farnham, Surrey, Fishing News Books Ltd., para la FAO, pp. 428–41
- Correa, J; Iral, R. y Rojas, L. (2006). *Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza*. Revista Colombiana de Estadística. 29(1). 57-76



Corporacion Autonoma Regional del Atlantico CRA - Universidad Del Atlántico – Fundacion Proceder Siglo XXI. (2006) *Estudio De Modelación De La Capacidad De Carga Del Embalse El Guajaro*. Barranquilla: Cormagdalena. p 24.

Delgado, C.L., Wada, N., Rosegrant, M.W., Meijer, S., y Ahmed, M. (2003). *Fish to Supply and Demand in Changing Global Markets*. Penang: International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington and World Fish Center. 226 p.

De Silva, S.S. y Phillips, M.J. (2009). *A review of cage aquaculture: Asia (excluding China)*. Roma: FAO.

Enell, M. (1982). *Changes in sediment dynamics caused by cage culture activities*. En Proceedings of the Tenth Nordic Symposium on sediments, Tvarminne-Finlandia, 5–8 may 1982. Onanien: I. Bergstromm, J. Kettunen y M. Stenmark. pp. 72–88

Espinoza, G. (2002). *Fundamentos de Evaluacion de Impacto Ambiental*. “Programa de Apoyo para el Mejoramiento de la Gestión Ambiental en los Países de América Latina y el Caribe”. Chile: Banco Interamericano De Desarrollo - Bid Centro De Estudios Para El Desarrollo – CED. 30-114

Federacion Colombiana de Acuicultura. *Informes de gestión 2011– 2012*. Bogota: Autor.

Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, S.F., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C., Ramankutty, N. y Snyder, P.K. 2005. *Global consequences of land use*. Roma: *Science*, 309: 570–574.

Gobernación Del Atlántico y Conservación Internacional Colombia. (2009). Barranquilla: Autor. p 126

Gonzalez, E.A. 2017. *Impacto ambiental de la acuicultura intensiva en los componentes agua y sedimento en el Lago Guamuez Nariño*. Tesis de Maestria. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. (Inedito)

Instituto de Estudios Hidráulicos y Ambientales – IDEHA y Universidad del Norte (2009). *Embalse del Guájaro: Diagnostico Hidráulico y Ambiental de la Condiciones Actuales*. Barranquilla: Autor.

Jammu y Piedrahita. (2002). *Modelo de dinámicas de materia orgánica y nitrógeno para el análisis ecológico de sistemas integrados acuicultura/agricultura*. *Environmental Modelling y Software*. 583-592 p

- Kilambi, R.V. *et al.*, (1976). *Effects of cage culture fish production upon the biotic and abiotic environment of Crystal Lake, Arkansas*. Final report to Arkansas Game and Fish.
- León, J.N. (2006). *Synopsis of salmon farming impacts and environmental management in Chile*. Consultancy Technical Report. Valdivia: WWF Chile. 46 pp.
- Ling, S.W., (1977). *Aquaculture in Southeast Asia*. Seattle: University of Washington Press, 208 p.
- López, J; Salas, J; Gómez, V y Sanguino, W. (2008). *Diagnóstico del estado de trofización y estudio de la variabilidad de los parámetros limnológicos y su interrelación con la producción de trucha arcoíris en jaulas flotantes en el Lago Guamuez*. Pasto; Corponariño y Universidad de Nariño. 156 p.
- Martínez, E., Fuentes, E. J.P. y Acevedo H. E., (2008). *Carbono Orgánico y Propiedades del Suelo*. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal. Vol.8. No.1 Temuco. On-line ISSN 0718-2791
- Merican, Z.O. (1983). *A study of solid waste production from freshwater fish cage culture*. Tesis de Lic. Escocia: University of Stirling 61 p.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2008 – 2012). *Anuarios estadísticos agropecuarios*. Bogota: Autor
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – IICA. (2012). *Agenda Nacional de Investigación en Pesca y Acuicultura*. Bogota: Autor
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2012). *Informes Anuales Cadena de la Acuicultura*. Dirección de Cadenas Productivas. Bogota: Autor
- Ministerio Del Medio Ambiente, Banco Interamericano De Desarrollo, CRA y CARDIQUE. (2002). *Plan de manejo ambiental del complejo de ciénagas El Totumo, Guájaro y El Jobo en la Ecorregión Estratégica del Canal Del Dique*. Barranquilla: Autor. 243 p
- Liao, I.C. y Chen T.I. (1979). *Report on the induced maturation and ovulation of milkfish (*Chanos chanos*) reared in tanks*. China:Proc.Annu.Meet.World Maricult.Soc., (20):317–31
- Liao, P.B. (1970). *Pollution potential of salmonid fish hatcheries*. Water Sewage Works, 117:290–7
- Liao, P.B. y Mayo, R. (1972). *Salmonid hatchery water reuse systems*. Aquaculture, 1:317–55

Mente, E., Pierce, G.J., Santos, M.B. y Neofitou, C. (2006). *Effect of feed and feeding in culture of salmonids on the marine aquatic environment: a synthesis for European aquaculture*. Aquaculture International, 14: 499–522.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (2006). *Conductividad Electrica Por El Método Electrométrico En Aguas*. Bogota: Autor. 1 p

Monje, C.A. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa, Guía didáctica*. Universidad Sur Colombiana., p 12-77

Murphy, J.P. y Lippeer R.I. (1970). *BOD production of channel catfish*. Prog.Fish-Cult., 32:195–8

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

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación FAO. (2018). *National Aquaculture Sector Overview. Visión general del sector acuícola nacional-Colombia. Natiional Aquaculture Sector Overview Fact Sheets*. Texto de Salazar Ariza, G. In: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO (en línea). Roma. Actualizado 1 February 2005 (Citado 8 de septiembre de 2018)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación FAO. (2014). *Informe de Colombia. Diseño de un proyecto para el fortalecimiento y expansión de la transferencia tecnológica en acuicultura y pesca continental entre los países de América del Sur*. Buenos Aires: Autor

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación FAO. (2011). *Informe del Taller sobre repoblamientos de cuerpos de agua continentales en América Latina y el Caribe*. Buenos Aires: Autor.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación FAO. (2016). *Yearbook Fishery And Aquaculture Statstics 2016*. Citado 03 de octubre de 2018 de <http://www.fao.org/fishery/statistics/programme/publications/all/es>.

Pantalu, V.R. (1979). *Floating cage culture of fish in the lower Mekong River Basin*. En Advances in aquaculture, editado por T.V.R. Pillay y W.A. Dill. Farnham, Surrey, Fishing News Books Ltd., para la FAO, pp. 423–7.

Phillips, M.J. 1982 *The attraction of free-ranging rainbow trout to a feeding station*. Tesis de doctorado. Stirling: University of Stirling, Escocia, 231 p. (Inédito)

Phillips, M.J. (1982). *A Trout ranching takes to the Scottish lochs*. Fish Farmer, 5(5):32–5

Phillips, M.J. et al. (1983). *Cage farm management*. Fish Farmer, 6(4):14–6

Pillay, T.V.R. y Kutty, M.N. 2005. *Aquaculture: Principles and Practices*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd. 624 pp.

