

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL CAÑO PILATOS EN UN
TRAMO AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE LA DESCARGA DE LAS AGUAS DE
RECAMBIO DE LA PISCÍCOLA EL MANANTIAL, RESTREPO-META

CAROL VIVIANA MONTOYA DELGADILLO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2018

VERTIMIENTOS PISCÍCOLAS CAÑO PILATOS. RESTREPO-META

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL CAÑO PILATOS EN UN
TRAMO AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE LA DESCARGA DE LAS AGUAS DE
RECAMBIO DE LA PISCÍCOLA EL MANANTIAL, RESTREPO-META

CAROL VIVIANA MONTOYA DELGADILLO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de ingeniera ambiental

DIRECTORA

JUDITH TERESA MEJÍA LOZANO

ESPECIALISTA EN DERECHO DEL MEDIO AMBIENTE

CO-DIRECTORA

INGRID JOHANNA SUÁREZ CANARIA

ESPECIALISTA EN GESTIÓN INTEGRADA QHSE, CALIDAD, MEDIO AMBIENTE Y
SALUD OCUPACIONAL

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

VILLAVICENCIO

2018

Autoridades Académicas

P, JUAN UBALDO LÓPEZ SALAMANCA, O.P

Rector general

P. MAURICIO ANTONIO CORTÉS GALLEDÓ, O.P.

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ARTURO RESTREPO RESTREPO, O.P.

Rector sede Villavicencio

P. FERNANDO CAJICÁ GAMBOA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano de Facultad

JUDITH TERESA MEJÍA LOZANO

Director Trabajo de Grado

INGRID JOHANNA SUÁREZ CANARIA

Co-Director Trabajo de Grado

MARÍA ALEXANDRA MÉNDEZ LEAL

Jurado

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Jurado

Villavicencio, junio de 2018

A la memoria de mi ángel de la guarda, Jorge Edeimer Cárdenas Morales, Q.E.P.D

Agradecimientos

En el recorrido de nuestra vida, conocemos personas que recordamos con gratitud, que con consejos y enseñanzas nos hacen comprender aquello que nos cegaba del conocimiento o la razón, porque en busca de resolver esas dudas adquirimos experiencias, porque con cinco minutos de su atención me regalaron su valioso tiempo, porque gracias a ellos hoy me encuentro entregando este trabajo final. Aunque no alcanzan las palabras y el papel para demostrarles ese infinito agradecimiento que se merecen, un GRACIAS y mil gracias más, Gracias para aquellas personas que de una u otra manera aportaron en mi crecimiento intelectual y a aquellos que colaboraron en el desarrollo del presente proyecto.

En especial a:

A los directivos de la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial la Macarena-CORMACARENA- que confiaron en mí y me apoyaron en el desarrollo de la presente investigación.

A la ingeniera Ingrid Johanna Suárez Canaria, que con sus asesorías me encarriló cuando me desviaba del camino, a las ingenieras Diana Herrera y Sandra Zabala, que estuvieron prestas a despejar aquellas dudas que surgían.

A los directivos, docentes y personal administrativo de la universidad Santo Tomas sede Villavicencio, porque más que un aporte intelectual ayudaron en mi crecimiento personal.

A la docente Judith Teresa Mejía Lozano, por creer en mí y acompañarme en el recorrido del desarrollo de la presente investigación.

A mi hermosa familia, que son el pilar de mi vida y los que hacen que cualquier sacrificio valga la pena.

Por último, pero no menos importante, Gracias a cada uno de mis compañeros, amigos y cercanos que hicieron que estos cinco años de estudio fueran únicos e inolvidables.

Contenido

1.	Planteamiento del problema.....	7
1.1.	Descripción del Problema:	7
1.2.	Justificación	8
1.3.	Objetivos	10
1.3.1.	Objetivo General	10
1.3.2.	Objetivos específicos	10
1.4.	Alcance	11
2.	Marco referencial	13
2.1.	Antecedentes	13
2.2.	Marco teórico	16
2.2.1.	Calidad del agua.....	16
2.2.1.1	Parámetros fisicoquímicos.....	16
2.2.1.1.1.	Temperatura.....	16
2.2.1.1.2.	Potencial de hidrogeno (pH).....	17
2.2.1.1.3.	Oxígeno disuelto.....	17
2.2.1.1.4.	Turbiedad.....	18
2.2.1.1.5.	Color.....	18
2.2.1.1.6.	Fósforo.....	19
2.2.1.1.7.	Nitratos y Nitritos.....	19
2.2.1.1.8.	Nitrógeno amoniacal.....	20
2.2.1.1.9.	Sólidos suspendidos totales	21
2.2.1.2	Parámetros orgánicos	21
2.2.1.2.1.	Demanda química de oxígeno (DQO).....	21
2.2.1.2.2.	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	22
2.2.1.3	Parámetros bacteriológicos	22
2.2.1.3.1.	Coliformes totales y fecales.....	22
2.2.2.	Determinación de la calidad del agua	23
2.2.3.	Actividades para determinar la calidad de una fuente hídrica	24

2.2.3.1. Aforo.....	24
2.2.3.2. Toma de muestras de agua (Tipos de muestras y frecuencias de muestreo).	25
2.2.4. La actividad piscícola y el recurso hídrico.	26
2.2.4.1. La piscicultura.....	26
2.2.4.2. Contaminación del recurso hídrico por efluentes piscícolas.....	27
2.3. Marco conceptual.....	29
2.4. Marco Legal	30
3. Metodología	34
3.1. Hipótesis	34
3.2. Caracterización del proceso productivo piscícola.....	34
3.2.1. Captura de información de campo.	34
3.2.2. Descripción del proceso productivo piscícola.	36
3.3. Determinación de las cargas contaminantes en los vertimientos y calidad del agua en los puntos monitoreados	36
3.3.1. Selección de puntos de monitoreo.	36
3.3.2. Jornadas de monitoreo.	40
3.3.2.1. Aforo.....	40
3.3.2.2. Toma de muestras.	42
3.3.2.2.1. Parámetros fisicoquímicos monitoreados.	43
3.3.2.3. Análisis de las muestras.	44
3.4. Tratamiento de datos.....	45
3.4.1. Cálculo de cargas contaminantes.....	45
3.4.2. Análisis de los resultados.....	47
3.4.2.1. Análisis de cargas contaminantes	47
3.4.2.2. Determinación de la calidad fisicoquímica y establecimiento de los impactos generados por los efluentes piscícolas	47
3.4.2.3. Recomendaciones para mejorar o preservar la calidad de la fuente hídrica.	48
4. Resultados y discusión.....	49
4.1. Descripción de la actividad piscícola desarrollada en el predio El Manantial	49
4.1.1. Generalidades de los insumos e infraestructura del proceso productivo.	49
4.1.2. Proceso productivo piscícola.	51

4.2. Determinación de cargas contaminantes y análisis de concentraciones de parámetros en los puntos de monitoreo	55
4.2.1. Cargas contaminantes.	55
4.2.2. Determinación de la calidad fisicoquímica y establecimiento de los impactos generados por los efluentes piscícolas	62
4.2.3. Recomendaciones para mejorar o preservar la calidad de la fuente hídrica.	78
5. Conclusiones y recomendaciones	81
Conclusiones	81
Recomendaciones	82
Referentes bibliográficos	84
Apéndices.....	94

Lista de Figuras

<i>Figura 1.</i> División sección transversal de una fuente hídrica para la realización de aforos.....	25
<i>Figura 2.</i> Formato de campo visita a granja piscícola el Manantial.....	35
<i>Figura 3.</i> Distancia entre el P1 CP y la fuente hídrica superficial caño Seco.	38
<i>Figura 4.</i> Molinete utilizado en los aforos.....	41
<i>Figura 5.</i> Aforo punto P2CP.....	41
<i>Figura 6.</i> Recipientes y reactivos utilizados en las jornadas de monitoreo.	42
<i>Figura 7.</i> GPS, Termómetro y otros materiales utilizados en las jornadas de monitoreos.....	42
<i>Figura 8.</i> Fijación de oxígeno disuelto.	43
<i>Figura 9.</i> Muestra compuesta vertimiento V2CP.	43
<i>Figura 10.</i> Toma de muestras caño NN.....	43
<i>Figura 11.</i> Estanques de pre-cría.....	52
<i>Figura 12.</i> Alevinos de la especie de Mojarra.....	52
<i>Figura 13.</i> Estanques de cría.	53
<i>Figura 14.</i> Cultivo de mojarra etapa de cría.	53
<i>Figura 15.</i> Estanque N. 9 etapa de Levante.....	54
<i>Figura 16.</i> Estanque de levante.	54
<i>Figura 17.</i> Cargas contaminantes de DBO ₅ y DQO	57
<i>Figura 18.</i> Cargas contaminantes de PT, nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal.....	58
<i>Figura 19.</i> Cargas contaminantes de SDT y SST	60
<i>Figura 20.</i> Cargas contaminantes de coliformes	61
<i>Figura 21.</i> Variación del color aparente	64
<i>Figura 22.</i> Variación del color real en época de lluvia.....	65
<i>Figura 23.</i> Variación del color real en época seca.....	65
<i>Figura 24.</i> Variación de las concentraciones del Oxígeno disuelto	66
<i>Figura 25.</i> Usos potenciales del recurso hídrico en los puntos P1CP y P2CP con respecto al O.D.	66
<i>Figura 26.</i> Variación de las concentraciones de la DBO ₅	67

<i>Figura 27.</i> usos potenciales del recurso hidrico en los puntos P1CP y P2CP, con respecto a la DBO ₅	68
<i>Figura 28.</i> Variación espacial de las concentraciones de la DQO	69
<i>Figura 29.</i> Usos potenciales del recurso hidrico en los puntos P1CP y P2CP, con respecto a la DQO	69
<i>Figura 30.</i> Variación de las concentraciones de SDT y SST	71
<i>Figura 31.</i> Usos potenciales del recurso hidrico en los puntos P1CP y P2CP, con respecto a los SST.....	71
<i>Figura 32.</i> Variación de las concentraciones del Fósforo total –PT-	72
<i>Figura 33.</i> Usos potenciales del recurso hídrico en los puntos P1CP y P2CP, con respecto a la [PT]	72
<i>Figura 34.</i> Variación y usos del recurso hídrico con respecto a las concentraciones de Nitratos	73
<i>Figura 35.</i> Variación y usos del recurso hídrico con respecto a las concentraciones de Nitritos	73
<i>Figura 36.</i> Variación y usos del recurso hídrico con respecto a las concentraciones de Nitrógeno amoniacal	74
<i>Figura 37.</i> Variación de las concentraciones de coliformes fecales y totales en epoca de lluvia	75
<i>Figura 38.</i> Variación de las concentraciones de coliformes fecales y totales en epoca seca.	76
<i>Figura 39.</i> Variación y usos potenciales del recurso hídrico respecto a coliformes fecales NMP/100 ml.....	76
<i>Figura 40.</i> Variación y usos potenciales del recurso hídrico respecto a coliformes totales NMP/100 ml.....	77
<i>Figura 41.</i> Metodología implemetada en el desarrollo de la investigación.....	95

Lista de tablas

Tabla 1 Geolocalización del predio piscícola El Manantial.	12
Tabla 2 Criterios generales de calidad del agua para fuentes hídricas priorizadas por Cormacarena	23
Tabla 3 Características de cultivos piscícolas.....	26
Tabla 4 Valores promedio de parámetros fisicoquímicos en efluentes piscícolas	28
Tabla 5 Normatividad aplicable al tema de vertimientos	31
Tabla 6 Puntos de muestreo preseleccionados.	36
Tabla 7 Longitud de zona de mezcla y ubicación del punto 3.	38
Tabla 8 Puntos de monitoreos.....	39
Tabla 9 Cartera y cálculo de Aforo.	41
Tabla 10 Puntos de monitoreo y tipos de muestras realizadas.....	42
Tabla 11 Parámetros monitoreados en la fuente hídrica caño Pilatos y Caño NN.....	43
Tabla 12 Información laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S	44
Tabla 13 Parámetros monitoreados en los puntos de muestreo seleccionados.....	44
Tabla 14 Información general del proyecto piscícola.	49
Tabla 15 Características de los estanques de pre-cría.....	52
Tabla 16 Características de los estanques de cría	53
Tabla 17 Características de los estanques de levante	54
Tabla 18 Características de la etapa de engorde	55
Tabla 19 Descripción de los estanques piscícolas relacionados con los vertimientos.....	56
Tabla 20 Cargas contaminantes calculadas de los efluentes piscícolas del predio el Manantial asociadas al V2CP.....	56
Tabla 21 Resultados de los monitoreos en términos de concentraciones, caudal, pH y temperatura.....	62
Tabla 22 Posibles impactos generados por los efluentes piscícolas	78
Tabla 23 Comparación entre las concentraciones de los vertimientos y el artículo 15 de la res. 0631 del 2015.....	79
Tabla 24 Resultados de análisis de monitoreos reportados por TECNOAMBIENTAL.S.A.S	96

Tabla 25 <i>Cálculo de la concentración de las sustancias objeto de estudio en el vertimiento V1CP haciendo uso de la teoría de balance de masa.....</i>	97
Tabla 26 <i>Cálculo de la cargas contaminantes de los vertimientos V1CP y V2CP época de lluvia.</i>	98
Tabla 27 <i>Cálculo de la cargas contaminantes de los vertimientos V1CP y V2CP época seca. ..</i>	98

Lista de apéndices

Apéndice A: Mapa 1. Localización del área objeto de estudio. Ver anexo CD.	94
Apéndice B: Mapa 2. Localización de los puntos de muestreo. Ver anexo CD.	94
Apéndice C: Mapa 3. Áreas y etapas del proceso productivo en el predio el Manantial. Ver anexo CD.	94
Apéndice D: Diagrama de flujo-Metodología.	95
Apéndice E: Resultados de los monitoreos realizados	96
Apéndice F: Balance de masa	97
Apéndice G: Cálculo de cargas contaminantes.....	98

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo “Determinar la calidad fisicoquímica del caño Pilatos en un tramo aguas arriba y aguas abajo de la descarga de las aguas de recambio de la piscícola El Manantial, ubicada en el municipio de Restrepo en el departamento del Meta”. Para alcanzar dicho objetivo se inició con la identificación del proceso productivo piscícola desarrollado en el predio el Manantial con el fin de conocer el manejo del agua captada para la actividad, así como, su funcionamiento en cuanto a especies cultivadas, periodos de producción, entre otros; posteriormente, después de conocer los puntos donde se realizan los vertimiento de las aguas de recambio de los estanques, se realizaron dos monitoreos de cantidad y de calidad, el primero en época de lluvia (noviembre de 2017) y el segundo en época seca (enero de 2018), tanto en los vertimientos de la piscícola como en la fuente hídrica receptora. Los parámetros medidos correspondieron a color aparente, color real (436 nm, 525 nm y 620 nm), temperatura, pH, turbiedad, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos totales (SST), fósforo total (PT), nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, coliformes totales y coliformes fecales, cuyos resultados fueron reportados por el laboratorio TECNOAmbiental S.A.S acreditado por el Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales - IDEAM - a partir de las técnicas establecidas en el Standard Methods y la Norma técnica Colombiana.

Se obtuvieron cargas contaminantes mayores en época seca para DBO_5 - 52,66 kg/día -, DQO - 115,53 kg/día -, SDT - 186,38 kg/día - y coliformes totales 211.205 NMP/100mL, mientras que para época de lluvia prevalecieron mayores los SST -129,75 kg/día-, PT -2,11 kg/día-, nitratos - 2,35 kg/día-, Nitrógeno amoniacal -6,56 kg/día- y coliformes fecales 8.111 NMP/100mL. Las concentraciones reportadas para los parámetros fisicoquímicos de los vertimientos de la piscícola el Manantial cumplieron con los valores máximos permisibles en el artículo 15 de la resolución 0631 del 2015. La calidad del agua en el P2CP aguas abajo de los vertimientos piscícolas, presentaron un cambio negativo en relación a la concentración de los siguientes parámetros: oxígeno disuelto –de excelente pasó a buena calidad-, DBO_5 –de dudosa pasa a mala calidad-, DQO – de buena pasa a aceptable-, SST y SDT – de excelente pasa a buena-. Los parámetros que presentaron la situación más crítica para el presente estudio fueron DBO_5 , nitrógeno amoniacal y

coliformes fecales y color, por lo que se propuso como acción de mejora la implementación de una laguna de oxidación para el tratamiento de los efluentes piscícolas.

Palabras claves: Calidad fisicoquímica, carga contaminante, estanques piscícolas, vertimiento, recambio.

Abstrac

The present work aims to "Determine the physicochemical quality of the Caño Pilate in a stretch upstream and downstream from the discharge of the waters of replacement of the fish the spring, located in the municipality of Restrepo in Meta Department". To achieve this goal began with the identification of the fish production process developed at the spring exhibition in order to know the water captured for activity management, as well as, its performance in terms of species cultured, periods production, among others. Later, after meeting points where are made the dumping of replacement of pond waters, were conducted two surveys of quantity and quality, the first in time of rain (November of 2017) and the second during dry (January 2018) both in the dumping of the fish in the receiving water source. Parameters measured were color apparent, actual color, temperature, pH, turbidity, dissolved oxygen (do), biochemical demand of oxygen (BOD₅), chemical oxygen (COD), total dissolved solids (TDS), solid demand suspended total (TSS), total phosphorus (TP), nitrites, nitrates, ammonia nitrogen, total coliforms and fecal coliforms, whose results were reported by the laboratory TECNO Ambiental S.A.S accredited by the Institute of hydrology, meteorology and environmental studies - IDEAM - from the techniques set out in the Standard Methods and the Colombian technical standard.

Contaminants larger loads in dry season for BOD₅ - 52,66 kg/day - were obtained, cod - 115,53 kg/day-, SDT - 186,38 kg/day - and total coliforms 211.205 NMP / 100mL, while for rainy season prevailed over the OSH - 129,75 kg/day-, PT - 2.11 kg/day-, nitrates - 2.35 kg/day-, ammoniacal nitrogen - 6.56 kg/day - and 8.111 NMP fecal coliforms / 100mL. The concentrations reported for the physicochemical parameters of the dumping of the fish the spring met with the permissible maximum values in article 15 of the 2015 resolution 0631. The quality of the water in the P2CP downstream fish dumping, presented a negative change in relation to the concentration of the following parameters: oxygen dissolved - excellent went on to good quality-, BOD₅ - dubious pass bad quality-, cod - good becomes acceptable-, SST and SDT - excellent goes to good. The parameters presented the most critical situation for the present study were BOD₅, ammoniacal nitrogen and fecal coliforms and color, so was proposed as action of improving the implementation of a lagoon of oxidation for the treatment of effluents fish.

Keywords: Physicochemical quality, polluting load, fish ponds, shedding, replacement.

Introducción

La actividad piscícola en Colombia se encuentra declarada como un proyecto de interés nacional por parte del gobierno, debido al apoyo que esta brinda tanto a la seguridad alimentaria como en los procesos del postconflicto, representado en el crecimiento que esta ha tenido en los últimos 10 años - 10% - (MINAGRICULTURA, 2016).

Dicha actividad, ha generado que las empresas o personas naturales que la desarrollan cambien su método de producción con el fin de ser competitivos y atender la demanda del mercado, encontrándose dentro de sus estrategias el uso del recambio de agua de los estanques, permitiendo disminuir la carga orgánica, la concentración de amonio y otras sustancias tóxicas que se encuentran presentes en el agua y que afectan el desarrollo de los peces (Carvajal, Echeverri, Arturo, & Rúales, 2014), sin embargo, para el caso del departamento del Meta, estas aguas son vertidas a fuentes hídricas o al suelo sin tratamiento alguno (CORMACARENA, 2009), lo que ha conducido a la imposición de más de 40 quejas ante la autoridad ambiental del departamento del Meta –Cormacarena– por parte de ciudadanos que habitan circundantes a las granjas piscícolas, por posible contaminación hídrica (CORMACARENA, 2017b).

Partiendo de esta premisa la presente investigación planteó determinar la posible afectación que las aguas de recambio pueden llegar a generar sobre la calidad de las aguas de una fuente hídrica receptora, tomando como caso modelo el caño Pilatos localizado en el municipio de Restrepo, más exactamente en el tramo donde se reciben las descargas de las aguas de recambio generadas de la piscícola el Manantial (aguas arriba y aguas abajo de los vertimientos).

Para el logro de los objetivos, se establecieron cinco puntos de monitoreo los cuales se ubicaron así: uno en el caño Pilatos aguas arriba de los dos (2) vertimientos de las aguas de recambio, uno en el caño Pilatos aguas abajo de los dos (2) vertimientos de las aguas de recambio, los dos (2) puntos de vertimientos y uno (1) aguas arriba de la fuente hídrica caño NN (este último se realizó teniendo en cuenta que el vertimiento 1 se compone de los vertimientos de siete estanques piscícolas más las aguas de este caño, por lo que era importante conocer la calidad del agua antes del vertido de los efluentes piscícolas, para posteriormente por medio de un balance de masa establecer la calidad neta del vertimiento).

El contenido de la presente investigación se encuentra dividido en cinco capítulos. Capítulo I: Planteamiento del problema, Justificación, Objetivos y Alcance; Capítulo II: Antecedentes y Marco referencial; Capítulo III: Metodología; Capítulo IV: Resultados y discusión y Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.

1. Planteamiento del problema

1.1. Descripción del Problema:

Colombia es un país privilegiado por la disponibilidad de agua que presenta, localizándose en un lugar destacado a nivel mundial (MADS, s.f.) lo que hace comprensible que exista una demanda en actividades económicas que requieran del recurso hídrico como principal insumo; dentro de éstas, la piscicultura ocupa un lugar destacado en la economía nacional, lograda por la búsqueda de la generación de ingresos económicos o como una alternativa de alimentos, reflejado en las 2,130 hectáreas que se registraban para el año 2014 (FAO, 2014) y con un desafío a futuro de acuerdo al reporte de la FAO para el año 2,030, donde se estima que el requerimiento de los productos de origen pesquero será de 180 millones de toneladas (FAO, 2016a), no obstante, esta actividad trae consigo una serie de efectos ambientales como la polución acuática - resultado de la acumulación de subproductos metabólicos de las especies cultivadas y la demanda biológica de oxígeno, causada por el alimento no utilizado- y conflictos relacionados con el uso de tierra y agua (FAO, s.f.).

Dentro de los aportes más críticos de la actividad piscícola a fuentes hídricas superficiales, se encuentra el color aparente, la carga orgánica y el amonio, adicionados principalmente por la liberación de excretas, restos de alimentos y medicamentos, que crean un conflicto en el uso y ordenamiento del recurso hídrico (Martínez & Marrugo, 2014; Pardo & Soriano, 2006). Es de destacar que el comportamiento de las sustancias fisicoquímicas adicionadas a fuentes hídricas superficiales se relacionan con factores como el caudal, la temperatura e interrelaciones entre las mismas sustancias fisicoquímicas presentes (CORPOGUAVIO, 2010; Martínez & Osorio, 2018).

Pese a lo anterior, la FAO sustenta que no se puede aplicar la reglamentación de vertimientos que existe en el país a la actividad piscícola, basándose en que uno de los problemas regulados por la norma es el olor y que rara vez este es un problema en la piscicultura (FAO, s.f.), no obstante, de acuerdo a revisión de la literatura científica sobre posibles efectos de la piscicultura, se ha identificado un número considerable de trabajos que han registrado el impacto ambiental generado por las aguas piscícolas sobre fuentes hídricas (Carvajal et al., 2014; Chaux, Caicedo,

& Fernandez, 2013; CORMACARENA, 2009; Del río, Martinez, & Jara, 2012; Eduardo et al., 2012; Martinez & Marrugo, 2014; Pardo & Soriano, 2006; Piedrahita, 2003).

En cuanto al departamento del Meta, a pesar de ser el segundo mayor productor piscícola a nivel nacional (FAO, 2014), existen dos grandes problemas que hacen volver las miradas al vertido de las aguas de recambio, pues en la actualidad Cormacarena no exige el trámite de permiso de vertimiento para aquellos piscicultores que realizan vertido de aguas provenientes de recambio de estanques – por consiguiente no exige tratamiento de las aguas residuales generadas – y no se evidencia información disponible sobre las posibles afectaciones que dichos efluentes pueden generar sobre una fuente hídrica superficial -inexistencia de información validada científicamente para las condiciones de la región- (CORMACARENA, 2009, 2017a).

El municipio de Restrepo-Meta, posee la mayor cantidad de productores piscícolas del departamento (CORMACARENA, 2017a), por ende, se puede considerar que allí se genera mayor presión sobre el recurso hídrico por vertimientos piscícolas, razón por la cual se seleccionó una de las granjas ubicadas en este, siendo el caso modelo para el presente estudio el predio el Manantial, ya que posee el mayor espejo de agua en el municipio registrado a la fecha del estudio y genera aguas de recambio de forma continua, pudiendo presentar posible contaminación hídrica sobre la fuente superficial receptora. Bajo este panorama, se establece que al no tenerse investigaciones respecto a impactos generados por aguas de recambio, estas seguirán siendo vertidas en un sin número de corrientes hídricas sin que se realice algún control por parte de la autoridad ambiental, aunado a la inexistencia de una base sólida legal que obligue a que las autoridades ambientales exijan a los piscicultores realizar un tratamiento a sus aguas de recambio, antes de su vertimiento o adecuación de su proceso productivo con el fin de administrar adecuadamente el recurso hídrico. De acuerdo a lo anterior, esta investigación desea determinar si ¿la calidad de las aguas de recambio generadas de los estanques piscícolas del predio El Manantial afecta de manera negativa la calidad fisicoquímica de la fuente hídrica receptora caño Pilatos, localizado en el municipio de Restrepo- Meta?

1.2. Justificación

Para finales del año 2017, el departamento del Meta registraba 65 permisos de concesiones de agua para uso piscícola vigentes, 97 permisos vencidos y 101 solicitudes en trámite ante la

autoridad ambiental (CORMACARENA, 2017a), evidenciándose la demanda que tiene la actividad en la región, sin contar con las granjas piscícolas no formales que se encuentran haciendo uso del recurso hídrico. En consecuencia, y debido al impacto económico, social y ambiental que presenta la actividad y el entorno, la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial la Macarena “CORMACARENA” y el gremio piscicultor, establecieron la mesa de trabajo del sector piscícola, con la cual se busca que el desarrollo de la actividad cumpla con la normatividad ambiental y se logre mitigar o disminuir el impacto que esta tiene sobre el medio ambiente; identificándose la necesidad de generar información para la toma de decisiones, tomando como ejemplo la problemática que reporta la comunidad adyacente a las granjas piscícolas respecto a los vertimientos de las aguas de recambio que se generan de la actividad (CORMACARENA, 2017a).

Es de destacar que en la actualidad, Cormacarena no exige al productor piscícola permiso de vertimiento, siempre y cuando estas sean aguas generadas de los recambios de los estanques piscícolas, fundamentada en un estudio realizado en el año 2011 por la misma autoridad, el cual tuvo como objetivo determinar la calidad de los efluentes de las piscícolas del departamento del Meta, tomando un tamaño muestral representativo, donde se obtuvo como conclusión que la cantidad de nutrientes que presentaban estas aguas no superaban los valores máximos permisibles por la entonces norma - Decreto 1594 de 1984 - (CORMACARENA, 2011), sin embargo, en la actualidad dicha problemática persiste, reflejada en las diversas quejas que la comunidad ha interpuesto ante la Autoridad Ambiental, evidenciándose en los 40 expedientes que la Corporación ha abierto bajo la serie documental de queja (CORMACARENA, 2017b), siendo el vertimiento de aguas la principal causa, motivo por el cual, la Corporación evidencia la necesidad de realizar un segundo estudio donde no solamente se caracterice el efluente generado, sino que también se incluya la calidad de la fuente hídrica receptora.

Para el logro de este objetivo, fue necesario ejecutar un estudio en una granja piscícola que sirviera como punto de partida para que la Corporación, de acuerdo a los resultados obtenidos amplié la investigación con una muestra representativa, y tome las medidas que hayan lugar para la regulación de este tipo de vertimientos (en caso de verse altas concentraciones que afecten una fuente hídrica); dentro de la información consultada en la base documental de CORMACARENA se pudo evidenciar que el municipio de Restrepo es el mayor productor piscícola a nivel departamental, motivo por el cual se seleccionó para la presente investigación;

bajo éste panorama, se tuvieron en cuenta cuatro parámetros para la selección del predio: a) que generara aguas de recambio, b) que estas aguas de recambio fueran vertidas directamente a una fuente hídrica, c) que no presentara tratamiento alguno y d) que la piscícola tuviera la mayor área de espejo de agua respecto a otras del municipio. Resultado de esta selección se concluyó que el predio denominado El Manantial ubicado en la vereda Caney Medio, en el municipio de Restrepo cumplía con cada una de las condiciones iniciales y lo hizo apto para el desarrollo del presente estudio.

Con el desarrollo del presente estudio, se busca que tanto la Autoridad Ambiental, como los piscicultores y las diferentes organizaciones relacionadas con el sector piscícola en el departamento del Meta, cuenten con información necesaria y confiable para el manejo y ordenamiento del recurso hídrico; de igual forma, se hace necesario que la comunidad como veedora del cuidado del medio ambiente conozca las consecuencias del vertimiento de las aguas de recambio sobre las fuentes hídricas superficiales receptoras y tengan claridad sobre la regulación de la misma.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar la calidad fisicoquímica del caño Pilatos en un tramo aguas arriba y aguas abajo de la descarga de las aguas de recambio de la piscícola El Manantial, Restrepo-Meta.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el proceso productivo piscícola desarrollado en el predio El Manantial.
- Determinar las cargas contaminantes aportadas por las aguas de recambio producidas en los estanques piscícolas del predio El Manantial, sobre la fuente hídrica receptora caño Pilatos, estableciendo el impacto generado.
- Formular acciones de mejora para preservar y/o mejorar las características fisicoquímicas del agua de la fuente hídrica superficial caño Pilatos.

1.4. Alcance

En términos espaciales el estudio se desarrolló en la fuente hídrica superficial caño Pilatos, el cual se encuentra localizado en la vereda Caney Medio en el municipio de Restrepo en el departamento del Meta. La zona de estudio exactamente corresponde a un tramo que presenta una longitud de 123 metros de dicha fuente hídrica, el cual recibe las descargas de las aguas de recambio - sin tratamiento alguno - generadas de la piscícola que se desarrolla en el predio el Manantial. De acuerdo a lo anterior este se consideró como apto para lograr el objetivo de la presente investigación y corroborar la existencia de la contaminación hídrica causada por dichas aguas (Carvajal et al., 2014; Chaux et al., 2013; CORMACARENA, 2009; Del río et al., 2012; Eduardo et al., 2012; Martinez & Marrugo, 2014; Pardo & Soriano, 2006; Piedrahita, 2003).

La población a quien va dirigido el presente estudio corresponde a la autoridad ambiental del departamento y a los productores piscícolas que hacen parte de la mesa del sector piscícola, con el fin de articular esfuerzos para afrontar la problemática presentada por el vertido de dichas aguas y generar información necesaria y confiable que permita el manejo y ordenamiento del recurso hídrico; de igual forma, va dirigido a la comunidad quejosa por la actividad piscícola ante Cormacarena, para que como veedora del cuidado del medio ambiente conozca las consecuencias del vertimiento de las aguas de recambio sobre las fuentes hídricas superficiales receptoras y tengan claridad sobre la regulación de la misma.

Los parámetros medidos correspondieron a color aparente, color real (436 nm, 525 nm y 620 nm), temperatura, pH, turbiedad, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos totales (SST), fósforo total (PT), nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, coliformes totales y coliformes fecales, además de los caudales presentes en la toma de muestras, debido a que este influye en la dilución de las concentraciones de estas sustancias en la fuente hídrica (CORPOGUAVIO, 2010).