Prieto, J. (2004). *El agua, sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación*. Bogota: Eco Ediciones. 275 p.

Programa Nacional De Transferencia De Tecnología Agropecuaria (PRONATTA). 2002. <http://www.colombiaaprende.edu.co/html/productos/1685/article-182145.html>.

Roldan, G. y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. 2da edición. Medellín: Universidad de Antioquia, Universidad Católica de Oriente y Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. 336 p.

Rosell, R.A. (1999). *Materia orgánica, fertilidad de suelos y productividad de cultivos*. Comunicación presentada al XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón, Chile

Sawyer, C.N. y McCarty. (1978). *Chemistry for Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill Book Company.

Solórzano, L y Sharp, J. (2003). *Determination of total dissolved phosphorus and particulate phosphorus in natural waters*. Journal, Limnology and Oceanography. 25 (4), 175 – 758.

Soto, D y Norambuena, F. (2004). *Evaluating salmon farming nutrient input effects in southern Chile inland seas: a large scale mensurative experiment*. J. Appl. Ichthyol., 33: 1–9.

Tacon, A.G.J. (2008). *Increasing the contribution of aquaculture for food security and poverty alleviation*. En Subasinghe, R.P., Bueno, P., Phillips, M.J., Hough, C. y McGladdery, S.M. *Aquaculture in the Third Millennium*, pp. 67–77. Technical Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium, Bangkok, Thailand, 33 p.

Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R. y Polasy, S. (2002). *Agricultural sustainability and intensive production practices*. Nature, 418: 671-677.

Torres, Q. E. (2014). *Determinar la capacidad de carga del embalse del Guájaro, como condición especial para decidir la viabilidad ambiental de cultivos intensivos*

*de peces en jaulas y establecer las zonas donde se puede desarrollar esta actividad.* Barranquilla: Corporacion Autonoma Regional del Atlantico. 5 p

Tucholski, S., Kok, J. y Wojno, T. (1980). *Studies on removal of wastes produced during cage rearing of rainbow trout (Salmo gairdner Richardson) in lakes. 1. Chemical composition of wastes.* Rocz.Nauk Roln., 82:3–15

Tucholski, S., Wieclawski, F. y Wojno, T. (1980). *Studies on removal of wastes produced during cage rearing of rainbow trout (Salmo gairdneri Richardson) in lakes. 2. Chemical composition of water and bottom sedimentos.* Rocz.Nauk Roln., 82:17–30

Vaas, K.R. y Sachlan, M. (1957). *Cultivation of common carp in running water in West Java.* Proc.IPFC, 6 (1–2):187

## ANEXOS

### ANEXO A 1. Análisis de datos obtenidos del muestreo 9 de enero del 2018.

FECHA	09 de ENERO DE 2018												
COORDENADAS	10°32'22,77" N 75° 1'7,02"O												
ESTACIÓN	ALEVINAJE												
MEDICIÓN	PUNTO 1												
	0 Metros				2 Metros				3,3 Metros				
	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	
OD (mg/l)	5,45	5,45	5,205	5,35	5,2	5,05	5,2	5,1	4,35	4,45	4,5	4,4	
T°(°c)	30	29,7	29,6	29,77	28,9	28,9	28,75	28,85	27,75	27,6	27,55	27,65	
CE (nS/cm)	987,75	905	935	942,6	930	930	920	926,65	900	912	920	910,6	
pH (unidades de pH)	8,71	8,455	8,72	8,645	8,65	8,5	8,55	8,6	8,7	8,72	8,7	8,7	
FOSFORO mg/L	0,065	0,0645	0,063	0,06375	0,066	0,0655	0,0655	0,0655	0,065	0,064	0,067	0,065333333	
SST mg/L	29	25,5	24,5	26,35	20,5	22,5	22,5	21,8	19,5	20,325	19,5	19,775	
NITRATO mg/L	0,201	0,365	0,36	0,307	0,355	0,365	0,365	0,36	0,375	0,36	0,37	0,37	
DOO mg/L	50,5	50,05	50	49,65	53,2	53,05	53,4	53,6	58,25	57,9	57,9	58,05	
DBO mg/L	23,935	24,75	23,25	24,35	25,55	25,35	25,4	25,415	26,6	26,85	27,4	26,95	
TRANSPARENCIA cm	46,5				46				46				46,15
REGISTRO DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS EN LAS AREAS Y PUNTOS DE MUESTREO													
FECHA	09 de ENERO DE 2018												
COORDENADAS	10°32'57,65" N 75° 1'23,82"O												
MEDICIÓN	PUNTO 2												
	0 Metros				2 Metros				3,3 Metros				
	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	
OD (mg/l)	5,04	5,05	5,03	5,04	5,04	5,05	5,03	5,04	5,09	5,1	5	5,09	
T°(°c)	29,2	29,3	29,2	29,2	29,2	29,3	29,2	29,2	27	27	27	27	
CE (nS/cm)	364	365	364	364	86	85,9	85,8	85,9	335	330	340	335	
pH (unidades de pH)	8,62	8,63	8,62	8,62	8,62	8,63	8,62	8,62	8,62	8,63	8,62	8,62	
FOSFOROS mg/L	0,027	0,027	0,027	0,027	0,06	0,06	0,065	0,061	0,071	0,071	0,071	0,071	
SST mg/L	14,76	14,77	14,76	14,76	20,3	22	18,9	20,4	14,8	14,6	14,7	14,7	
NITRATO mg/L	0,08	0,08	0,08	0,08	0,38	0,39	0,38	0,38	0,01	0,02	0,01	0,013333333	
DOO mg/L	25	25,2	25	25,06	28,1	28,3	28	28,1	31	30,9	30,4	30,8	
DBO mg/L	11	12	10	11	14	13	13,5	28,1	15,1	15,2	15,6	15,3	
TRANSPARENCIA cm	78				76				77				77