En cuanto a la temporalidad de la ejecución de la investigación, esta se desarrolló en un periodo de seis meses – agosto de 2017 a enero de 2018–, realizando campañas de monitoreos en los meses de noviembre de 2017 y enero de 2018, sustentado en la distribución de lluvias que se presenta en la región Orinoquia – mayor precipitación entre los meses de marzo a noviembre y menor entre los meses de diciembre a febrero– (IDEAM, 2017).

A continuación se relacionan las coordenadas del área objeto de estudio, y en el apéndice A se aprecia la ubicación geoespacial.

Tabla 1

Geolocalización del predio piscícola El Manantial.

Municipio	Vereda	Área objeto de estudio	Coordenadas planas de georreferencia	
			X	Y
Restrepo	Caney medio	Predio El Manantial	1058741	962835
Restrepo	Caney medio	Aguas arriba de los vertimientos	1058821	962673
		Tramo de estudio de la fuente hídrica superficial caño Pilatos	Aguas abajo de los vertimientos	1058872

Nota: *Coordenadas planas del tramo objeto de estudio de la fuente hídrica Caño Pilatos y del predio el Manantial, Montoya, C.; 2018.

2. Marco referencial

2.1. Antecedentes

Entre los años 2013 y 2014, cerca del 50% del total del alimento de origen acuático para consumo humano en el mundo fue generado de la actividad piscícola, consolidándose como el sector de más rápido crecimiento en la producción mundial de alimentos (FAO, 2014).

La producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura en el año 2014, proporcionaron cerca de 167,2 millones de toneladas de pescado, de los cuales 146,3 fueron destinados para consumo humano, equivalente a un suministro per cápita teórico para países en desarrollo de 3,5 kg a 7,6 kg, y en los países desarrollados de 26,8 kg, y se resalta, que un 44% de esta cantidad correspondió a la acuicultura (FAO, 2016a), evidenciándose la afinidad y el crecimiento acelerado que el sector productivo ha presentado a nivel mundial, impulsado aún más por diferentes organizaciones y empresas, teniendo como premisa que la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO-, establece dicha actividad como una de las estrategias para alcanzar la seguridad alimentaria y nutrición, al igual que el crecimiento económico a través de la producción, la mitigación de la pobreza y la creación de oportunidades de empleo en zonas rurales (FAO, 2016b).

A nivel nacional, la actividad piscícola se viene desarrollando desde la década de los años 40 del siglo XIX (AUNAP, 2013), la cual con el transcurrir del tiempo, reflejó su afinidad con el territorio, la población y las características propias de las regiones colombianas (AUNAP, 2013), evidenciándose que para el año 2014, en el territorio colombiano se registró 7,078 granjas dedicadas a la actividad piscícola, -sin tener en cuenta aquellas granjas establecidas de forma ilegal-, con una superficie total de 2,130 hectáreas de espejo de agua dedicadas a la piscicultura, de las cuales la mayoría de granjas, hacían uso de estanques en tierra (98,67%) y el restante en sistemas de jaulas flotantes (FAO, 2014).

Según la Autoridad Nacional de acuicultura y Pesca – de ahora en adelante UNAP- del área de espejo de agua anteriormente descrita, 699 hectáreas se localizaban en el departamento del Meta, ubicándose para ese entonces y en la actualidad como el segundo departamento con mayor área

de espejo de agua dedicada a dicha actividad después del departamento del Huila, cultivándose especies como la cachama, la tilapia, la trucha y otras (FAO, 2014).

Sin embargo, la actividad se ha dejado de desarrollar de forma artesanal para convertirse en una actividad tecnificada, con el fin de atender la demanda que el producto genera, ampliando de igual forma las áreas de producción y generando un mayor impacto al medio. Chaux et al., (2013) aseguran que “durante el proceso de levante y engorde de la tilapia, se producen efluentes aparentemente diluidos, sin embargo, aportan contaminación por nutrientes (fósforo y nitrógeno), sólidos, materia orgánica y patógenos a los cuerpos receptores”, dejando claro, que la producción de especies de animales y plantas, traen consigo una serie de impactos sobre el medio ambiente, para el presente caso, la cría de peces, la cual genera una liberación de heces, sobras de alimentos y residuos de medicamentos implementados en su cultivo, los cuales se encuentran presentes en los efluentes de las granjas piscícolas, que posteriormente son vertidos a fuentes hídricas o suelo (Dormon, 2008).

Estudios se han realizado con el fin de identificar los impactos negativos o positivos que genera la actividad piscícola en el medio ambiente; en México, se demostró que la acuicultura trae como resultados efectos negativos sobre el deterioro de ecosistemas y contaminación por descargas en la zona costera del golfo de California (Del río et al., 2012), al mismo tiempo, en la región andina de Junín, Perú, se verificó y constató que la actividad intensiva de cría de truchas por medio de jaulas flotantes, aportó al deterioro de siete lagunas, caracterizado por altas concentraciones de fosforo total, disminución del oxígeno disuelto y la transparencia del agua (Mariano, Huaman, Mayta, & Montoya, 2010), evidenciándose que ya sea cualquiera de las estructuras por medio del cual se desarrolle la cría de peces, se genera un impacto sobre el recurso receptor, un claro ejemplo, es el impacto de la cría de peces a través de jaulas flotantes se puede detectar en un radio significativo de 1 km alrededor de las jaulas, mayormente en el fondo, presentándose efectos como incremento en la demanda de oxígeno, producción de sedimentos y disminución de la biodiversidad (Dormon, 2008).

A nivel nacional, se han desarrollado estudios relacionados con la actividad piscícola y la caracterización de sus efluentes, entre estos, para el año 2014 en el municipio de Puerto Triunfo-Antioquia, se analizaron los efluentes de tres tratamientos de sistemas de precría de Tilapia roja, identificando que parámetros como amonio, nitritos, nitratos y fósforo, disminuyen sustancialmente en los estanques piscícolas, cuando se presenta un tratamiento con recambio

constante, evidenciándose que esta carga orgánica es vertida en las fuentes hídricas con una tasa de 10% hora aproximadamente (Carvajal et al., 2014); dejando en duda, el impacto que se puede generar en los medios receptores, pues el estudio se basa en analizar el efluente y no el impacto que genera dicho efluente en la calidad de la fuente hídrica receptora.

Por otro lado, en Popayán, se analizó el comportamiento de los parámetros de DBO₅, DQO, SST y Fosforo total del efluente de un estanque piscícola cuando se hace uso de la planta acuática denominada Azollapinnata, con el fin de conocer la eficiencia de remoción que tiene la planta. La metodología implementada fue dividir el efluente de un estanque de la piscícola en dos líneas de cinco estanques, obteniendo como resultado que la línea en la que se implementó la planta acuática, obtuvo una eficiencia máxima de remoción en los parámetros de SST y fósforo total (Chaux et al., 2013), aunque se resalta que dicho estudio se realizó con el fin de establecer si se podía realizar una recirculación de los efluentes generados al mismo estanque, mas no con el fin de disminuir las cargas de nutrientes presentes en el afluente antes de verterlo en un medio receptor.

Así mismo, Pardo & Soriano, (2006) identificaron que las granjas piscícolas ubicadas en el municipio de San Martín de los Llanos, Meta, presentaron un desempeño ambiental pésimo, concluyendo que el sector piscícola del municipio, presentaba una resistencia a una relación directa con la autoridad ambiental del área, por el temor a que se generen compromisos y actividades que requieran inyección de dineros. Para finalizar, en San Pablo, municipio de Teorema, Norte de Santander, Gallardo & Arenas, (2006) identificaron que las aguas de recambio generadas de estanques piscícolas y vertidas a fuentes hídricas receptoras, cumplían con los valores máximos permisibles del entonces decreto 1594 del 1984, a excepción de los nitritos, los cuales superaban los valores máximos permisibles.

Cormacarena (2011) realizó una evaluación ambiental en siete fuentes superficiales receptoras de siete granjas piscícolas localizadas en el departamento del Meta, obteniendo como resultado que estas cumplían con los valores máximos permisibles de la entonces norma de vertimientos para los parámetros de DBO, DQO, fósforo total, sólidos totales, coliformes totales, nitrógeno amoniacal, oxígeno disuelto, grasas y aceites con los valores máximos permisibles en la entonces norma- decreto 1594 del 1984-.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Calidad del agua.

La calidad del agua es una condición general que permite la destinación adecuada de la misma para diferentes usos. Esta calidad es determinada por la hidrología, la fisicoquímica y la biología de la masa del agua de la cual se desea conocer su calidad (Bautista Covarrubias & Ruiz, 2011).

Las fuentes hídricas superficiales reciben descargas de aguas residuales generadas de actividades económicas o actividades domésticas, en su mayoría sin tratamiento previo alguno (MADS, s.f.) generando una degradación en la calidad de sus aguas y de la biota presente, acentuado en las épocas de estiaje, donde la cantidad del recurso disminuye y la concentración de las cargas contaminantes aumentan, debido a la disminución de la capacidad de asimilación que presenta la fuente hídrica (Buschmann, 2001).

El recurso hídrico se ordena de acuerdo a los criterios de calidad que presenta una fuente hídrica, dichos criterios corresponden a los valores asociados a los parámetros que se utilizan para asegurar que sus aguas se pueden utilizar para cierto tipo de uso, así como para dar cumplimiento a la normatividad ambiental legal vigente.

Dentro de los parámetros asociados en la calidad del agua, se encuentran los fisicoquímicos, orgánicos y bacteriológicos. Las concentraciones en las que estas se deben presentar para no afectar la flora y fauna, se derivan de investigaciones y hechos científicos obtenidos en la experimentación o mediciones in situ (Rodier, 2010).

A continuación se presentan algunos de estos parámetros, los cuales son objeto de estudio en la presente investigación:

2.2.1.1 Parámetros fisicoquímicos.

2.2.1.1.1. Temperatura.

Es el calor generado en la masa de agua a partir de los rayos solares que penetran su columna y depende directamente de la cantidad de sólidos presentes, ya que si los rayos solares son obstruidos, la temperatura disminuye (Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013).

La determinación de este parámetro es importante, porque ciertos parámetros físicos, químicos y biológicos fluctúan por la temperatura del agua, por ejemplo, la temperatura alta influye, en el tiempo y grado de descomposición de la materia orgánica, requiriendo mayor cantidad de oxígeno y disminuyendo su presencia en el cuerpo de agua para las especies acuáticas, y en conjunto con el pH en valores básicos, promueve la generación de amoníaco en su estado tóxico, que producen olores y gustos desagradables (Rodríguez & Anzola, 2014).

Aunado a lo anterior, (Rodier, 2010) indica que el aumento de la temperatura en el agua favorece la autodepuración y aumenta la velocidad de sedimentación, lo que puede presentar un interés en los centros de depuración de aguas residuales.

2.2.1.1.2.Potencial de hidrogeno (pH).

Es la unidad de medida de la concentración del ión hidrogeno y su valor se expresa en una escala que varía entre 0 y 14, siendo 7 neutro, valores menores a 7 se clasifican como ácidos y por encima de 7 como básicos. En un cuerpo de agua, las especies vegetales requieren de dióxido de carbono para su fotosíntesis, por lo que la variación del pH se encuentra estrechamente ligada a este compuesto químico, presentándose aumentos en el día y disminución en la noche (Rodríguez & Anzola, 2014).

Adicionalmente, este parámetro en niveles altos causa un incremento en el nitrógeno amoniacal a niveles tóxicos, aunque a niveles bajos genera un incremento en la toxicidad de cianuros y sulfuros de hidrogeno (Rodier, 2010).

2.2.1.1.3.Oxígeno disuelto.

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros con mayor importancia en el momento de determinar la calidad del agua en términos ambientales, ya que es un componente clave en la respiración celular para la vida acuática. La determinación de este parámetro sirve como base para cuantificar la DBO y hasta grados de polución en ríos, ya que su presencia en altos contenidos, representa bajas concentraciones de sustancias oxidables como materia orgánica, hierro, nitrógeno amoniacal y otros, este se disuelve en el agua por diversos procesos, como la difusión entre la atmosfera y el agua, la oxigenación por el movimiento del agua sobre las rocas

y detritos, la oxigenación por el viento y olas, y por último y no menos importante por la fotosíntesis de las plantas acuáticas (Vernier, s.f.).

El oxígeno disuelto, no es un elemento constitutivo y su solubilidad depende de la temperatura, de la presión parcial de la atmosfera y de la salinidad. Este conserva sus propiedades oxidantes, ya sea por una reacción puramente química al oxidar compuestos minerales u orgánicos, por fenómenos bioquímicos (consumo del oxígeno por parte de los microorganismos para garantizar la degradación de los constituyentes del agua), o incluso por reacciones electroquímicas (Rodier, 2010).

2.2.1.1.4.Turbiedad.

“Se genera por el material en suspensión presente en la columna del agua ya sea orgánico o mineral, y varía según su naturaleza, tamaño y cantidad de partículas en suspensión arcilla, arena muy fina, limo, materia orgánica diluida, algas y otros organismos microscópicos”(Rodríguez & Anzola, 2014).

Normalmente, los ecosistemas acuáticos tropicales, especialmente ríos y embalses de bajas alturas sobre el nivel del mar, son muy turbios debido al arrastre de materiales, propiciado por la alta lixiviación que se da en estas regiones (Rodier, 2010).

2.2.1.1.5.Color.

Es generado por las partículas suspendidas en la columna del agua y su interacción con la luz; siendo alterado por factores físicos, químicos y biológicos, ejemplo: aguas con altos contenidos de fitoplancton tiendan a ser verdes, o achocolatadas cuando presentan material vegetal en descomposición (Rodríguez & Anzola, 2014; SENA, 2008).

Las aguas naturales presentan valores entre 10 y 50 UPC - Unidades de Platino Cobalto- y mientras que las aguas residuales industriales su color depende de la edad de generación de las mismas y pueden tornarse negras o grises (Terry, Gutiérrez, & Abó, 2010).

Dos tipos de color se reconocen en el agua, color aparente o color real, siendo el primero el resultado de la materia suspendida con la disuelta en el agua y el segundo el resultado del color del agua de la cual se ha eliminado la turbiedad. (Severiche et al., 2013). En general el término

color, se refiere al color real del agua y se acostumbra a medirlo en conjunto con el pH, pues la intensidad del color depende de este, Romero (2009) indica que el color aumenta con el incremento del pH.

2.2.1.1.6.Fósforo.

El fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de plantas y animales. Actualmente se considera como uno de los nutrientes que controlan el crecimiento de algas, pero un exceso de fósforo produce un desarrollo exorbitado de plantas, el cual es causante de condiciones inadecuadas para ciertos usos benéficos del agua. El empleo de detergentes, los cuales contienen grandes cantidades de fósforo, ha aumentado el contenido de fosfato en las aguas residuales domésticas y ha contribuido al problema de incremento del mismo en las fuentes receptoras (Romero, 2009).

Romero (2009) indica que la concentración de fósforo se comporta de la siguiente forma: en aguas naturales se presenta en concentraciones bajas, las cuales varían entre 0,01 a 1 mg/L-P; en aguas residuales domésticas varía entre 1 a 15 mg/L-P; en aguas donde se presentan lixiviados de cultivos agrícolas oscila entre 0,05 y 1 mg/L-P y en aguas superficiales de lagos varía entre 0,01 y 0,04 mg/L-P.

En la piscicultura la técnica de fertilización de estanques acompañada con la alimentación de las especies cultivadas – teniendo como premisa que el 9% del fósforo contenido en la ración del alimento queda suspendido en la columna del agua (González, 2015) – genera la presencia de este elemento en el agua, que en conjunto con el nitrógeno, potasio y energía solar constituyen la materia prima para la producción de materia orgánica a partir del proceso fotosintético efectuado por el fitoplancton, promoviendo el inicio de la cadena trófica en los estanques piscícolas (Luna, 2011; Rodríguez & Anzola, 2014).

2.2.1.1.7.Nitratos y Nitritos.

En ausencia de contaminación, no hay o hay muy pocos nitritos en el agua y en las zonas donde la autodepuración es activa el contenido se mantiene en niveles muy bajos -aproximadamente de 0,01 mg/L-. En concentraciones por debajo de una centésima de mg/L, las aguas pueden

considerarse puras o bajo la acción de una autodepuración activa, en presencia de algunas décimas de mg/L la contaminación es sensible y es significativa por encima de 1 mg/L (Rodier, 2010).

Los nitritos proceden de una oxidación incompleta del amoníaco, si la nitrificación no se llevó a término, o de una reducción de los nitratos bajo la influencia de una acción desnitrificadora. Un agua que contiene nitritos debe considerarse sospechosa, ya que frecuentemente se asocia con un deterioro de su calidad microbiológica. Las aguas en contacto con algunos terrenos y ciertos conductos pueden contener nitritos, independiente de cualquier contaminación, aunque a veces también se encuentran nitritos no relacionados con una contaminación, en aguas pobres en oxígeno (aguas subterráneas) (Rodier, 2010).

En la piscicultura, estos elementos se generan como producto del metabolismo de los organismos bajo cultivo y son liberados durante la descomposición que hacen las bacterias sobre la materia orgánica animal y vegetal. Este proceso se debe a la acción de bacterias aeróbicas, como *Nitrosomonas*, responsables del paso de amoníaco a nitritos y de la bacteria *Nitrobacter* que es la responsable del paso de nitrito a nitrato. La desnitrificación de nitratos a nitrógeno y salir del agua como un gas disuelto, puede llevarse a cabo por una variedad de bacterias como *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Bacillus*, *Micrococcus* y *Corynebacterium* (Rodríguez & Anzola, 2014; SENA, 2008).

2.2.1.1.8. Nitrógeno amoniacal.

El nitrógeno amoniacal se encuentra a menudo en las aguas y se manifiesta por lo general en un proceso de degradación incompleta de la materia orgánica. Rio abajo después de recibir vertimientos, este se encuentra a menudo en contenidos de 0,5 mg/L a 1 mg/L aproximadamente, mientras que el contenido en nitritos y nitratos es escaso. Más abajo, el contenido de nitrógeno amoniacal disminuye y el de los nitritos, y después el de los nitratos aumentan. En general, el amoníaco se transforma con rapidez por oxidación en nitritos y nitratos (Rodier, 2010).

El nitrógeno amoniacal de las aguas superficiales puede tener por origen la materia vegetal de los cursos de agua, la materia orgánica animal o humana, los vertidos industriales, los abonos, y otros (Rodier, 2010) y el aumento del p.H y de la temperatura generan un incremento en el

porcentaje de amoníaco no ionizado y por consiguiente su toxicidad (Rodríguez & Anzola, 2014).

2.2.1.1.9.Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales, son un parámetro asociado con pequeñas cantidades de materia orgánica y material suspendido. Este parámetro se encuentra asociado con la turbidez del agua natural y se relaciona con la destinación del recurso para el consumo público y con las condiciones de vida de la fauna acuática (Romero, 2009).

Una alta concentración de sólidos producirá disturbios en el crecimiento de los huevos de los peces, modifica su movimiento natural, su migración y reduce la abundancia de alimentos (Romero, 2009).

Su presencia en los cuerpos de agua es un indicador de cambio de las condiciones hidrológicas de la corriente y puede relacionarse con la erosión, con vertimientos y con extracción de material de arrastre, tiene una relación directa con la turbiedad, por lo que se considera un parámetro importante en cualquier plan de monitoreo de calidad de agua (Villegas, 2010).

2.2.1.2 Parámetros orgánicos

2.2.1.2.1.Demanda química de oxígeno (DQO).

Se considera como un parámetro analítico de contaminación, su importancia radica por la estrecha relación que presenta con la presencia de sustancias químicas susceptibles de ser oxidadas, como la materia orgánica ya sea biodegradable o no. (Rodier, 2010; Villegas, 2010).

Durante su determinación, la materia orgánica se convierte en dióxido de carbono y agua, sin importar que tan asimilable biológicamente sea la sustancia, como resultado los valores de la DQO son mayores que los valores de la DBO y la diferencia puede ser mucho mayor cuando se presentan cantidades significativas de materia orgánica resistente (Rodier, 2010).

2.2.1.2.2. *Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).*

Es una prueba importante utilizada para medir los efectos contaminantes de un agua residual, y se define como “*una medida de concentración de oxígeno usado por los microorganismos para degradar y estabilizar la materia orgánica biodegradable o materia orgánica carbonácea en condiciones aeróbicas en 5 días y a 20°C*” (Roldán & Ramírez, 2008).

Para su determinación se mide la cantidad de oxígeno que requieren las bacterias aerobias para consumir el total de materia orgánica biodegradable en la muestra de agua, midiendo el oxígeno disuelto al inicio y al término de la prueba, la cual corresponde a cinco días (Villegas, 2010).

2.2.1.3 **Parámetros bacteriológicos**

2.2.1.3.1. *Coliformes totales y fecales*

La presencia de coliformes es utilizada como indicador de contaminación bacteriana. Dentro de los grupos de microorganismos que comprenden los coliformes totales, se encuentran *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, entre otras, y cada una de estas pertenecen a la familia *enterobacteriaceae*, son bacilos Gram negativos, anaerobios facultativos, no esporulantes. Este tipo de bacterias no suelen vivir en medios acuosos y su velocidad de mortalidad depende de la temperatura del agua, de la luz solar y composición química del agua, por lo que la presencia de este tipo de bacterias indica contaminación reciente (Arcos, Ávila, Estupiñán, & Gómez, 2005).

Por otro lado, los coliformes fecales se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas, lo que los diferencia de los coliformes totales, su reproducción por fuera del intestino de los animales es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad y su procedencia está relacionada con heces de animales de sangre caliente, lo que los convierten en buenos indicadores de contaminación animal (Arcos et al., 2005).

2.2.2. Determinación de la calidad del agua

En Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en conjunto con las autoridades ambientales, realizan actividades de caracterización en términos de cantidad y calidad en corrientes hídricas, con el fin de definir objetivos de calidad -idoneidad del recurso hídrico en tramos- y criterios de calidad -valores máximos permisibles para vertimientos-, para lograr un ordenamiento del recurso hídrico y una preservación de la calidad de las fuentes hídricas. En la tabla 2 se relaciona los criterios generales de calidad del agua para fuentes hídricas priorizadas por la autoridad ambiental en el departamento del Meta.

Aunado a lo anterior, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – de ahora en adelante IDEAM– establece que dentro de los objetivos por los cuales se desarrollan programas de monitoreo de la calidad del agua, se encuentran los siguientes: precisar la idoneidad del recurso hídrico para un determinado uso (Decreto 3930 del 2010 ahora Decreto 1076 de 2015), establecer las tendencias de la calidad del ambiente acuático y determinar cómo este sistema se ve afectado por los diversos vertimientos de contaminantes originados por las actividades humanas.

Tabla 2

Criterios generales de calidad del agua para fuentes hídricas priorizadas por Cormacarena

Parámetro	Unidad de medida	Consumo humano y doméstico	Preservación de flora y fauna	Agrícola sin restricciones	Agrícola con restricciones	Pecuario	Recreativo contacto primario	Recreativo contacto secundario	Industrial	Estético y drenaje de aguas lluvias
DBO ₅	mg/L	5	5	15	15	15	5	15	15	30
DQO	mg/L	7	7	20	20	20	7	20	20	63
pH	UN. pH	5,0-9,0	6,5-8,5	5,0-9,0	4,5-9,0*	6,5-8,5	6,5-8,5	5,0 – 9,0	5,0 – 9,0	4,5-9,0*
Oxígeno disuelto	mg/L	>4	>6	>4	4*	>4	>5	>4	>4	>4
Coliformes totales	NMP	20000	-	5000	10000	-	1000	5000	5000	-
Coliformes fecales	NMP	2000	-	1000	5000*	-	200	2000	2000	-
Fósforo Total	mg/L	0,02	0,02	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 2. Continuación

Parámetro	Unidad de medida	Consumo humano y doméstico	Preservación de flora y fauna	Agrícola sin restricciones	Agrícola con restricciones	Pecuario	Recreativo contacto primario	Recreativo contacto secundario	Industrial	Estético y drenaje de aguas lluvias
Nitrógeno Nitratos	mg/L	10	2,0	-	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0,5*	1,0	-	5*	-	-	-	-	5*
SST	mg/L	-	25	-	-	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	-	+3	-	-	-	-	-	-	4*

Nota: Valores máximos y mínimos para parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos por CORMACARENA en fuentes hídricas del departamento del Meta, Adaptado de “Nora Villegas” y “Claudia Pineda”, por Montoya, C.; 2018.

2.2.3. Actividades para determinar la calidad de una fuente hídrica

A continuación se describen actividades necesarias para el desarrollo adecuado de una campaña de monitoreo según el IDEAM (IDEAM, 2002):

2.2.3.1. Aforo.

El termino aforar significa determinar el gasto que escurre a través de un curso natural o de un canal artificial de agua. Entre las diversas formas de aforar, existen dos procedimientos denominados método directo e indirecto, siendo el primero aquel que se determina calculando la velocidad de escurrimiento y la sección mojada correspondiente; y el segundo que calcula la velocidad haciendo uso de fórmulas matemática derivadas de la hidráulica (Zapata, 2017). A continuación se describe el aforo directo, el cual fue utilizado en el presente estudio.

Para este tipo de aforos, se hace uso de molinetes o velocímetros, los cuales se componen de una hélice que gira al reaccionar ante el movimiento del agua. El procedimiento de medición consiste en posicionar el molinete en las ubicaciones preestablecidas en cada vertical de la sección transversal elegida y registrar el número de vueltas que el aparato emite, lo cual corresponde a la velocidad del giro de la hélice y se transforma a velocidad de escurrimiento, mediante la ecuación de calibrado del molinete, la cual es:

$$V \left[\frac{m}{seg} \right] = C_1 n \left[\frac{Vueltas}{seg} \right] + C_2$$

Dónde: C1 y C2: Son constantes que se determinan en el calibrado del molinete.

n: revoluciones registrados en el contador del molinete.

Lo anterior para los contadores que no arrojan directamente el valor de velocidad en m/s.

Debiendo determinarse la profundidad de la lámina de agua en cada punto de medición de velocidad, con la finalidad de calcular el área de la sección transversal húmeda, que se utilizará para el cálculo del caudal. Así:

$$Q = v * A$$

Dónde:

v = velocidad determinada con el correntómetro o molinete.

A = Área de la sección mojada transversal correspondiente

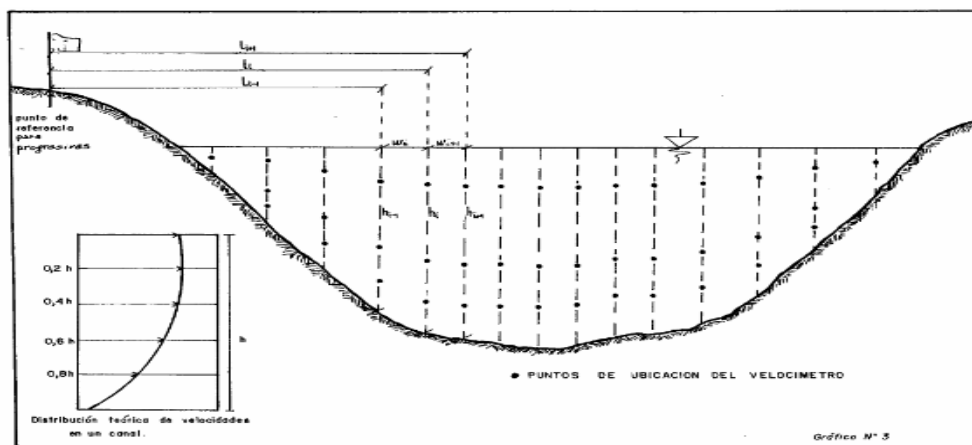


Figura 1. División sección transversal de una fuente hídrica para la realización de aforos.
Fuente: Hidrología I. Trabajo práctico: Aforos directos, Zapata, 2017.

2.2.3.2. Toma de muestras de agua (Tipos de muestras y frecuencias de muestreo).

Existen tres tipos de muestras realizadas en campañas de monitoreo, entre estas se encuentra la puntual, la compuesta y la integrada, las cuales se realizan de acuerdo a las condiciones propias del agua a analizar, por ejemplo: la muestra puntual se realiza en un lugar representativo, en un

determinado momento y es muy utilizada para monitoreos de fuentes hídricas superficiales, por otro lado, la compuesta se compone de varias muestras puntuales en un mismo punto de monitoreo tomadas a intervalos de tiempo programados, los cuales presentan volúmenes proporcionales a los caudales registrados y usualmente se desarrolla en monitoreos de vertimientos; y por último la muestra integral la cual se compone de muestras puntuales pero tomadas en diferentes puntos, y es desarrollada en fuentes hídricas donde la profundidad de la fuente varía significativamente (IDEAM, 2002).

2.2.4. La actividad piscícola y el recurso hídrico.

2.2.4.1. La piscicultura.

“La piscicultura es el cultivo de organismos acuáticos tanto en zonas costeras como del interior, que implica intervenciones en el proceso de cría para aumentar la producción”(FAO, 2018), dicha práctica se desarrolla con el fin de producir alimentos para consumo humano, peces para actividades lúdicas y recreativas, peces ornamentales y cebo (FAO, 2010).

La mayoría de la producción piscícola proviene de la explotación de estanques de agua dulce, en los cuales se mantiene e intercambia el agua, reciben fertilizantes o productos que sirven como base de alimento para los peces cultivados, haciendo posible la retención, cría y explotación de especies de peces (FAO, 2010). La tipicidad de la actividad varía según el tamaño del área implementada en el cultivo y la densidad de siembra de las especies cultivadas, encontrándose la clasificación de “extensivos”, “intensivos” y “superintensivo”. A continuación, se presentan las principales características de cada tipo de cultivo:

Tabla 3

Características de cultivos piscícolas.

Característica	Cultivo extensivo	Cultivo intensivo	Cultivo super-intensivo
Material de los estanques	En estanques de tierra	En estanques de tierra	Se realiza en estanques de cemento, en jaulas y en jaulones
Especies cultivadas	Casi todas las especies cultivadas	Cachama, tilapia y trucha	Trucha y tilapia

Tabla 3. Continuación

Característica		Cultivo extensivo	Cultivo intensivo	Cultivo super-intensivo
Densidad de siembra	de	Menos de un pez por m ² de área	Entre 2 y 10 peces por m ²	Más de 10 peces por m ²
Alimentación		Natural con adición de fertilizantes que estimulan la productividad primaria, así como con pequeñas cantidades de alimento balanceado o subproductos agrícolas.	Depende del uso de alimento balanceado	Depende totalmente de alimento balanceado
Aguas de recambio	de	Menos del 2% día	Entre el 5 y el 15% por día	Mínimo un 30% al día
Mano de obra implementada		Netamente familiar	Es familiar, pero para la cosecha se contrata personal externo.	La mano de obra remunerada, algunos con contratos de trabajo a término indefinido y otros contratados para labores específicas, especialmente en los períodos de cosecha.

Nota: *Tipologías del cultivo extensivo, intensivo y super-intensivo en la piscicultura, adaptado de la “Food and Agriculture Organization of the United Nations”, por Montoya, C.; 2018.

2.2.4.2. Contaminación del recurso hídrico por efluentes piscícolas.

La piscicultura, como toda actividad económica representa un uso de recursos y materiales que finalizan convirtiéndose en productos y desechos. Dicha actividad requiere de agua, tierra, alimento, semillas (huevos y alevinos), mano de obra, materiales de construcción y químicos para su desarrollo. Un claro ejemplo de requerimiento del recurso hídrico es la huella hídrica que presenta la especie de Cachama la cual corresponde a hasta 4,277 m³ para producir una tonelada fresca sin eviscerar y de hasta 6,193 m³ para generar una tonelada eviscerada, refrigerada y empacada para su comercialización (Pérez et al., 2017).