**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018

**ANEXO A 2.** Análisis de datos obtenidos del muestreo 19 de febrero del 2018.

FECHA	19 DE FEBRERO DE 2018												
COORDENADAS	10°32'32,25"												
ESTACIÓN	ALEVINAJE												
MEDICIÓN	PUNTO 1												
	0 Metros				2 Metros				3,3 Metros				
	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	
OD (mg/l)	4,4	4,45	4,3	4,4	4,05	3,95	4,1	4,05	3,6	3,6	3,65	3,65	
T° (°C)	30	29,7	29,6	29,77	28	28,5	28,5	28,3	27	27,2	27,1	27,1	
CE (nS/cm)	992,25	938	921	950,55	905	905	900	903,3	934,5	932	934	933,45	
pH (unidades de pH)	8,76	8,6	8,72	8,7	8,6	8,45	8,7	8,6	8,7	8,71	8,7	8,7	
FOSFORO mg/L	0,063	0,064	0,0635	0,063	0,064	0,064	0,063	0,0635	0,216	0,2205	0,1905	0,205	
SST mg/L	32,5	30,5	28,5	30,5	26,5	24,5	26,5	25,85	20	20,5	20	20,15	
NITRATO mg/L	0,325	0,335	0,355	0,34	0,35	0,37	0,345	0,37	0,08	0,09	0,095	0,086	
DOO mg/L	50,95	51,35	47,75	50	55,45	55,7	55,85	55,65	60,2	60,2	60,5	60,3	
DBO mg/L	25,701	25,63	25,935	25,75	27,5	27,1	28,05	27,55	28,3	28,5	29,95	28,85	
TRANSPARENCIA cm	45				45				47				45,35
<b>REGISTRO DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS EN LAS AREAS Y PUNTOS DE MUESTREO</b>													
FECHA	19 DE FEBRERO DE 2018												
COORDENADAS	10°32'57,65" N 75° 1'23,82"O												
MEDICIÓN	PUNTO 2												
	0 Metros				2				3,3				
	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	
OD (mg/l)	5,04	5,05	5,03	5,04	5,04	5,05	5,03	5,04	5,09	5,1	5	5,09	
T° (°C)	32	32,2	31,5	31,9	30,8	31	30,9	30,9	28	28,7	28,1	28,3	
CE (nS/cm)	364	365	364	364	330	328	327	328,3	335	330	340	335	
pH (unidades de pH)	8,62	8,63	8,62	8,62	8,62	8,63	8,62	8,62	8,62	8,63	8,62	8,62	
FOSFORO mg/L	0,027	0,027	0,027	0,027	0,06	0,06	0,065	0,061	0,071	0,071	0,071	0,071	
SST mg/L	14,76	14,77	14,76	14,76	14	14,5	14	14,16	14,8	14,6	14,7	14,7	
NITRATO mg/L	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06	0,05	0,06	0,056	0,01	0,02	0,01	0,01	
DOO mg/L	26	25,9	25,7	25,9	32	32,6	32,5	32,4	35	35,4	35,5	35,3	
DBO mg/L	11	12	10	11	14	13	13,5	13,5	15,3	15,2	15,4	15,3	
TRANSPARENCIA cm	78				76				77				77

Fuente: Urbano M., C. P., 2018

**ANEXO A 3.** Análisis de datos obtenidos del muestreo 19 de marzo del 2018.

FECHA	19 DE MARZO DE 2018												
COORDENADAS													
ESTACIÓN	ALEVINAJE												
MEDICIÓN	PUNTO 1												
	0 Metros				2 Metros				2,7 Metros				
	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	
OD (mg/l)	4,97	4,925	4,765	4,89	4,52	4,625	4,565	4,57	4,445	4,35	4,25	4,345	
T° (°C)	32	32,2	31,75	31,95	30,8	31	30,9	30,9	28	28,35	28,05	28,15	
CE (nS/cm)	677	642,5	649	656	615	619	613,5	615,8	617,5	620	623,5	620,3	
pH (Unidades de pH)	8,67	8,665	8,68	8,67	8,61	8,615	8,66	8,61	8,66	8,675	8,66	8,66	
FOSFORO mg/L	0,046	0,046	0,0465	0,046	0,063	0,062	0,065	0,063	0,067	0,068	0,068	0,0675	
SST mg/L	20,38	21,385	17,38	19,73	17,15	18,25	16,45	17,28	16,4	15,8	14,85	15,65	
NITRATO mg/L	0,19	0,205	0,23	0,21	0,205	0,21	0,2	0,218	0,045	0,055	0,0525	0,048	
DOO mg/L	51	51,6	49,6	50,75	54,5	54,85	54,9	54,75	59,05	59,5	59,85	59,45	
DBO mg/L	25,335	25,5	24,3	25,05	25,66	27,2	26	26,3	28	28,6	28,65	28,4	
TRANSPARENCIA cm	61,5				60,5				62,5				61,5
<b>REGISTRO DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS EN LAS AREAS Y PUNTOS DE MUESTREO</b>													
FECHA	19 DE MARZO DE 2018												
COORDENADAS	10°32'57,65" N 75° 1'23,82" O												
MEDICIÓN	PUNTO 2												
	0 Metros				2				3,3 Metros				
	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	
OD (mg/l)	5,04	5,05	5,03	5,04	5,04	5,05	5,03	5,04	5,09	5,1	5	5,09	
T° (°C)	29,5	29,5	29,5	29,5	29	29	29	29	28,3	28,7	28,1	28,3	
CE (nS/cm)	364	365	364	364	330	328	327	328,3	327	330	320	327	
pH (Unidades de pH)	9,02	9	9,02	9,02	8,62	8,63	8,62	8,62	8,62	8,63	8,62	8,62	
FOSFOROS mg/L	0,458	0,459	0,457	0,458	0,06	0,06	0,065	0,061	0,071	0,071	0,071	0,071	
SST mg/L	12,4	12,5	12,3	12,4	14	14,5	14	14,16	14,22	14,25	14,26	14,22	
NITRATO mg/L	0,32	0,34	0,33	0,33	0,06	0,05	0,06	0,056	0,01	0,02	0,01	0,01	
DOO mg/L	25,2	25	25,1	25,1	28,4	28,3	28,3	28,33	31	30,9	30,4	30,8	
DBO mg/L	12	11,8	11	11,6	14	13	13,5	13,5	16	16,2	16,4	16,2	
TRANSPARENCIA cm	72				76				77				75