De acuerdo a las diferentes investigaciones realizadas respecto a la actividad piscícola, se ha identificado que dentro de los principales causantes del deterioro de la calidad del agua de una fuente hídrica receptora de efluentes piscícolas, se encuentra la proteína que se suministra al cultivo, teniendo como premisa que cerca del 30% de estas no son ingeridas (Pardo & Soriano, 2006) y que en conjunto con las heces y la orina de las especies cultivadas decantan al fondo del estanque, promoviendo la generación de materia orgánica, la cual estimula la producción bacteriana, alterando la composición química, estructura y funciones de los sedimentos Enell citado en Buschmann (2001), generando disminución en las concentraciones de oxígeno y un aumento en la DBO, afectando los ciclos normales de los nutrientes presentes y finalmente,

incentivando la incorporación del nitrógeno y fósforo presente en los sedimentos a la columna del agua, los cuales son vertidos a fuentes hídricas superficiales alterando los parámetros fisicoquímicos del cuerpo hídrico receptor, entre estos, una disminución del oxígeno disuelto, aumento en la concentración de sólidos en suspensión, aumento en la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno, en la demanda química de oxígeno y en macronutrientes como nitrógeno y fósforo (Fernández, Luna, & García, 2009; Mesía, 1995; Pardo & Soriano, 2006).

Es de destacar, que la afectación al recurso se refleja en mayor proporción en cuerpos receptores lénticos, ya que el flujo continuo en las aguas lóaticas permiten una mayor dilución de los desechos, conllevando que los efectos sean transitorios en ciclos de menores caudales (Buschmann, 2001).

La calidad de los efluentes generados de la actividad piscícola presenta una correlación con factores propios del sistema productivo; como densidad de siembra, tipo de especie cultivada, número de estanques en funcionamiento, etapa de desarrollo del cultivo, etc., en la tabla 4 se reflejan concentraciones de parámetros fisicoquímicos que se han registrado en cultivos piscícolas de acuerdo a investigaciones realizadas:

Tabla 4

Valores promedio de parámetros fisicoquímicos en efluentes piscícolas

Parámetro	Unidad de medida	Tilapia Roja, Cachama Blanca y Yamu*	Tilapia Roja**	Acuicultura en general***
D.B.O ₅	mgO ₂ /L	10	13,20	50
D.Q.O	mgO ₂ /L	25	63,67	25
Fósforo total	mpP/L	1,406	0,066	2
Nitrógeno Amoniacal	mgN-NH ₃ /L	<0,5	-	-
Oxígeno disuelto	mgO ₂ /L	5,7	-	-
pH	Unidades de pH	7,43	-	6-9
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	31,33	66,37	50
Nitrógeno Total	mg/L	-	2,60	10
Coliformes fecales	UFC/100 mL	-	13,125	

Nota: Composición fisicoquímica y microbiológica de efluentes generados de la cría de Tilapia Roja, cachama blanca, Yamu y en general, Adaptado de *Gómez & Rico, ** Fernández et al y ***IFC., por Montoya, C.; 2018.

2.3. Marco conceptual

Capacidad de asimilación: “Capacidad de un cuerpo de agua para aceptar y degradar sustancias o formas de energía, a través de procesos físicos, químicos y biológicos”(Decreto 050, 2018).

Carga contaminante: “Es el producto de la concentración másica de una sustancia por el caudal volumétrico del líquido que la contiene, determinado en el mismo sitio, se expresa en unidades de masa por tiempo” (Decreto 50, 2018).

Caudal Promedio: Corresponde al volumen de vertimientos por unidad de tiempo durante el período de muestreo, expresado en litros por segundo (L/s) (Decreto 1076, 2015a, art. 2.2.9.7.2.1).

Concentración (C): Es la masa de una sustancia, elemento o parámetro contaminante, por unidad de volumen del líquido que lo contiene, expresado en miligramos por litro (mg/L) (Decreto 1076, 2015a, art. 2.2.9.7.2.1).

Muestra puntual: “Es la muestra individual representativa en un determinado momento”(Decreto 1076, 2015a, art. 2.2.3.3.1.3).

Muestra compuesta: “Es la mezcla de varias muestras puntuales de una misma fuente, tomadas a intervalos programados y por periodos determinados, las cuales pueden tener volúmenes iguales o ser proporcionales al caudal durante el periodo de muestras (Decreto 1076, 2015a, art. 2.2.3.3.1.3).

Punto de captación: “Es el sitio o lugar donde el usuario toma el recurso hídrico para cualquier uso” (Decreto 1076, 2015a, art. 2.2.9.7.2.1).

Punto de descarga: “Sitio o lugar donde se realiza un vertimiento, de manera directa o indirecta al cuerpo de agua” (Decreto 1076, 2015a, art. 2.2.9.7.2.1).

Usuario: “Es toda persona natural o jurídica, de derecho público o privado, que realiza vertimientos puntuales en forma directa o indirecta al recurso hídrico” (Decreto 1076, 2015a, art. 2.2.9.7.2.1).

Uso del agua para consumo humano y doméstico: Recurso hídrico utilizado para bebida directa y preparación de alimentos, satisfacción de necesidades domésticas (Decreto 1076, 2015a, art. 2.2.3.3.2.2)

Uso del agua para la preservación de flora y fauna: es el recurso hídrico utilizado en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos (Decreto 1076, 2015a, art. 2.2.3.3.2.3).

Uso del agua para pesca, maricultura y acuicultura: “Recurso hídrico utilizado en actividades de reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies hidrobiológicas en cualquiera de sus formas, sin causar alteraciones en los ecosistemas en los que se desarrollan estas actividades” (Decreto 1076, 2015a, art. 2.2.3.3.2.4).

Uso agrícola: Recurso hídrico utilizado para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias (Decreto 1076, 2015a, art. 2.2.3.3.2.5).

Uso pecuario: Agua utilizada para el consumo del ganado en sus diferentes especies y demás animales, así como otras actividades conexas y complementarias (Decreto 1076, 2015a, art. 2.2.3.3.2.6).

Uso recreativo: se divide en dos tipos de contacto primario –natación, buceo y baños medicinales- y de contacto secundario –deportes acuáticos y la pesca- (Decreto 1076, 2015a, art. 2.2.3.3.2.7).

Uso industrial: agua utilizada para generación de energía, minería, hidrocarburos, fabricación o procedimiento de drogas, medicamentos aditivos y productos similares (Decreto 1076, 2015a, art. 2.2.3.3.2.8).

Uso estético: recurso hídrico utilizado para la armonización y embellecimiento del paisaje (Decreto 1076, 2015a, art. 2.2.3.3.2.10)

Vertimiento: “Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido” (Decreto 1076, 2015a, art. 2.2.3.3.1.3).

2.4. Marco Legal

En Colombia, el decreto 1076 de 2015 entre sus artículos 2.2.3.3.1.1 y 2.2.3.3.9.1 y la resolución 0631 del 2015, son las normas relacionadas con calidad de vertimientos y calidad de fuentes hídricas, el primero establece los lineamientos acerca de los usos de las fuentes hídricas y manejo de los vertimientos sobre las mismas, enfatiza y establece como requerimiento la

implementación de modelos de simulación de calidad de agua para predecir impactos que pueda generar un vertimiento en un cuerpo de agua receptor, en función de la capacidad de asimilación y dilución de la fuente hídrica y de sus usos actuales y prospectivos. Por otro lado, la resolución 0631 del 2015 establece los parámetros y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público, contribuyendo así, a la preservación del recurso y a la destinación del mismo para los diferentes usuarios.

Adicionalmente, es de gran importancia, hacer referencia a otros estatutos ambientales de la Nación, como los que se presentan en la tabla 5 bajo la categorización de la pirámide de Kensel, incluyendo nuevamente los artículos del decreto 1076 del 2015 que hace referencia al recurso hídrico y la resolución 0631 del 2015.

Tabla 5

Normatividad aplicable al tema de vertimientos.

Jerarquía	Norma	Año	Alcance	Fuente
Constitución Política	Artículo 49, 79, artículo 89 y artículo 95	1991	El manejo de vertimientos está ligado a la obligación del estado de garantizar un ambiente sano a todos los colombianos y de proteger la integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológicas y fomentar la educación ambiental. El saneamiento ambiental es un servicio público a cargo del estado.	Asamblea Nacional Constituyente, (1991)
Ley	23	1973	Por medio de la cual se le conceden facultades al presidente de la república para la expedición del código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente, y se decreta las respectivas obligaciones de la nación y de la comunidad con el medio ambiente.	Congreso de Colombia, (1973)
Decreto/Ley	2811	1974	Por medio del cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente: define normas generales y detalla los medios para el desarrollo de la Política Ambiental.	Congreso de Colombia, (1974)
Ley	99 Art 5	1993	Por medio del cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, y organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, en su artículo 5, establece que el MADS tiene dentro de sus funciones regular el saneamiento del medio ambiente, tendiendo a reducir la contaminación hídrica.	Congreso de Colombia, (1993)

Tabla 5. *Continuación.*

Jerarquía	Norma	Año	Alcance	Fuente
Ley	9	1979	Código Sanitario Nacional: Establece las normas generales para preservar, restaurar o mejorar las condiciones necesarias en lo que se relaciona a la salud humana y define desde el aspecto sanitario los usos del agua y los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de las descargas de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente.	Minsalud, (1979)
Decreto	2858	1981	Reglamenta parcialmente el artículo 56 del decreto ley 2811 de 1974 y modifica el decreto 1541 de 1984, en este se establece que tanto elINDERENA tanto como las autoridades ambientales podrán otorgar permiso de concesiones de aguas, hasta por un año, establece los usos del agua y los documentos que debe presentar el interesado para solicitar dicho permiso, entre otras,	Minagricultura, (1981)
Decreto	3100	2003	Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.	MAVDT, (2003)
Decreto	1076 Artículos 2.2.3.3.1.1 al 2.2.3.3.9.1	2015	Por el cual se establece las disposiciones relacionadas en cuanto a los usos del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos al recurso hídrico o al alcantarillado.	MADS, (2015a)
Decreto	1076 Artículos 2.2.9.7.1.1 al 2.2.9.7.6.2	2015	Capítulo 7, Por medio del cual se reglamenta la tasa retributiva.	MADS, (2012a)
Decreto	050	2018	Por medio del cual se modifica parcialmente el decreto 1076 del 2015, en relación con los Consejos Ambientales Regionales de Macrocuencas y se determinan definiciones de capacidad de asimilación y carga contaminante.	MADS, (2018)
Resolución	1433	2004	Por medio de la cual se reglamenta el artículo 12 del decreto 3100 de 2003, Establece la definición de un PSMV, las autoridades competentes para evaluarlos y aprobarlos, cuando se realiza control y seguimiento, entre otras.	MADS, (2004)
Resolución	2145	2005	Modifica la resolución 1433, basado en que la autoridad ambiental deberá establecer objetivos de calidad de cuerpos hídricos y por ende se deben tener en cuenta las normas de vertimiento, por lo que los PSMV deberán estar articulados a los objetivos de calidad.	MAVDT, (2005)
Resolución	1514	2012	Por medio del cual se establecen los términos de referencia para la elaboración del Plan de Gestión del riesgo y Manejo de Vertimientos, los cuales deben ir incluidos en la solicitud de un permiso de vertimientos,	MADS, (2012b)

Tabla 5. *Continuación.*

Jerarquía	Norma	Año	Alcance	Fuente
Resolución	0631	2015	Por medio de la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficial y a los sistemas de alcantarillado público.	MADS, (2015b)

Nota: Legislación que regula la generación, disposición y tratamiento de vertimientos generados de actividades productivas y domesticas en el territorio Colombiano, Adaptado de “Congreso de la Republica” por Montoya, C.; 2018.

3. Metodología

Para el cumplimiento de los objetivos trazados, la investigación se realizó bajo un enfoque cualitativo y cuantitativo, fundamentado en un diseño no experimental (Monje, 2011), en donde no se influyó en el comportamiento de las variables estudiadas, sino que se identificó el comportamiento de estas en su estado normal, lo anterior, a través de un seguimiento de las operaciones normales desarrolladas en la actividad piscícola y la toma y análisis de muestras de agua de la fuente hídrica objeto de estudio y los vertimientos generados; para finalizar aplicando una investigación exploratoria, teniendo en cuenta la poca o nula información existente respecto al objetivo de la investigación (Arias, 1999).

3.1. Hipótesis

“El vertido de aguas de recambio generadas en la piscícola localizada en el predio El Manantial, genera una afectación negativa sobre la calidad fisicoquímica del agua de la fuente hídrica superficial caño Pilatos”

A continuación se presentan las actividades que hacen parte de la metodología desarrollada en la presente investigación:

3.2. Caracterización del proceso productivo piscícola

3.2.1. Captura de información de campo.

Para el desarrollo de esta actividad se realizaron visitas al predio el Manantial los días 28 de agosto y 23 de octubre de 2017 coordinadas con el administrador de la piscícola, recopilando información relacionada con el proceso productivo y el manejo de las aguas de recambio.

Para la captura de información de campo, se diseñó y empleo el formato de recolección de información que se muestra en la figura 2, en este se registró lo siguiente: a) Fecha de visita, b) identificación del predio y representante legal, c) Identificación del número de expediente bajo el

cual se encuentra la información de los permisos tramitados ante Cormacarena, d) Geoposicionamiento del predio y de la actividad piscícola, e) Área de predio, f) Tipo de explotación realizada, g) Identificación taxonómica de las especies cultivadas, h) número y área de estanques, i) Densidad de siembra, j) Alimentación (tipo, ración y horarios), k) Fechas y periodos de siembra y cosecha de peces, l) Identificación de la fuente hídrica de abastecimiento y fuentes receptoras del proceso productivo y m) Caudal concesionado.

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL FORMATO DE CAMPO VISITA A GRANJAS PISCÍCOLAS		Página 1 de 3
Fecha de visita de campo: DD MM AA		
DATOS GENERALES		
Nº de expediente:		
Interesado/ Representante legal:		
Identificación (CC o NIT):		
Municipio:		
Vereda:		
Predio:		
Nombre de la empresa o cultivo:		
Geoposicionamiento del Predio:		Este:
Área del predio:		Nombre:
Otras actividades (Uso del suelo):		
Ceba: ()		
Tipo de Explotación		
Alivaje: ()		
Otro:		
Identificación taxonómica de las especies		
Nombre común		Nombre científico
1.		
2.		
3.		
Área en Estanques (L/ha):		Número de Estanques:
Descripción de los estanques:		Densidad de siembra (peces o alevinos):
		Alimentación
		Tipo de alimento: _____
		Horario: _____
		Raciones (gr/pez): _____
Fechas de siembra:		Tiempo de cultivo:
Fechas de cosecha:		Fechas de lavado de tanques:
Fuente receptora de descarga de aguas de lavado:		Porcentaje de recambio de agua:
Nombre Fuente de Captación:		
Caudal concesionado (L/seg):		Caudal actual captado (L/seg):
Época de captación:		Resolución No.:

Figura 2. Formato de campo visita a granja piscícola el Manantial.

Fuente: Autor, 2018.

Para la determinación del área total de espejo en agua de los estanques piscícolas, se realizó un recorrido por cada estanque registrando la georreferenciación de los puntos extremos con un GPS, y posteriormente haciendo uso del programa de Arcgis, Google Earth Pro y las coordenadas obtenidas, se procesó la información obteniendo el área real de espejo en agua utilizada en el proceso productivo.

De igual forma, se realizó una revisión de la información secundaria que existe en el expediente del trámite de permiso de concesión de aguas del predio el Manantial, el cual hace parte de la base documental de la autoridad ambiental del departamento del Meta – CORMACARENA-, entidad que dentro de sus funciones de control y seguimiento verifica el

cumplimiento a las obligaciones establecidas en la resolución que otorgó el permiso de concesión de aguas, incluyendo el caudal concesionado y el manejo de sus efluentes.