**Fuente:** Urbano M., C. P., 2018



**Anexo 1. Promedios, Desviación estándar, Error estándar y Coeficiente de variación de parámetros físico químicos.**

OXIGENO DISUELTO (mg/L)			TEMPERATURA (mg/L)			pH			CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (µs/cm)		
	PUNTO 1 y 2	PUNTO 3		PUNTO 1 y 2	PUNTO 3		PUNTO 1 y 2	PUNTO 3		PUNTO 1 y 2	PUNTO 3
0 METROS	4,88	5,04	0 METROS	30,50	30,20	0 METROS	8,67	8,75	0 METROS	849,72	364,00
2 METROS	4,68	5,04	2 METROS	29,35	29,70	2 METROS	8,60	8,62	2 METROS	815,25	247,50
3,3 METROS	4,13	5,09	3,3 METROS	27,63	27,87	3,3 METROS	8,67	8,62	3,3 METROS	735,63	332,33
	DESVEST 1	DESVEST 2		DESVEST 1	DESVEST 2		DESVEST 1	DESVEST 2		DESVEST 1	DESVEST 2
0 METROS	0,48	0,00	0 METROS	1,26	1,48	0 METROS	0,03	0,23	0 METROS	168,84	0,00
2 METROS	0,61	0,00	2 METROS	1,40	1,04	2 METROS	0,01	0,00	2 METROS	179,47	139,95
3,3 METROS	0,47	0,00	3,3 METROS	0,59	0,75	3,3 METROS	0,02	0,00	3,3 METROS	175,39	4,62
	Error Estand	Error Estand		Error Estand	Error Estand		Error Estand	Error Estand		Error Estand	Error Estand
0 METROS	0,16	0,00	0 METROS	0,42	0,49	0 METROS	0,01	0,08	0 METROS	56,28	55,95
2 METROS	0,20	0,00	2 METROS	0,47	0,35	2 METROS	0,00	0,00	2 METROS	59,82	78,65
3,3 METROS	0,16	0,00	3,3 METROS	0,20	0,25	3,3 METROS	0,01	0,00	3,3 METROS	58,46	58,75
	Coefi Varia	Coefi Varia		Coefi Varia	Coefi Varia		Coefi Varia	Coefi Varia		Coefi Varia	Coefi Varia
0 METROS	9,8	0,0	0 METROS	4,13	4,90	0 METROS	0,00	0,03	0 METROS	0,15	0,00
2 METROS	13,1	0,0	2 METROS	4,78	3,52	2 METROS	0,00	0,00	2 METROS	0,17	0,57
3,3 METROS	10,5	0,0	3,3 METROS	2,14	2,69	3,3 METROS	0,00	0,00	3,3 METROS	0,16	0,01
SST (mg/L)			DQO (mg/L)			DBO (mg/L)			TRANSPARENCIA		
	PUNTO 1 y 2	PUNTO 3		PUNTO 1 y 2	PUNTO 3		PUNTO 1 y 2	PUNTO 3		PUNTO 1 y 2	PUNTO 3
0 METROS	25,53	13,97	0 METROS	50,13	56,93	0 METROS	25,05	11,20	0 METROS	51,00	76,00
2 METROS	21,64	16,24	2 METROS	54,67	63,77	2 METROS	26,42	18,37	2 METROS	55,00	76,00
3,3 METROS	12,66	14,54	3,3 METROS	59,27	72,27	3,3 METROS	28,07	15,60	3,3 METROS	51,83	77,00
	DESVEST 1	DESVEST 2		DESVEST 1	DESVEST 2		DESVEST 1	DESVEST 2		DESVEST 1	DESVEST 2
0 METROS	5,49	1,36	0 METROS	0,61	0,75	0 METROS	0,73	0,35	0 METROS	9,54	3,46
2 METROS	4,35	3,60	2 METROS	1,49	0,75	2 METROS	1,08	8,43	2 METROS	9,41	0,00
3,3 METROS	2,52	0,28	3,3 METROS	2,76	1,96	3,3 METROS	1,01	0,52	3,3 METROS	9,53	0,00
	Error Estand	Error Estand		Error Estand	Error Estand		Error Estand	Error Estand		Error Estand	Error Estand
0 METROS	1,83	0,45	0 METROS	0,20	0,25	0 METROS	0,24	0,12	0 METROS	3,18	1,15
2 METROS	1,45	1,20	2 METROS	0,50	0,25	2 METROS	0,36	2,81	2 METROS	3,14	0,00
3,3 METROS	0,84	0,09	3,3 METROS	0,92	0,65	3,3 METROS	0,34	0,17	3,3 METROS	3,18	0,00
	Coefi Varia	Coefi Varia		Coefi Varia	Coefi Varia		Coefi Varia	Coefi Varia		Coefi Varia	Coefi Varia
0 METROS	0,22	0,10	0 METROS	0,01	0,01	0 METROS	0,03	0,03	0 METROS	0,17	0,05
2 METROS	0,20	0,22	2 METROS	0,03	0,01	2 METROS	0,04	0,46	2 METROS	0,17	0,00
3,3 METROS	0,25	0,02	3,3 METROS	0,05	0,03	3,3 METROS	0,04	0,03	3,3 METROS	0,17	0,00

Anexo 2. Pruebas de Normalidad para Oxígeno Disuelto.

Pruebas de Normalidad			
Serie #1 (punto 1)			
Tamaño muestral	27	Media	4,442592593
Desviación Típica	0,512359494	Mediana	4,3
Sesgamiento	0,641061638	Kurtosis	2,382081626
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	0,67940437	Kurtosis Alternativa (de Fisher)	-0,48974096
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,044438995		Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,91320882	0,027169833	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	1,538611986	0,123899051	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-0,480622947	0,630784503	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	2,59832526	0,272760098	Aceptar la Normalidad
<b>Serie #2 (punto 2)</b>			
Tamaño muestral	27	Media	4,571111111
Desviación Típica	0,679747314	Mediana	5,03
Sesgamiento	-0,742785035	Kurtosis	1,599375118
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-0,787211977	Kurtosis Alternativa (de Fisher)	-1,439424857
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,008067922		Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,640413468	6,36E-07	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	1,757954962	0,078755173	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-3,065880236	0,002170302	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	12,49002727	0,001940104	Rechazar la Normalidad

**Anexo 3** Análisis estadístico para oxígeno disuelto.

Estadísticos descriptivos:							
Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. Sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
PUNTO 1	27	0	27	3,700	5,450	4,443	0,512
PUNTO 2	27	0	27	3,500	5,050	4,571	0,680
Prueba de Mann-Whitney / Prueba unilaterial a la izquierda:							
U	340,500						
U (estandarizada)	-0,408						
Valore esperado	364,500						
Varianza (U)	3321,637						
valor-p (unilateral)	0,342						
alfa	0,05						
El valor-p exacto no ha podido calcularse. Se ha utilizado una aproximación para calcular el valor-p.							
Interpretación de la prueba:							
H0: La diferencia de posición entre las muestras es igual a 0.							
Ha: La diferencia de posición entre las muestras es inferior a 0.							
Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación alfa=0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula H0.							
Se han detectado empates en los datos y se han aplicado las correcciones apropiadas.							

**Anexo 4 Pruebas de Normalidad para Temperatura.**

<b>Pruebas de Normalidad</b>			
<b>Serie #1 (punto 1)</b>			
Tamaño muestral	27	Media	29,81851852
Desviación Típica	1,222713576	Mediana	29,25
Sesgamiento	0,403213151	Kurtosis	1,646438093
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	0,427329855	Kurtosis Alterna (de Fisher)	-1,382321781
	<b>Estadísticas de la Pr</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0		Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,824190725	0,000370226	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0,99417282	0,320138738	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-2,819118564	0,004815573	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	8,935809071	0,011471328	Rechazar la Normalidad
<b>Serie #2 (punto 2)</b>			
Tamaño muestral	27	Media	27,70740741
Desviación Típica	0,616395182	Mediana	28
Sesgamiento	0,135302595	Kurtosis	1,566679458
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	0,14339522	Kurtosis Alterna (de Fisher)	-1,479095591
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	0,14339522	Kurtosis Alterna (de Fisher)	-1,479095591
	<b>Estadísticas de la Pr</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,011863786		Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,844038413	0,000879771	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0,339395406	0,734311879	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-3,250102583	0,001153634	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	10,67835604	0,004799814	Rechazar la Normalidad

**Anexo 5** Análisis estadístico para Temperatura.

Estadísticos descriptivos:							
Variable	Observaciones	Obs. con datos	Obs. sin datos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
PUNTO 1	27	0	27	28,100	31,600	29,819	1,223
PUNTO 2	27	0	27	27,000	28,700	27,707	0,616
Prueba de Mann-Whitney / Prueba unilateral a la izquierda:							
U	711						
U (estandarizado)	6,020						
Valore esperado	364,500						
Varianza (U)	3322,401						
valor-p (unilateral)	1,000						
alfa	0,05						
El valor-p exacto no ha podido calcularse. Se ha utilizado una aproximación para calcular el valor-p.							
Interpretación de la prueba:							
H0: La diferencia de posición entre las muestras es igual a 0.							
Ha: La diferencia de posición entre las muestras es inferior a 0.							
Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$ , no se puede rechazar la hipótesis nula H0.							
Se han detectado empates en los datos y se han aplicado las correcciones apropiadas.							