3.2.2. Descripción del proceso productivo piscícola.

A partir de la información capturada en el desarrollo de las visitas y la información consignada en el formato de campo, se realizó una descripción general del predio y del proceso productivo piscícola denominado “proyecto Sinaloa”, con la finalidad de conocer con exactitud las actividades que se desarrollan y la relación que existe entre estas y la calidad de los efluentes generados.

3.3. Determinación de las cargas contaminantes en los vertimientos y calidad del agua en los puntos monitoreados

3.3.1. Selección de puntos de monitoreo.

Entre los meses de agosto y septiembre del año 2017 por medio de revisión cartográfica y documental, se establecieron ocho puntos a monitorear con el fin de dar cumplimiento a los objetivos trazados del presente proyecto, los cuales se presentan en la tabla 6.

Tabla 6

Puntos de muestreo preseleccionados.

Punto (identificación)	Sitio de muestreo
1	Fuente: caño Pilatos, Aguas arriba de los puntos de vertimiento de las aguas de recambio de la piscícola El Manantial.
2	Fuente: Cano NN1, aguas arriba del primer vertimiento de ocho estanques piscícolas de las aguas de recambio de la piscícola El Manantial.
3	Fuente: caño Pilatos, Aguas abajo del segundo vertimiento de las aguas de recambio de la piscícola El Manantial (veinte estanques piscícolas), antes de la desembocadura del caño NN 2 al caño Pilatos.
4	Fuente caño NN 2: Aguas arriba antes de desembocar en el caño Pilatos.
5	Fuente: caño Pilatos, por fuera de la zona de mezcla de los vertimientos y desembocadura del caño NN2.
6	Fuente: caño Pilatos, 100 metros aguas abajo del punto 5.
7	Vertimiento uno (01).
8	vertimiento dos (02)

Nota: * Estaciones de monitoreo preseleccionados por medio de revisión bibliográfica y cartográfica, Autor, 2018.

Posteriormente, el día 06 de noviembre del año 2017 se realizó un recorrido por los ocho puntos preseleccionados, en donde se observó que los puntos identificados como 4 y 6 no se encontraban localizados sobre la fuente hídrica superficial caño Pilatos como se tenía previsto, sino por el contrario en una segunda fuente hídrica superficial denominada Caño Seco, fuente que recibe descargas domésticas sin tratar generadas del casco urbano del municipio de Restrepo (Villegas, 2012). Teniendo en cuenta este hallazgo, se decidió descartar dichos puntos de la presente investigación, bajo la justificación de que el alcance de la misma contempla un tramo localizado en la fuente hídrica superficial caño Pilatos y las aguas residuales de interés para el presente proyecto son efluentes generados de estanques piscícolas, por lo que se consideró que el análisis de la calidad de la fuente hídrica caño Seco no era representativo para la presente investigación.

Adicionalmente, con el fin de establecer la ubicación exacta del punto 5 - fuera de la zona de mezcla-, se hizo uso de la fórmula de Yotsukura (Castro & Ortiz, 2015, p. 16), la cual permite determinar la longitud de la distancia desde la descarga del vertimiento sobre la fuente hídrica superficial caño Pilatos hasta la zona donde la mezcla es completa. A continuación se presenta la ecuación utilizada:

$$lm = \alpha \mu \left(\frac{B^2}{H} \right)$$

Dónde:

lm = Longitud de mezcla compuesta (m)

μ = Velocidad media del flujo en la sección (m/s)

B = Ancho medio del tramo (m)

H = Profundidad media del tramo (m)

α = 8,5 para descarga lateral y de 4,3 cuando la descarga no es lateral

Para el desarrollo de la ecuación se hizo uso de los caudales obtenidos en campo –aforos realizados en época seca y época de lluvia- en el punto codificado como P1CP.

La aplicación de la ecuación de Yotsukura, arrojó lo siguiente:

Tabla 7*Longitud de zona de mezcla y ubicación del punto 3.*

Longitud de zona de mezcla época de lluvia	Longitud de zona de mezcla época seca
$lm (epoca lluvia) = 8.5 * 0.376 \left(\frac{6.5^2}{0.178} \right)$	$lm (epoca seca) = 8.5 * 0.347 \left(\frac{3^2}{0.108} \right)$
$lm (epoca lluvia) = 758.601 (m)$	$lm (epoca seca) = 245.791 (m)$

Nota: *Cálculo de la zona de mezcla, tomando como referencia el punto preseleccionado como N 1, haciendo uso de la fórmula de Yotsukura. Autor, 2018

De acuerdo a los resultados presentados en la tabla 7, el punto preseleccionado y numerado como 5, se debía localizar a una distancia de 758 y 245 metros aguas abajo del punto P1CP en época de lluvia y época seca respectivamente; no obstante, en el momento de ubicarlos geoespacialmente se evidencio que dichos puntos se localizaban sobre la fuente hídrica superficial denominada caño Seco; bajo este panorama, se procedió a determinar la distancia que se presenta desde el punto P1CP hasta donde el caño Pilatos se une con el caño seco, siendo esta de 123 metros aproximadamente (ver figura 3) -distancia menor a la longitud de zona de mezcla calculada-. De acuerdo al resultado obtenido y teniendo en cuenta las apreciaciones dadas respecto al alcance de la presente investigación, se ubicó el punto preseleccionado como 5, sobre el caño Pilatos a 4 metros de distancia antes de su unión con la fuente hídrica superficial caño Seco.

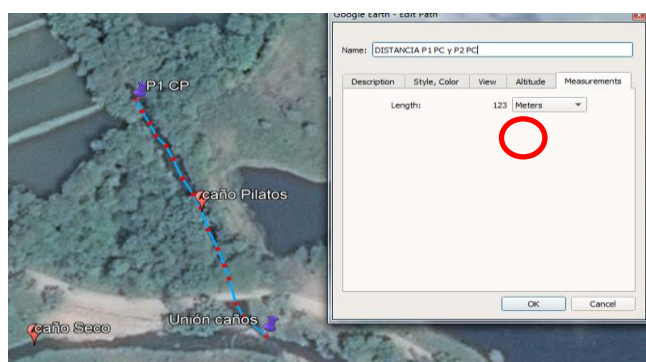


Figura 3. Distancia entre el P1 CP y la fuente hídrica superficial caño Seco.

Fuente: Autor, 2018.

Por último, en el momento de localizar el punto numerado como 3, se evidencio que este se ubicaría en el mismo lugar que el punto 5, por lo que se descartó de la presente investigación, ya

que con el punto antes mencionado se tendría la información de la calidad y cantidad del recurso en ese punto.

Finalizado el trabajo de campo, se seleccionaron y ubicaron cinco puntos definitivos a monitorear, los cuales se presentan en la tabla 8 y apéndice B Mapa 2. Localización de puntos de monitoreo.

Tabla 8

Puntos de monitoreos.

Código	Identificación del punto de muestreo	Coordenadas		Fotografía puntos de muestreos
		E	N	
P1CP	Punto 1- Caño Pilatos: Localizado aguas arriba del vertimiento 1 sobre la fuente hídrica superficial caño Pilatos.	1058821	962673	
P2CP	Punto 2- Caño Pilatos: localizado aguas abajo del vertimiento 2 sobre la fuente hídrica superficial caño Pilatos.	1058872	962576	
V1CP	Vertimiento 1- Caño Pilatos: Compuesto por aguas de recambio generadas de 7 estanques piscícolas y del caño NN.	1058826	962683	

Tabla 8. *Continuación*

Código	Identificación del punto de muestreo	Coordenadas		Fotografía puntos de muestreos
		E	N	
V2CP	Vertimiento 2-Caño Pilatos: Compuesto por aguas de recambio generadas de 21 estanques piscícolas.	1058863	962593	
P1 CNN	Punto 1, Caño NN: Localizado aguas arriba del primer vertimiento de las aguas de recambio de los 7 estanques piscícolas numerados del 22 al 28.	1058866	962875	

Nota: * Geoespacialización de los cinco puntos de monitoreo de época seca y época de lluvia. Autor, 2018.

3.3.2. Jornadas de monitoreo.

Los días 30 de noviembre del 2017 (época de lluvia) y 30 de enero de 2018 (época seca) se efectuaron jornadas de monitoreo de calidad y cantidad en los puntos seleccionados, por lo que para cada uno de estos se realizó un aforo y toma de muestras de los parámetros físico-químicos a analizar.

3.3.2.1. Aforo.

Para el desarrollo de la presente actividad se empleó el molinete de marca OTT C31, serie 232407 y numero de hélice 2-200692, suministrado por Cormacarena (ver figura 4); el

procedimiento consistió en medir la sección transversal de la fuente hídrica o canal y dividirla en partes iguales, seguidamente se procedió a medir la altura de la lámina de agua –profundidad- en el centro de cada una de las verticales, se ajustó el molinete de acuerdo a la profundidad presentada y se posicionó en cada vertical de la sección transversal elegida el molinete, registrando en la cartera de campo la velocidad superficial en metros por segundos obtenidos.



Figura 4. Molinete utilizado en los aforos.

Fuente: Autor, 2018



Figura 5. Aforo punto P2CP.

Fuente: Autor, 2018

Posteriormente, se procedió a calcular el caudal en cada punto monitoreado, haciendo uso de un computador y una hoja de Excel, la cual se tenía formulada con anterioridad. Los cálculos realizados fueron los que se presentan en la tabla 9.

Tabla 9

Cartera y cálculo de Aforo.

A Distancia a la orilla (m)	B Transepto (m)	C Profundidad (m)	D Profundidad promedio (m)	E Velocidad (m/seg.) Superficial	F Velocidad (m/seg.) Profunda	G Velocidad (m/seg.) Promedio	H Velocidad (m/seg.) Transecto	I CAUDAL (L/s)
Medida en campo	1	Altura de la lámina de agua	$=C1+C2/2$	Dato tomado con el molinete	Dato tomado con el molinete	$=F1+F2/2$	$=G1+G2/2$	$=H*D*B*1000$
Medida en campo	2	Altura de la lámina de agua	$=C2+C3/2$	Dato registrado con el molinete	Dato registrado con el molinete	$=F2+F3/2$	$=G2+G1/2$	$=H*D*B*1000$
CAUDAL TOTAL DEL PUNTO MONITOREADO=								ΣI

Nota: * Cartera con cálculos utilizados en campo para determinar el caudal en cada punto de monitoreo. Autor, 2018

En los puntos codificados V1CP y V2CP que corresponden a los vertimientos de las aguas de recambio, se realizaron 4 aforos con intervalos de tiempo de 1 hora, estableciendo

el volumen de cada alícuota para la composición de las muestras compuestas, lo anterior de acuerdo al procedimiento para la composición de una muestra compuesta establecida por el IDEAM (IDEAM, 2002).

3.3.2.2. Toma de muestras.

La metodología implementada en la toma de muestras y preservación de las mismas, se basó en el procedimiento que establece el IDEAM en la guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas, para lo cual se contó con los recipientes y reactivos necesarios suministrados por el laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S (Ver figura 6 y 7), en la tabla 10 se presenta el tipo de muestras tomadas en cada punto.

Tabla 10

Puntos de monitoreo y tipos de muestras realizadas

Municipio	Fuente hídrica	Punto de monitoreo	Tipo de muestreo
Restrepo-Meta	Caño Pilatos	P1 CP	Puntual
	Caño Pilatos	P2 CP	Puntual
	Vertimiento 1	V1 CP	Compuesta
	Vertimiento 2	V2 CP	Compuesta
	Caño NN	P1 CNN	Puntual

Nota: * Codificación de los puntos de monitoreos e identificación de las muestras realizadas en cada una, localizados en el tramo objeto de estudio. Autor, 2018



Figura 6. Recipientes y reactivos utilizados en las jornadas de monitoreo.

Fuente: Autor, 2018



Figura 7. GPS, Termómetro y otros materiales utilizados en las jornadas de monitoreos.

Fuente: Autor, 2018

3.3.2.2.1. Parámetros fisicoquímicos monitoreados.

En la tabla 11 se presentan los parámetros fisicoquímicos monitoreados, los cuales fueron seleccionados teniendo en cuenta los referentes bibliográficos respecto a la composición de los efluentes generados en estanques piscícolas y el objetivo de la presente investigación.

Tabla 11

Parámetros monitoreados en la fuente hídrica caño Pilatos y Caño NN

Municipio	Fuente hídrica	Punto de monitoreo	Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos monitoreados
Restrepo-Meta	Caño Pilatos	P1CP	Color aparente, Color Real 436 nm, Color Real 525 nm,
	Caño Pilatos	P2CP	Color Real 620 nm, D.B.O ⁵ , D.Q.O, Fósforo total,
	Vertimiento 1	V1CP	Nitratos, Nitritos, Nitrógeno amoniacal, Oxígeno
	Vertimiento 2	V2CP	disuelto, pH, Sólidos disueltos totales, Sólidos
	Caño NN	P1CNN	suspendidos totales, Temperatura, Turbiedad, Coliformes totales y coliformes fecales.

Nota: * Identificación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos monitoreados en las dos campañas de aforo. Autor, 2018



Figura 8. Fijación de oxígeno disuelto.

Fuente: Autor, 2018



Figura 9. Muestra compuesta vertimiento V2CP.

Fuente: Autor, 2018



Figura 10. Toma de muestras caño NN.

Fuente: Autor, 2018

3.3.2.3. Análisis de las muestras.

Respecto al análisis de todos los parámetros monitoreados, este estuvo a cargo del laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S., el cual se encuentra acreditado por el IDEAM de acuerdo a la resolución 1172 del 09 de junio del 2016. A continuación se presenta información referente al laboratorio.

Tabla 12

Información laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S

Nombre: TECNOAMBIENTAL S.A.S

NIT: 822.001.739-0

Contacto: Gonzalo Hernández Leal

Ciudad/Municipio: Villavicencio-Meta

Dirección: Transversal 27 N° 39 E-24, Barrio El Emporio

Teléfono: 57 (8) 6641235/ 6643618

Correo electrónico: tecnoamb2004@yahoo.com

Acreditación: Resolución inicial 1172 del 09 junio de 2016

Resolución de extensión 2889 del 30 de diciembre de 2016

Vigencia de acreditación: 17-06-2016 al 27-06-2020

Nota: Localización, identificación y representante legal del laboratorio Tecnoambiental S.A. el cual analizó las muestras, adaptado de “Instituto de Hidrología, meteorología y Estudios Ambientales”, por Montoya, C.; 2018.

Las técnicas analíticas empleadas para la determinación de las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos se presentan en la tabla 13.

Tabla 13

Parámetros monitoreados en los puntos de muestreo seleccionados.

Parámetro	Método de medida	Límite de detección	Unidad
Color aparente	SM 2120 B	-	UPC
Color Real 436 nm	ISO 7887:2012	-	M
Color Real 525 nm	ISO 7887:2012	-	M
Color Real 620 nm	ISO 7887:2012	-	m ¹
D.B.O -5 (+)	SM 5210 B	5	mg O ₂ /L
D.Q.O. (+)	SM 5220 D	15	mg O ₂ /L
Fosforo total (*)	SM 4500-P B D	0,1	mg P/L
Nitratos (+)	Salicilato de sodio /Rodier	0,5	mg N -NO ₃ /L
Nitritos (+)	SM 4500 NO ₂ B	0,02	mg N -NO ₂ /L
Nitrógeno amoniacal (+)	SM 4500 NH ₃ B, C	0,3	mg N -NH ₃ /L
Oxígeno disuelto (+) ¹	SM 4500 C	0,2	mg O ₂ /L
pH (+) ¹	SM 4500 H + B	N.A.	UN
Sólidos disueltos totales (*)	SM 2540 C	N.A.	mg/L

Tabla 13. Continuación.

Parámetro	Método de medida	Límite de detección	Unidad
Sólidos suspendidos totales (*)	SM 2540 D	10	mg/L
Temperatura (+) ¹	SM 2550 B	N.A.	°C
Turbiedad (+)	SM 2130 B	1	NTU
Coliformes totales- <i>Coliformes fecales</i> (+)	SM 92 23 B	1	NMP/100 ml

Nota: *Los métodos de análisis utilizados y la definición de los símbolos corresponden a **S.M.:** Standard Methods for the examination of water and Wastewater; **NTC:** Norma técnica Colombia; **EPA:** US Environmental Protection Agency; **N.A.:** No aplica.; **(+):** Parámetro acreditado por el IDEAM. **(*):** Reporte de laboratorio externo. ¹De acuerdo con el protocolo de toma de muestras estos parámetros deben medirse in situ, Adaptado de “Cotización N° 434-2017”, por Montoya, C.; 2018.

3.4. Tratamiento de datos

El tratamiento de los datos obtenidos en el desarrollo de la presente investigación se realizó en dos etapas. En la primera etapa, se calculó la carga contaminante adicionada por los vertimientos piscícolas del predio el Manantial, donde se analizó el comportamiento de dichas cargas de acuerdo a la composición de cada vertimiento, teniendo como referente el proceso productivo desarrollado. En la segunda etapa se describió el comportamiento de las concentraciones de los parámetros en los puntos P1CP y P2CP-aguas arriba y aguas abajo de los vertimientos -, estableciendo causa-efectos que los vertimientos generan en el tramo objeto de estudio en cada uno de los parámetros analizados.

No se aplicó estadística descriptiva, ya que la cantidad de datos obtenidos no cumple con el insumo necesario para aplicar una media, una varianza, una correlación o desviaciones (Vargas S, 1995).

3.4.1. Cálculo de cargas contaminantes.

A partir de los resultados obtenidos en los análisis de las muestras y los aforos realizados en las jornadas de monitoreo en época de lluvia y época seca en los puntos codificados como V1CP y V2CP, se procedió a calcular el valor de la carga contaminante para los parámetros de DBO₅,

DQO, SDT, SST, PT, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, Coliformes fecales y Coliformes totales.

Para el cálculo de dicha carga, se hizo uso de la fórmula de carga contaminante que se establece en el decreto 1076 del 2015, en su artículo 2.2.9.7.2.1 (MADS, 2015a). A continuación se relaciona la fórmula utilizada:

$$Cc = Q * C * 0,0036 * t$$

Donde;

Cc: Carga contaminante, en kilogramos por día (kg/día)

Q: Caudal promedio de aguas residuales, en litros por segundo (l/s)

C: Concentración del elemento, sustancia o compuesto contaminante, en miligramos por litro (m/l)

0,0036: Factor de conversión de unidades (mg/s a Kg/h)

t: Tiempo de vertimiento del usuario, en horas por día (h)

Es importante resaltar que para efectos del cálculo de las cargas contaminantes de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, la metodología establecida en el decreto 1076 del 2015 no es clara cuando hay rangos menores al mínimo detectable (<), por lo cual se utilizó el valor mínimo detectado para cada uno de los parámetros.

Para efectos del cálculo de la carga contaminante del vertimiento denominado V1CP fue necesario establecer la concentración de las sustancias aportadas netamente por los vertimientos laterales de los estanques piscícolas que lo componen, eliminando la concentración de las sustancias que presentaba la fuente hídrica aguas arriba. Lo anterior, se realizó mediante un balance de masas, teniendo en cuenta el caudal y concentración presentada en el punto denominado V1CP, así como el caudal del caño NN y su concentración aguas arriba de las descargas de los estanques piscícolas (punto de monitoreo denominado P1CNN).

Para dicho cálculo se hizo uso de la siguiente fórmula:

$$Cv = \frac{QAa. CAa - Qr. Cr}{Qv}$$

Dónde:

C_v = Concentración de la sustancia de interés en el vertimiento

Q_v = Caudal del vertimiento

C_r = Concentración de la sustancia de interés aguas arriba del vertimiento

Q_r = Caudal aguas arriba del vertimiento

C_{Aa} = Concentración de la sustancia de interés agua abajo del vertimiento.

Q_{Aa} = Caudal aguas abajo del vertimiento

Los resultados obtenidos en el balance de masa se presentan en el apéndice F.

3.4.2. Análisis de los resultados

3.4.2.1. Análisis de cargas contaminantes

Se realizó una comparación entre las cargas contaminantes calculadas para ambos vertimientos, V1CP y V2CP, para lo cual se tuvo en cuenta el comportamiento de los parámetros objeto de estudio para época seca y época de lluvia. De acuerdo con lo anterior, se graficaron los valores de la carga contaminante calculada con el fin de visualizar su comportamiento y las interrelaciones existentes entre parámetros.

3.4.2.2. Determinación de la calidad fisicoquímica y establecimiento de los impactos generados por los efluentes piscícolas

Con el objetivo de establecer los impactos que los efluentes piscícolas generan en el tramo objeto de estudio del caño Pilatos, se realizó una comparación de las concentraciones obtenidas para cada parámetro entre los puntos P1CP y P2CP, identificando las variaciones presentadas. Adicionalmente, se definieron los usos potenciales del recurso hídrico en cada punto de monitoreo de acuerdo con los valores máximos o mínimos señalados en los objetivos de calidad establecidos por Cormacarena para los diferentes usos de las fuentes hídricas priorizadas en el departamento del Meta. Es de aclarar que se tuvieron en cuenta los valores señalados en los artículos 2.2.3.3.9.3 al 2.2.3.3.9.10 del decreto 1076 del 2015 para los parámetros que no cuentan

con un nivel de referencia establecido en los objetivos de calidad. Cabe resaltar que también se determinó la calidad del agua con base en la categoría presentada por el MADS dentro de la metodología Mesoca para los parámetros de O.D y DBO₅ (MADV_T, 2006), así como la categoría establecida por la Comisión Nacional del Agua en México para DQO, SST y coliformes totales (CONAGUA, 2017). Finalmente, los parámetros que no cuentan con una categoría definida se analizaron a través de referencias bibliográficas.

3.4.2.3. Recomendaciones para mejorar o preservar la calidad de la fuente hídrica.

Las recomendaciones se establecieron de acuerdo a los análisis de los resultados obtenidos, teniendo en cuenta las cargas contaminantes adicionadas en mayor proporción y el efecto que estas presentaron sobre la fuente hídrica receptora, estas recomendaciones se realizaron de acuerdo a referentes bibliográficos exitosos en tratamiento de efluentes piscícolas e información secundaria suministrada por las autoridades ambientales a nivel nacional; con el fin de preservar y mejorar la calidad del agua de la fuente hídrica caño Pilatos. En el apéndice D se presenta el diagrama de flujo de la metodología utilizada.

4. Resultados y discusión

4.1. Descripción de la actividad piscícola desarrollada en el predio El Manantial

En el predio El Manantial se desarrolla el proyecto piscícola denominado “SINALOA”, el cual se destina al cultivo de Mojarra (*Oreochromis spp*) y Cachama (*Piaractus brachypomus*), amparado bajo permiso otorgado por parte de Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca – AUNAP- comisionado el señor Jaime Andrés Monroy Benavides (AUNAP, 2018). Este cuenta con 28 estanques construidos en tierra, los cuales presentan un área total en espejo de agua de 4,221 ha y se encuentran distribuidos en 4 series (ver apéndice C mapa 3), cada estanque presenta dimensiones y profundidades diferentes de acuerdo a su finalidad, las cuales varían entre 101 m² hasta 8.904 m² de espejo en agua, destinados al desarrollo del proceso productivo, las etapas que comprenden dicho proceso corresponde a las de pre-cría, cría, levante y engorde. El pescado producido se comercializa entero y sin eviscerar.

4.1.1. Generalidades de los insumos e infraestructura del proceso productivo.

En la actualidad, el predio y proyecto piscícola cuenta con permiso de concesión de aguas superficiales otorgado por Cormacarena. En la tabla 14 se presenta la identificación del trámite realizado por el dueño del predio ante la autoridad ambiental.

Tabla 14

Información general del proyecto piscícola.

Nº de expediente en Cormacarena:	3.37.2.3.015.010
Interesado/ Representante legal del predio:	Campo Elías López Ramírez
Comisionario del permiso de cultivo piscícola	Jaime Andrés Monroy Benavides
Nombre del predio:	El Manantial
Nombre de la empresa o cultivo	Sinaloa
Departamento	Meta
Municipio	Restrepo

Nota: Identificación del proyecto piscícola ante la autoridad ambiental del departamento del Meta. Adaptado de “CORMACARENA” por Montoya, C.; 2018.

A continuación se presentan los insumos e infraestructura necesaria para el desarrollo de la actividad piscícola:

Demanda del uso del agua: El proyecto piscícola cuenta con permiso de concesión de aguas superficiales otorgada mediante resolución PS-GJ.1.2.6.16.1223 del 01 de septiembre del 2016 por parte de la Autoridad Ambiental del Departamento del Meta, recurso hídrico a captar de la fuente hídrica superficial denominada caño Pilatos, por un caudal de 62,77 litros por segundos para uso doméstico y pecuario –piscícola- (CORMACARENA, 2017a); aunque en la actualidad el agua es utilizada única y exclusivamente para uso pecuario ya que para consumo humano y doméstico según manifiesta el señor Leo Vigildo Ramírez administrador del predio, la finca cuenta con servicio de acueducto prestado por la empresa de servicios públicos de Restrepo AGUA VIVA S.A.

El caudal otorgado para el predio y proyecto piscícola, está dada por el módulo de consumo para piscicultura, siendo este de 15 a 20 litros por segundo para 10,000 m² (CORMACARENA, 2009).

Respecto al sistema de captación de aguas del caño Pilatos, este se compone de una presa y una bocatoma lateral, la presa presenta contracción lateral doble y una rejilla de fondo localizada perpendicularmente a la dirección de la corriente del caño, la cual dirige las aguas hacia la bocatoma lateral, que posteriormente conduce el agua por un canal abierto sin revestimiento de una longitud aproximada de 100 metros hasta llegar a una represa utilizada como reservorio. Posteriormente, las aguas son conducidas a través de dos canales de concreto y distribuidas a cada estanque a través de tubos de dimensiones de entre 2 y 6 pulgadas según el tamaño del estanque.

Generación de aguas de recambio: Los vertimientos generados corresponden a las aguas de recambio de los estanques piscícolas, los cuales se vierten constantemente a la fuente hídrica superficial denominada caño NN y a un canal de tierra (ver apéndice C, mapa 3), que finalmente las conducen a la fuente hídrica superficial caño Pilatos. La composición de cada vertimiento se presenta a continuación:

a). Vertimiento 1: Está compuesto por las aguas de recambio generadas de los estanques piscícolas numerados del 21 al 28 en los cuales se desarrolla las etapas de levante y engorde, más las aguas de la fuente hídrica superficial denominada caño NN (Ver apéndice C, mapa 3).

b). Vertimiento 2: Está compuesto por las aguas de recambio generadas de los estanques numerados del 1 al 21 donde se desarrollan etapas de pre-cría, cría, levante y engorde (Ver apéndice C, mapa 3).

Respecto al sistema de evacuación del agua de los estanques, estos corresponden a estructuras de desagüe tipo mongue, los cuales se encuentran instalados en el lado opuesto al ingreso del agua y son utilizados para la salida de las aguas de recambio de cada estanque, el cual corresponde al 5% en los estanques de pre-cría y cría y a 10% en los estanques de levante y engorde -aunque en época de lluvias el recambio aumenta al 15%-, su evacuación es constante. No existe laguna de estabilización, sedimentación ni sistema de filtración para el tratamiento de los efluentes.

4.1.2. Proceso productivo piscícola.

Este contempla cuatro etapas: a). Pre-cría, b). Cría, c). Levante y d). Engorde, actualmente la etapa que mayor espejo de agua utiliza corresponde a la etapa de engorde, seguida de la de levante, cría y pre-cría, sin embargo, la que mayor cantidad de peces cultivados presenta es la etapa de pre-cría, seguida de la de engorde, cría y por ultimo levante.

A continuación se describe cada etapa del proceso productivo:

a). Etapa de pre-cría: Para el desarrollo de esta etapa, se cuenta con 8 estanques con un área total en espejo de agua de $1,116 \text{ m}^2$, en los cuales se tiene sembrados 111,600 alevinos de la especie Mojarra (*Oreochromis spp*). La etapa inicia con la siembra de larvas o alevinos con 1 o 2 días de nacidos, con un peso promedio entre 1 a 3 gramos, la densidad de siembra corresponde a 100 peces por m^2 en espejo de agua y durante los primeros 28 días de siembra, se realiza una reconversión de sexo, suministrando el producto denominado Agrinal Tilapia reversión; terminado este lapso de tiempo, se inicia con el suministro de alimento con un contenido proteínico del 45% hasta alcanzar el peso esperado -5 a 10 gr-. El suministro de alimento se realiza desde las 7 am hasta las 4 pm con una frecuencia de 2 horas. El recambio de agua realizado en los estanques en esta etapa corresponde a un 5% del volumen total diario.

A continuación, se presentan las fechas de siembra de las especies, la cantidad aproximada de alevinos y el área total de espejo en agua utilizada en la presente etapa, al igual que el registro fotográfico de los estanques.

Tabla 15

Características de los estanques de pre-cría.

Etapas de explotación	Nº de estanque	Área de espejo en agua (m ²)	Cantidad de peces sembrados	Fecha de siembra	Fecha de retiro	Especie cultivada
Pre-cría/ Alevinos	1	102	10.200	15/08/2017	15/10/2017	Mojarra
	2	102	10.200	15/08/2017	15/10/2017	Mojarra
	3	138	13.800	05/08/2017	05/10/2017	Mojarra
	4	134	13.400	04/08/2017	04/10/2017	Mojarra
	5	118	11.800	01/09/2017	01/11/2017	Mojarra
	6	144	14.400	01/09/2017	01/11/2017	Mojarra
	7	151	15.100	01/09/2017	01/11/2017	Mojarra
	8	227	22.700	31/07/2017	31/09/2017	Mojarra
Totales	8	1,116	111,600	-	-	-

Nota: * Identificación de los estanques, áreas, fechas de siembra y cosecha de las larvas sembradas que hacen parte de la etapa de pre-cría. Autor (2018)



Figura 11. Estanques de pre-cría

Fuente: Autor, 2018



Figura 12. Alevinos de la especie de Mojarra

Fuente: Autor, 2018

b). Etapa de cría: Después de que los alevinos presentan un peso entre 5 a 10 gramos, se proceden a trasladar las especies a los estanques donde se desarrolla la etapa de cría. En la piscícola se cuenta con 4 estanques destinados para tal etapa, con un área en espejo de agua de 5,083 m² y con 72,045 peces sembrados de la especie Mojarra (*Oreochromis spp*). El alimento se suministra 3 veces al día, desde las 8 am hasta las 3 pm y su contenido proteínico corresponde al

45% los primeros días y luego se cambia a un 38%. La densidad de siembra es de 15 peces por m^2 en espejo de agua, a excepción del estanque número 16 en el cual se presenta una densidad de 10 peces por cada m^2 , teniendo en cuenta que este estanque presenta un área menor (ver tabla 16), En estos estanques los peces permanecen por un tiempo aproximado de 4 a 5 meses. El recambio de las aguas de los estanques corresponde al 10%.

A continuación se presentan las fechas de siembra de las especies, la cantidad aproximada de peces sembrada y el área total de espejo en agua utilizada en la presente etapa, al igual que el registro fotográfico de los estanques.

Tabla 16

Características de los estanques de cría

Tipo de explotación	Nº de estanque	Área en espejo de agua (m^2)	Cantidad de peces	Fecha de siembra	Fecha de cosecha	Especie cultivada
Cría	16	840	8.400	10/09/2017	10/01/2018	Mojarra
	18	1.467	22.005	24/08/2017	24/01/2018	Mojarra
	19	1.389	20.835	09/05/2017	15/10/2017	Mojarra
	20	1.387	20.805	17/07/2017	17/12/2017	Mojarra
Totales	4	5.083	72.045	-	-	

Nota: * Identificación de los estanques, áreas, fechas de siembra y cosecha de los peces sembrados que hacen parte de la etapa de cría. Autor (2018).