**Anexo 6 Pruebas de Normalidad para Conductividad Eléctrica.**

<b>Pruebas de Normalidad</b>			
<b>Serie #1 (PUNTO 1)</b>			
Tamaño muestral	27	Media	721,3462963
Desviación Típica	301,6576734	Mediana	915
Sesgamiento	-0,738805829	Kurtosis	1,620150663
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-0,782994769	Kurtosis Alterna (de Fisher)	-1,414217196
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefor	0,115356193		Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,679131706	2,01338E-06	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	1,749535515	0,080198495	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-2,954418841	0,003132585	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	11,78946521	0,002753913	Rechazar la Normalidad
<b>Serie #2 (PUNTO 2)</b>			
Tamaño muestral	27	Media	721,7037037
Desviación Típica	281,4577185	Mediana	900
Sesgamiento	-0,694898902	Kurtosis	1,50275679
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-0,736461711	Kurtosis Alterna (de Fisher)	-1,556655095
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefor	0,130517361		Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,650782933	8,59594E-07	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	1,655761241	0,09777018	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-3,645753817	0,000266609	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	16,03306618	0,000329962	Rechazar la Normalidad

**Anexo 7** Análisis estadístico para Conductividad Eléctrica.

Estadísticos descriptivos:							
Variable	Observacion	Obs. con datos	Obs. sin datos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
PUNTO 1	27	0	27	224,900	970,000	721,346	301,658
PUNTO 2	27	0	27	320,000	968,000	721,704	281,458
Prueba de Mann-Whitney / Prueba unilateral a la izquierda:							
U	442						
U (estandarizado)	1,351						
Valore esperado	364,500						
Varianza (U)	3335,264						
valor-p (unilateral)	0,912						
alfa	0,05						
valor-p exacto no ha podido calcularse. Se ha utilizado una aproximación para calcular el valor							
Interpretación de la prueba:							
H0: La diferencia de posición entre las muestras es igual a 0.							
Ha: La diferencia de posición entre las muestras es inferior a 0.							
Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$ , no se puede rechazar la hipótesis nula H0.							

### Anexo 8 Pruebas de Normalidad para pH

Pruebas de Normalidad			
Serie #1 (punto 1)			
Tamaño muestral	27	Media	8,650740741
Desviación Típica	0,099795018	Mediana	8,66
Sesgamiento	-0,662633888	Kurtosis	4,415522717
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-0,702266885	Kurtosis Alternativa (de Fisher)	1,977500897
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0		Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,933949227	0,086415385	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	1,585837135	0,112776259	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	1,849416182	0,064397741	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	5,935219635	0,051426081	Aceptar la Normalidad
Serie #2 (punto 2)			
Tamaño muestral	27	Media	8,678148148
Desviación Típica	0,040290965	Mediana	8,7
Sesgamiento	-0,606633688	Kurtosis	1,56141373
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-0,64291724	Kurtosis Alternativa (de Fisher)	-1,485484674
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0		Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,732790772	1,14741E-05	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	1,462466194	0,143613502	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-3,280845006	0,001034966	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	12,90275132	0,001578349	Rechazar la Normalidad



**Anexo 9** Análisis estadístico para Ph

Estadísticos descriptivos:							
Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
punto 1	27	0	27	8,355	8,820	8,651	0,100
punto 2	27	0	27	8,620	8,720	8,678	0,040
Prueba de Mann-Whitney / Prueba unilateral a la izquierda:							
U	297,500						
U (estandarizado)	0,000						
Valore esperado	364,500						
Varianza (U)	3213,892						
valor-p (unilateral)	0,119						
alfa	0,05						
El valor-p se calcula utilizando un método exacto. Tiempo transcurrido: 0s.							
Interpretación de la prueba:							
H0: La diferencia de posición entre las muestras es igual a 0.							
Ha: La diferencia de posición entre las muestras es inferior a 0.							
Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$ , no se puede rechazar la hipótesis nula H0.							
Se han detectado empates en los datos y se han aplicado las correcciones apropiadas.							

## Anexo 10 Pruebas de Normalidad para SST

<b>Pruebas de Normalidad</b>			
<b>Serie #1 (punto 1)</b>			
Tamaño muestral	27	Media	21,65518519
Desviación Típica	5,473194553	Mediana	23,15
Sesgamiento	-0,17722595	Kurtosis	1,867633395
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-0,18782606	Kurtosis Alternativa (de Fisher)	-1,113938148
	<b>Estadísticas</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,058243585		Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,936471029	0,099710977	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0,443838421	0,657159408	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-1,87907316	0,060234504	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	3,727908486	0,155058278	Aceptar la Normalidad
<b>Serie #2 (punto 2)</b>			
Tamaño muestral	27	Media	17,42888889
Desviación Típica	2,599071333	Mediana	18
Sesgamiento	0,074485152	Kurtosis	1,486895259
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	0,078940206	Kurtosis Alternativa (de Fisher)	-1,575900419
	<b>Estadísticas</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,056004526		Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,875086252	0,003769138	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0,187136367	0,851553715	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-3,75220636	0,000175285	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	14,11407259	0,000861327	Rechazar la Normalidad

**Anexo 11** Análisis estadístico para SST

Estadísticos descriptivos:							
Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
punto 1	27	0	27	13,150	31,500	21,655	5,473
punto 2	27	0	27	14,220	22,000	17,429	2,599
Prueba de Mann-Whitney / Prueba unilateral a la izquierda:							
U	519						
U (estandar	2,683						
Valore espe	364,500						
Varianza (U	3336,410						
valor-p (unil	0,996						
alfa	0,05						
El valor-p exacto no ha podido calcularse. Se ha utilizado una aproximación para calcular el valor-p.							
Interpretación de la prueba:							
H0: La diferencia de posición entre las muestras es igual a 0.							
Ha: La diferencia de posición entre las muestras es inferior a 0.							
Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$ , no se puede rechazar la hipótesis nula H0.							

## Anexo 12 Pruebas de Normalidad para DQO

Pruebas de Normalidad			
<b>Serie #1 (PUNTO 1)</b>			
Tamaño muestral	27	Media	44,11111111
Desviación Típica	13,75264543	Mediana	44,95
Sesgamiento	-0,038093757	Kurtosis	1,518026111
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-0,040372194	Kurtosis Alterna (de Fisher)	-1,538128318
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,158771435		Evidencia probable en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,841295754	0,000778388	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0,095755659	0,923714635	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-3,546565405	0,000390288	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	12,58729532	0,001848007	Rechazar la Normalidad
<b>Serie #2 (PUNTO 2)</b>			
Tamaño muestral	27	Media	50,26666667
Desviación Típica	17,04776096	Mediana	47,9
Sesgamiento	0,325056153	Kurtosis	1,515955152
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	0,344498185	Kurtosis Alterna (de Fisher)	-1,540641082
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,140141313		Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,836113607	0,000619192	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0,806802727	0,419780148	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-3,559835653	0,000371087	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	13,32336051	0,001278996	Rechazar la Normalidad

### Anexo 13 Análisis estadístico para DQO

Estadísticos descriptivos:							
Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
PUNTO 1	27	0	27	26,500	61,450	44,111	13,753
PUNTO 2	27	0	27	30,400	74,000	50,267	17,048
Prueba de Mann-Whitney / Prueba unilateral a la izquierda:							
U	270						
U (estandarizado)	-1,626						
Valore esperado	364,500						
Varianza (U)	3340,231						
valor-p (unilateral)	0,052						
alfa	0,05						
El valor-p exacto no ha podido calcularse. Se ha utilizado una aproximación para calcular el valor-p.							
Interpretación de la prueba:							
H0: La diferencia de posición entre las muestras es igual a 0.							
Ha: La diferencia de posición entre las muestras es inferior a 0.							
Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$ , no se puede rechazar la hipótesis nula H0.							
Se han detectado empates en los datos y se han aplicado las correcciones apropiadas.							

## Anexo 14 Pruebas de Normalidad para DBO

Pruebas de Normalidad			
<b>Serie #1 (PUNTO 1)</b>			
Tamaño muestral	27	<b>Media</b>	21,23318519
Desviación Típica	6,470999929	<b>Mediana</b>	25,165
Sesgamiento	-0,646577337	<b>Kurtosis</b>	1,510815517
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-0,68524997	<b>Kurtosis Alternativa (de Fisher)</b>	-1,546877173
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,219775731		<b>Evidencia fuerte en contra de la normalidad</b>
W de Shapiro-Wilk	0,721601302	7,86E-06	<b>Rechazar la Normalidad</b>
D'Agostino Sesgamiento	1,550722676	0,120968158	<b>Aceptar la Normalidad</b>
D'Agostino Kurtosis	-3,59301441	0,000326875	<b>Rechazar la Normalidad</b>
D'Agostino Omnibus	15,31449337	0,000472607	<b>Rechazar la Normalidad</b>
<b>Serie #2 (PUNTO 2)</b>			
Tamaño muestral	27	<b>Media</b>	23,92962963
Desviación Típica	6,074398661	<b>Mediana</b>	27,6
Sesgamiento	-0,645321463	<b>Kurtosis</b>	1,515778607
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-0,683918982	<b>Kurtosis Alternativa (de Fisher)</b>	-1,54085529
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,238301482		<b>Evidencia fuerte en contra de la normalidad</b>
W de Shapiro-Wilk	0,727605921	9,62E-06	<b>Rechazar la Normalidad</b>
D'Agostino Sesgamiento	1,54796735	0,121630158	<b>Aceptar la Normalidad</b>
D'Agostino Kurtosis	-3,560969523	0,000369488	<b>Rechazar la Normalidad</b>
D'Agostino Omnibus	15,07670686	0,000532273	<b>Rechazar la Normalidad</b>

## Anexo 15 Análisis estadístico para DBO

Estadísticos descriptivos:							
Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
PUNTO 1	27	0	27	11,750	27,501	21,233	6,471
PUNTO 2	27	0	27	15,100	30,000	23,930	6,074
Prueba de Mann-Whitney / Prueba unilateral a la izquierda:							
U	179						
U (estandarizado)	-3,201						
Valore esperado	364,500						
Varianza (U)	3339,340						
valor-p (unilateral)	0,001						
alfa	0,05						
El valor-p exacto no ha podido calcularse. Se ha utilizado una aproximación para calcular el valor-p.							
Interpretación de la prueba:							
H0: La diferencia de posición entre las muestras es igual a 0.							
Ha: La diferencia de posición entre las muestras es inferior a 0.							
Puesto que el valor-p computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0,05$ , se debe rechazar la hipótesis nula H0, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.							

## Anexo 16 Pruebas de Normalidad para Transparencia

Pruebas de Normalidad				
Serie #1 (PUNTO 1)				
Tamaño muestral	9	Media	55,5	
Desviación Típica	15,41509001	Mediana	46	
Sesgamiento	0,710443688	Kurtosis	1,527012279	
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	0,861187799	Kurtosis Alternativa (de Fisher)	-1,66283375	
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>	
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,116715969		Evidencia nula en contra de la normalidad	
W de Shapiro-Wilk	0,670140503	0,000635296	Rechazar la Normalidad	
D'Agostino Sesgamiento	1,218061545	0,223200586	Aceptar la Normalidad	
D'Agostino Kurtosis	-1,472873306	0,140785201	Aceptar la Normalidad	
D'Agostino Omnibus	3,653029703	0,160973608	Aceptar la Normalidad	
Serie #2 (PUNTO 2)				
Tamaño muestral	9	Media	57	
Desviación Típica	15,0249792	Mediana	48	
Sesgamiento	0,696550062	Kurtosis	1,5	
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	0,844346182	Kurtosis Alternativa (de Fisher)	-1,71428571	
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>	
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,101283803		Evidencia nula en contra de la normalidad	
W de Shapiro-Wilk	0,656925736	0,000444903	Rechazar la Normalidad	
D'Agostino Sesgamiento	1,194851912	0,232144894	Aceptar la Normalidad	
D'Agostino Kurtosis	-1,542673494	0,122910016	Aceptar la Normalidad	
D'Agostino Omnibus	3,807512601	0,149007848	Aceptar la Normalidad	



**Anexo 17** Análisis estadístico para Transparencia.

Estadísticos descriptivos:							
Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
PUNTO 1	9	0	9	44,000	77,000	55,500	15,415
PUNTO 2	9	0	9	46,000	77,000	57,000	15,025
<b>Prueba t para dos muestras independientes / Prueba bilateral:</b>							
Intervalo de confianza para la diferencia entre las medias al 95%:							
[ -16,711 ; 13,711 ]							
Diferencia	-1,500						
t (Valor observado)	-0,209						
t  (Valor crítico)	2,120						
GL	16						
valor-p (bilateral)	0,837						
alfa	0,05						

**Anexo 18** Promedios, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación de nutrientes en las áreas y puntos de muestreo.

FOSFORO ORGANICO (mg/L)		
	PUNTO 1 y 2	PUNTO 3
0 METROS	0,06	0,17
2 METROS	0,06	0,06
3,3 METROS	0,16	0,07
	DESVEST 1	DESVEST 2
0 METROS	0,01	0,25
2 METROS	0,00	0,00
3,3 METROS	0,08	0,00
	Error Estand	Error Estand
0 METROS	0,00	0,08
2 METROS	0,00	0,00
3,3 METROS	0,03	0,00
	Coefi Varia	Coefi Varia
0 METROS	0,23	1,46
2 METROS	0,03	0,00
3,3 METROS	0,51	0,00

NITRATOS (mg/L)		
	PUNTO 1 y 2	PUNTO 3
0 METROS	0,29	0,16
2 METROS	0,32	0,16
3,3 METROS	0,17	0,01
	DESVEST 1	DESVEST 2
0 METROS	0,08	0,14
2 METROS	0,09	0,19
3,3 METROS	0,18	0,00
	Error Estand	Error Estand
0 METROS	0,03	0,05
2 METROS	0,03	0,06
3,3 METROS	0,06	0,00
	Coefi Varia	Coefi Varia
0 METROS	0,34	0,88
2 METROS	0,34	1,14
3,3 METROS	1,07	0,17

**Anexo 19** Prueba de Normalidad para Nitratos.

<b>Pruebas de Normalidad</b>			
<b>Serie #1 (PUNTO 1)</b>			
Tamaño muestral	27	Media	0,283
Desviación Típica	0,102521668	Mediana	0,34
Sesgamiento	-0,968590789	Kurtosis	2,676392162
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-1,026523467	Kurtosis Alterna (de Fisher)	-0,132644176
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefor	0,002548803		Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,824269088	0,00037146	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	2,214039277	0,026826077	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	0,061317507	0,951106348	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	4,905729756	0,08604672	Aceptar la Normalidad
<b>Serie #2 (PUNTO 2)</b>			
Tamaño muestral	27	Media	0,125555556
Desviación Típica	0,136799498	Mediana	0,09
Sesgamiento	1,133755408	Kurtosis	2,636170405
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	1,201566798	Kurtosis Alterna (de Fisher)	-0,181446575
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefor	0,026613246		Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,722637955	8,1373E-06	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	2,521103211	0,011698753	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-0,005553108	0,995569284	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	6,35599224	0,041669071	Rechazar la Normalidad

## Anexo 20 Análisis estadístico para Nitratos

Estadísticos descriptivos:							
Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
PUNTO 1	27	0	27	0,065	0,390	0,283	0,103
PUNTO 2	27	0	27	0,010	0,390	0,126	0,137
Prueba de Mann-Whitney / Prueba unilateral a la izquierda:							
U	562						
U (estandarizado)	3,434						
Valore esperado	364,500						
Varianza (U)	3325,203						
valor-p (unilateral)	1,000						
alfa	0,05						
El valor-p exacto no ha podido calcularse. Se ha utilizado una aproximación para calcular el valor-p.							
Interpretación de la prueba:							
H0: La diferencia de posición entre las muestras es igual a 0.							
Ha: La diferencia de posición entre las muestras es inferior a 0.							
Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación alfa=0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula H0.							

Anexo 21. Prueba de Normalidad para Fosfatos.

Pruebas de Normalidad			
<b>Serie #1 (PUNTO 1)</b>			
Tamaño muestral	27	Media	0,10087037
Desviación Típica	0,117782279	Mediana	0,0645
Sesgamiento	3,100816366	Kurtosis	12,590942
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	3,286280237	Kurtosis Alternativa (de	11,89700962
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	1,47807E-05		Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,476023738	9,69302E-09	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	4,974898867	6,52817E-07	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	4,184103995	2,86293E-05	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	42,25634498	6,67039E-10	Rechazar la Normalidad
<b>Serie #2 (PUNTO 2)</b>			
Tamaño muestral	27	Media	0,098518519
Desviación Típica	0,093770739	Mediana	0,067
Sesgamiento	2,508348963	Kurtosis	7,390771707
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	2,658376586	Kurtosis Alternativa (de	5,587469671
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,035109743		Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,415749644	2,59353E-09	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	4,406580983	1,05015E-05	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	3,154607724	0,00160714	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	29,36950585	4,19269E-07	Rechazar la Normalidad

**Anexo 22** Análisis estadístico para Fosfatos.

Estadísticos descriptivos:							
Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
PUNTO 1	27	0	27	0,043	0,593	0,101	0,118
PUNTO 2	27	0	27	0,060	0,380	0,099	0,094
Prueba de Mann-Whitney / Prueba unilateral a la izquierda:							
U	262						
U (estandarizado)	-1,772						
Valore esperado	364,500						
Varianza (U)	3312,467						
valor-p (unilateral)	0,038						
alfa	0,05						
El valor-p exacto no ha podido calcularse. Se ha utilizado una aproximación para calcular el valor-p.							
Interpretación de la prueba:							
H0: La diferencia de posición entre las muestras es igual a 0.							
Ha: La diferencia de posición entre las muestras es inferior a 0.							
Puesto que el valor-p computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0,05$ , se debe rechazar la hipótesis nula H0, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.							

**Anexo 23** Promedios, Desviación Estándar, Error Estándar Y Coeficiente De Variación de Materia Orgánica En Las Áreas Y Puntos De Muestreo.

MATERIA ORGANICA		
	PUNTO 1	PUNTO 2
0 METROS	40,05	14,40
2 METROS	38,50	13,70
3,3 METROS	37,41	12,50
	DESVEST 1	DESVEST 2
0 METROS	0,11	0,03
2 METROS	0,09	0,02
3,3 METROS	0,17	0,10
	Error Estand	Error Estand
0 METROS	0,04	0,01
2 METROS	0,03	0,01
3,3 METROS	0,06	0,03
	Coefi Varia	Coefi Varia
0 METROS	0,3	0,2
2 METROS	0,2	0,1
3,3 METROS	0,5	0,8

**Anexo 24** Pruebas de Normalidad para Materia Orgánica.

<b>Pruebas de Normalidad</b>			
<b>Serie #1 (PUNTO 1)</b>			
Tamaño muestral	9	<b>Media</b>	30,64388889
Desviación Típica	12,79551332	<b>Mediana</b>	35,55
Sesgamiento	-0,539993825	<b>Kurtosis</b>	1,500169179
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-0,654571364	<b>Kurtosis Alterna (de Fisher)</b>	-1,713963469
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,234232703		<b>Evidencia nula en contra de la normalidad</b>
W de Shapiro-Wilk	0,760288553	0,007133579	<b>Rechazar la Normalidad</b>
D'Agostino Sesgamiento	0,931060377	0,351822333	<b>Aceptar la Normalidad</b>
D'Agostino Kurtosis	-1,542231425	0,123017366	<b>Aceptar la Normalidad</b>
D'Agostino Omnibus	3,245351194	0,19736991	<b>Aceptar la Normalidad</b>
<b>Serie #2 (PUNTO 2)</b>			
Tamaño muestral	9	<b>Media</b>	29,10444444
Desviación Típica	12,94028701	<b>Mediana</b>	33,36
Sesgamiento	-0,479583417	<b>Kurtosis</b>	1,500118728
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-0,581342891	<b>Kurtosis Alterna (de Fisher)</b>	-1,714059567
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,232255123		<b>Evidencia nula en contra de la normalidad</b>
W de Shapiro-Wilk	0,775690686	0,010743779	<b>Rechazar la Normalidad</b>
D'Agostino Sesgamiento	0,828270934	0,40751708	<b>Aceptar la Normalidad</b>
D'Agostino Kurtosis	-1,542363248	0,122985347	<b>Aceptar la Normalidad</b>
D'Agostino Omnibus	3,064917131	0,216003954	<b>Aceptar la Normalidad</b>



**Anexo 25** Análisis estadístico para Materia Orgánica.

Estadísticos descriptivos:							
Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
PUNTO 1	9	0	9	13,950	42,450	30,644	12,796
PUNTO 2	9	0	9	12,400	41,480	29,104	12,940
<b>Prueba t para dos muestras independientes / Prueba bilateral:</b>							
Intervalo de confianza para la diferencia entre las medias al 95%:							
[ -11,320 ; 14,399 ]							
Diferencia	1,539						
t (Valor observado)	0,254						
t  (Valor crítico)	2,120						
GL	16						
valor-p (bilateral)	0,803						
alfa	0,05						
Interpretación de la prueba:							
H0: La diferencia entre las medias es igual a 0.							
Ha: La diferencia entre las medias es diferente de 0.							
Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$ , no se puede rechazar la hipótesis nula H0.							

## Anexo 26 Análisis Estadístico Multivariado para parámetros Fisicoquímicos.

ANALISIS ESTADISTICO MULTIVARIADO PARAMETROS FISICOQUIMICOS								
	OD	T	CE	PH	SST	PROFUNDIDAD	DQO	DBO
RECUENTO	54	54	54	54	54	54	54	54
PROMEDIO	4,81	29,2	547,51	8,66	20,26	1,776	34,35	20,77
DESVIACION ESTANDARIZADA	0,34	1,09	24,15	0,03	2,38	1,37	10,83	2,01
COEFICIENTE DE VARIACION	0,076	0,036	0,072	0,004	0,11	0,775	0,39	0,104
MINIMO	4,07	27,87	247,5	8,6	13,97	0	0,02	20,77
MAXIMO	5,09	30,51	952,84	8,75	27,27	3,3	43,33	37,07
RANGO	1,02	2,64	705,34	0,15	13,3	3,3	43,31	16,3
SESGO ESTANDARIZADO	0,641061638	0,403213152	-0,738805829	-0,662633888	-0,17722595	-0,25278713	-0,038093757	-0,64657737
CURTOSIS ESTANDARIZADA	2,238208163	1,646438093	1,62015063	4,415522717	1,867633395	-1,52884615	1,518026111	1,510815517

## Anexo 27 Análisis Estadístico Multivariado para Nutrientes.

ANALISIS ESTADISTICO MULTIVARIADO PARA NUTRIENTES			
	FOSFORO ORGANICO	NITRATOS	PROFUNDIDAD
RECUENTO	54	54	54
PROMEDIO	0,01	0,23	1,776
DESVIACION ESTANDARIZADA	0,05	0,08	1,37
COEFICIENTE DE VARIACION	0,29	0,45	0,775
MINIMO	0,06	0,01	0
MAXIMO	0,17	0,36	3,3
RANGO	0,11	0,35	3,3
SESGO ESTANDARIZADO	3,100816366	-0,968590789	-0,25278713
CURTOSIS ESTANDARIZADA	12,590942	2,676392162	-1,52884615

**Anexo 28** Análisis Estadístico Multivariado para Materia Orgánica y Profundidad.

ANALISIS ESTADISTICO MULTIVARIADO PARA MATERIA ORGANICA		
	MO	PROFUNDIDAD
RECUENTO	18	18
PROMEDIO	30,28	1,776
DESVIACION ESTANDARIZADA	0,1	1,37
COEFICIENTE DE VARIACION	0	0,775
MINIMO	13,7	0
MAXIMO	43,5	3,3
RANGO	29,8	3,3
SESGO ESTANDARIZADO	-0,539993825	-0,25278713
CURTOSIS ESTANDARIZADA	1,500169179	-1,52884615

**Anexo 29** Correlaciones lineales múltiples de parámetros Fisicoquímicos.

	OD	CE	PH	SST	DQO	DBO	T°	PROFUNDIDAD
OD		0,75529228	0,236855172	0,304178682	0,570441016	-0,2049143	-0,112934164	-0,021693476
		54	54	54	54	54	54	54
		0	0,084630478	0,025336974	0	1,1372	0,416171825	0,876267923
CE	0,75529228		0,090781422	0,705564774	0,792184814	-0,114316865	0,034488925	-0,012225262
	54		54	54	54	54	54	54
	0		0,513856143	0	0	0,4105	0,80445614	0,930084827
PH	0,236855172	0,090781422		-0,230754738	0,06784095	0,06784095	-0,158322218	-0,004133158
	54	54		54	54	54	54	54
	0,084630478	0,513856143		0,093199359	0,026	0,626	0,252859069	0,976336766
SST	0,304178682	0,705564774	-0,230754738		0,451823344	-0,096648899	0,209810639	-0,092596319
	54	54	54		54	54	54	54
	0,025336974	0	0,093199359		0	0,4912	0,12782989	0,505441376
DQO	0,570441016	0,792184814	0,06784095	0,451823344		-0,109878663	-0,062129415	-0,004170461
	54	54	54	54		54	54	54
	0	0	0,026	0		0,429	0,6554	0,9761
DBO	-0,2049143	-0,114316865	0,06784095	-0,096648899	-0,109878663		-0,116991425	-0,003729668
	54	54	54	54	54		54	54
	1,1372	0,4105	0,626	0,4912	0,429		0,3995	0,9786
T°	-0,112934164	0,034488925	-0,158322218	0,209810639	-0,062129415	-0,116991425		-0,009238702
	54	54	54	54	54	54		54
	0,416171825	0,80445614	0,252859069	0,12782989	0,6554	0,3995		0,947136482
PROFUNDIDAD	-0,021693476	-0,012225262	-0,004133158	-0,092596319	-0,004170461	-0,003729668	-0,009238702	
	54	54	54	54	54	54	54	
	0,876267923	0,930084827	0,976336766	0,505441376	0,9761	0,9786	0,947136482	

**Anexo 30** Correlaciones lineales múltiples de Nutrientes.

	FOSFORO	NITRATOS	PROFUNDIDAD
FOSFORO		-0,16278912	-0,129741874
		54	54
		0,239544956	0,349759509
NITRATOS	-0,16278912		0,053562367
	54		54
	0,239544956		0,700483463
PROFUNDIDAD	-0,129741874	0,053562367	
	54	54	
	0,349759509	0,700483463	

**Anexo 31** Correlaciones lineales múltiples Materia Orgánica y Profundidad.

	MATERIA ORGANICA	PROFUNDIDAD
MATERIA ORGANICA		0,003013484
		18
		0,990531563
PROFUNDIDAD	0,003013484	
	18	
	0,990531563	