Figura 13. Estanques de cría.

Fuente: Autor (2018)



Figura 14. Cultivo de mojarra etapa de cría.

Fuente: Autor (2018)

c). Etapa de Levante: Los alevinos con peso entre 50 a 60 gramos en promedio son distribuidos en los estanques destinados para la etapa de levante con una densidad de siembra de 3 a 4 peces por m^2 en espejo de agua, en el momento de realizar el estudio se encontraban

sembrados 32,032 peces de la especie de Mojarra (*Oreochromis sp*), aunque en el estanque numerados como 12 se realiza un cultivo combinado, donde se tiene sembradas las especies de Mojarra y Cachama. En estos estanques permanecen aproximadamente entre 7 a 9 meses, recibiendo alimento con un 38% de proteína al inicio y 30% al final de la etapa, el alimento se suministra 3 veces al día desde las 8 am hasta las 3 pm, obteniéndose peces para un engorde de 200 gramos. Para el desarrollo de esta etapa, la piscícola cuenta con 6 estanques, los cuales presentan áreas entre 1,005 y 1,808 m² en espejo de agua, para un total de 8,751 m² utilizados en la etapa de levante para el cultivo de 32,032 peces. Para el mantenimiento del agua se realiza un recambio del 10%.

A continuación se presentan las fechas de siembra de las especies, la cantidad aproximada de peces sembrada y el área total de espejo en agua utilizada en la presente etapa, al igual que el registro fotográfico de los estanques:

Tabla 17

Características de los estanques de levante

Tipo de explotación	Nº de estanque	Área en espejo de agua (m ²)	Cantidad de peces	Fecha de siembra	Fecha de cosecha	Especie cultivada
Levante	12	1.426	4.278	05/10/2017	05/05/2018	Mojarra y Cachama
	14	1.546	4.638	28/08/2017	28/04/2018	Mojarra
	17	1.467	5.868	30/06/2017	30/01/2018	Mojarra
	22	1.005	4.020	28/07/2017	28/03/2018	Mojarra
	27	1.808	7.232	28/05/2017	28/05/2018	Mojarra
	28	1.499	5.996	30/05/2017	30/05/2018	Mojarra
Total	6	8.751	32,032	-	-	-

Nota: * Identificación de los estanques, áreas, fechas de siembra y cosecha de los peces sembrados que hacen parte de la etapa de levante. Autor (2018)



Figura 15. Estanque N. 9 etapa de Levante.
Fuente: Autor (2018)



Figura 16. Estanque de levante.
Fuente: Autor (2018)

d). Etapa de Engorde: Después de que los peces presentan un peso de 200 gramos, se distribuyen en los estanques destinados para la etapa de engorde, con una densidad de 2 a 3 peces por m² en espejo de agua, en donde permanecen aproximadamente entre 5 a 12 meses, recibiendo alimento con un 24% de proteína, a excepción del estanque N°. 10 en el cual se suministra alimento con contenido de proteína al 30%, el alimento se suministra tres veces al día, obteniéndose peces para el comercio de 500 gramos. Para el desarrollo de esta etapa, la piscícola cuenta con 10 estanques, los cuales presentan un área total de 27,260 m² en espejo de agua utilizada en la etapa de engorde, para el mantenimiento del agua se realiza un recambio del 10%.

A continuación se presentan las fechas de siembra de las especies, la cantidad aproximada de peces sembrada y el área total de espejo en agua utilizada en la presente etapa.

Tabla 18

Características de la etapa de engorde

Tipo de explotación	N° de estanque	Área en espejo de agua (m ²)	Cantidad de peces	Fecha de siembra	Fecha de cosecha	Especie cultivada
Engorde	9	8.904	22.260	30/07/2017	15/11/2017	Mojarra y Cachama
	10	5.308	15.924	15/10/2017	15/02/2018	Mojarra
	11	3.289	9.867	15/03/2017	01/12/2017	Mojarra y Cachama
	13	1.388	4.164	14/08/2017	14/03/2018	Mojarra
	15	1.515	4.545	01/05/2017	01/12/2017	Mojarra
	21	1.151	3.453	05/05/2017	05/12/2017	Mojarra
	23	1.365	4.095	27/04/2017	27/11/2017	Mojarra
	24	1.372	4.116	03/08/2017	03/03/2017	Mojarra
	25	1.467	4.401	05/01/2018	05/01/2018	Mojarra
	26	1.501	3.002	28/10/2017	28/10/2017	Mojarra
Total	10	27.260	75.827	-	-	-

Nota: * Identificación de los estanques, áreas, fechas de siembra y cosecha de los peces cultivados que hacen parte de la etapa de engorde. Autor (2018)

4.2. Determinación de cargas contaminantes y análisis de concentraciones de parámetros en los puntos de monitoreo

4.2.1. Cargas contaminantes.

De acuerdo a la información obtenida en la fase I del presente documento respecto al proceso productivo y composición en términos de número de estanques, de peces cultivados y de

alimento suministrado que compone cada vertimiento (ver tabla 19), se asume que el vertimiento 2 es el mayor aportante de carga contaminante en el tramo objeto de estudio.

Tabla 19

Descripción de los estanques piscícolas relacionados con los vertimientos

Vertimiento	Cantidad de estanques	Área en espejo de agua (m ²)	Cantidad de peces	Alimento suministrado kg/día	Concentración de alimento en gr/m ² en espejo de agua
1	7	10.017	32.862	5,92	0,59
2	21	32.193	258.642	59,95	1,86
Totales	28	42.210	291.504	65,86	-

Nota: * Caracterización y composición de los dos vertimientos generados en la piscícola el Manantial. Autor (2018)

Partiendo de lo anterior, se procedió a realizar el análisis de las cargas contaminantes vertidas al caño Pilatos, por cada vertimiento en época de lluvia y época seca.

Los resultados obtenidos del cálculo de las cargas contaminantes se exponen en la tabla 20 - en el apéndice G se encuentra los datos utilizados-. Para efectos del análisis, las cargas se clasificaron en cuatro grupos, el primero de ellos corresponde a los parámetros relacionados con oxígeno, en segundo nutrientes, el tercer grupo hace referencia a las partículas presentes en el agua y se finaliza con los parámetros asociados a microorganismos; posteriormente se graficaron con el fin de visualizar su comportamiento y las interrelaciones existentes entre parámetros.

Tabla 20

Cargas contaminantes calculadas de los efluentes piscícolas del predio el Manantial asociadas al V2CP.

Parámetro	Época de lluvia			Época seca		
	Cc V1CP (kg/día)	Cc V2CP (kg/día)	Total Cc adicionada (kg/día)	Cc V1CP (kg/día)	Cc V2CP (kg/día)	Total Cc adicionada (kg/día)
D.B.O ₅	13,18	10,27	23,46	27,95	24,71	52,66
D.Q.O	47,53	51,36	98,90	27,67	87,87	115,53
SDT	15,69	30,82	46,51	64,75	121,64	186,38
SST	86,61	43,15	129,75	21,71	71,94	93,65
PT	1,43	0,68	2,11	0,46	0,74	1,20
Nitratos	1,32	1,03	2,35	0,55	0,82	1,38
Nitritos	0,05	0,04	0,09	0,04	0,05	0,09

Tabla 20. Continuación.

Parámetro	Época de lluvia			Época seca		
	Cc V1CP (kg/día)	Cc V2CP (kg/día)	Total Cc adicionada (kg/día)	Cc V1CP (kg/día)	Cc V2CP (kg/día)	Total Cc adicionada (kg/día)
Nitrógeno amoniaco	4,51	2,05	6,56	0,92	1,37	2,30
Coliformes fecales	4.473	2.260	6.733	5.824	2.287	8.111
Coliformes totales	162.264	48.940	211.205	63.688	66.437	130.126

Nota: Las cargas contaminantes se encuentran expresadas en kg/día a excepción de los microorganismo, los cuales están expresados como NMP/100mL. Fuente: Autor, 2018.

En la figura 17 se muestran las cargas contaminantes de DBO₅ y DQO calculadas para los vertimientos, se aprecia que en época de lluvia prevalecieron las cargas referentes a la demanda química destacando que el vertimiento V2CP presentó un mayor aporte para este parámetro - siendo mayor que el V1CP en un 8,05%-, por otra parte, el vertimiento V1CP presento mayor carga de demanda biológica de oxígeno, sobrepasando el valor calculado para el segundo vertimiento en 28,33%; las cargas acumuladas para esta época presentadas de mayor a menor fueron de 98,90 kg DQO/día y 24,71 kg DBO₅/día.

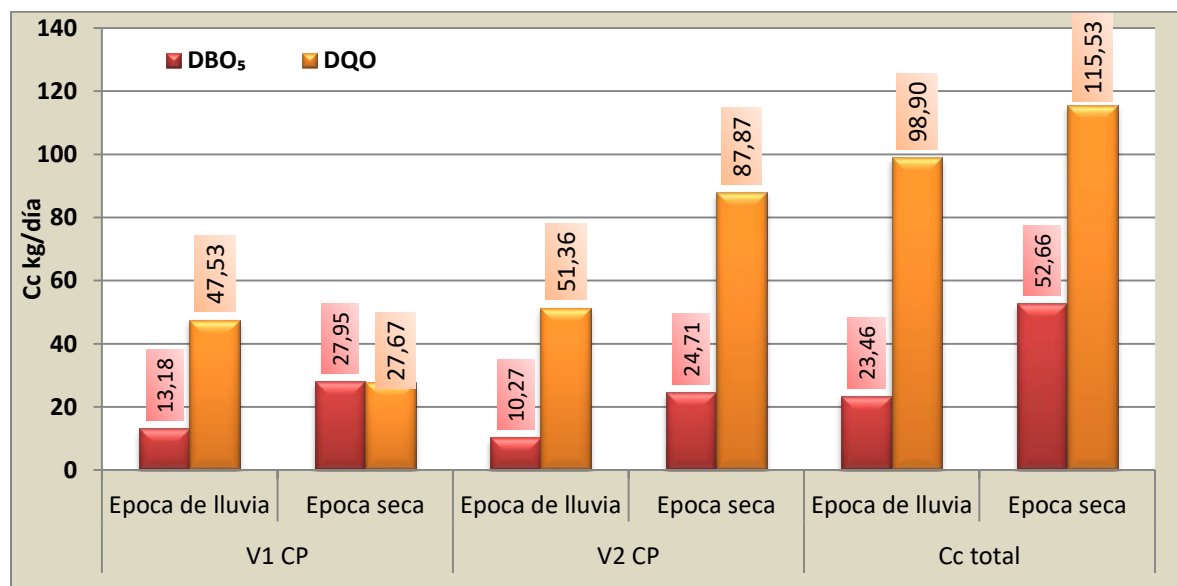


Figura 17. Cargas contaminantes de DBO₅ y DQO
Fuente: Autor (2018)

En cuanto a la época seca, se evidenció que la carga de DQO calculada para el V2CP fue considerablemente alta en relación con el resultado del primer vertimiento -siendo superior en más de 100%-; la carga de demanda biológica de oxígeno en el V1CP se presentó mayor que la del segundo vertimiento en 13,11%. Finalmente, la carga contaminante resultante de los afluentes piscícolas para época seca fue de 115,5 3 kg DQO/día – 52,66 kg DBO/día.

Al relacionar las cargas contaminantes acumuladas para cada época se puede considerar que los resultados más críticos se presentaron en la temporada seca debido a la mayor demanda química y biológica de oxígeno –superando en 16,81% y más de 100% respectivamente las cargas adicionales totales de la época de lluvia- lo cual da razón de un aporte más elevado de compuestos orgánicos biodegradables, esto puede estar relacionado con una menor dilución de estos contaminantes por la reducción de los caudales y por el aumento de temperatura en el agua que genera reducción de OD; se destaca el hecho de que las mayores cargas contaminantes totales fue la de demanda química de oxígeno.

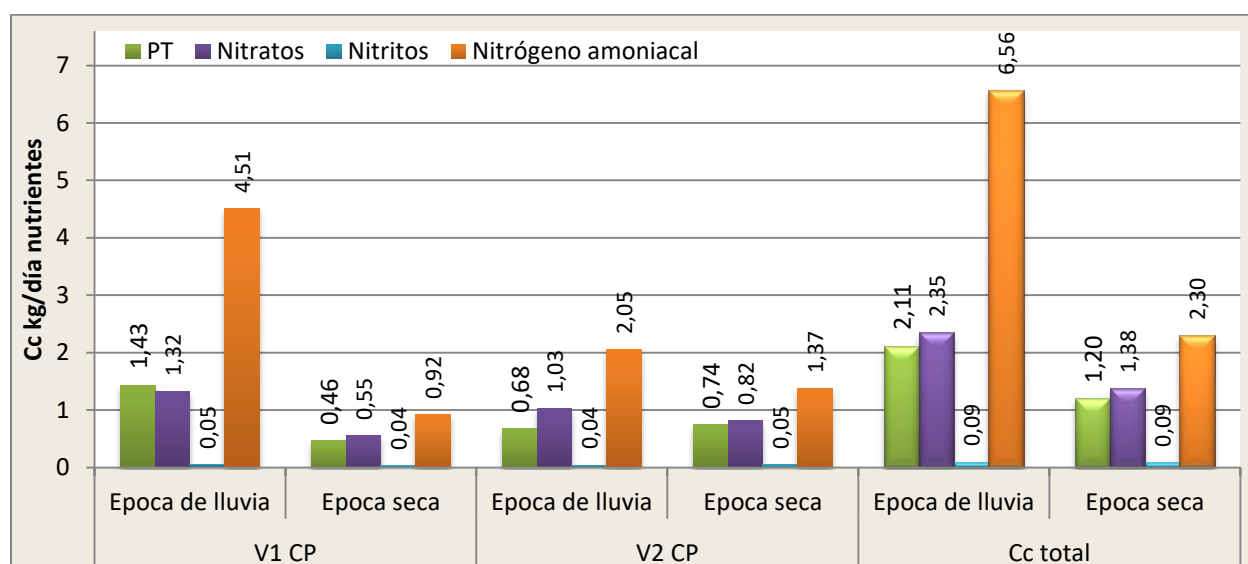


Figura 18. Cargas contaminantes de PT, nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal

Fuente: Autor (2018)

La figura 18 permite observar la variación de las cargas contaminantes de nitrógeno y fósforo de los V1CP y V2CP para cada época, a partir de esta es posible percibir la prevalencia de las cargas de nitrógeno amoniacal principalmente en el primer vertimiento, siendo superior en más de 100% en relación con el V2CP. Por otra parte, se destacan las cargas de nitritos por presentar

los valores más bajos para ambos vertimientos aunque no despreciables –mostrando excedencia de 25% el V1CP frente al segundo vertimiento-. Las cargas nitratos y fósforo –que tuvieron valores cercanos en comparación con los nitritos y nitrógeno amoniacal- fueron mayores en el primer vertimiento que en V2CP con diferencia de proporciones de 28,15% y más de 100% respectivamente. En términos generales, los valores de carga contaminante total para la época de lluvias son los siguientes: 2,11 kg PT/día – 2,35 kg Nitrato/día – 0,09 kg Nitrito/día – 6,56 kg Nitrógeno amoniacal/día.

Al igual que en temporada de lluvia, la época seca expone mayores cargas de nitrógeno amoniacal –destacando que el primer vertimiento sobrepasa en 52,22% la carga de V2CP- y menores valores de nitratos –siendo nulos en V1CP-. Los resultados de nitratos y fósforo se difieren con respecto a lo obtenido en la época de lluvia puesto a que para la temporada seca las cargas en el V1CP fueron inferiores en comparación con las del segundo vertimiento con una diferencia porcentual de 48% y 36,66% respectivamente. En cuanto a la determinación de las cargas acumuladas se obtuvo lo siguiente: 1,20 kg PT/día – 1,38 kg Nitratos/día – 0,09 kg Nitritos/día – 2,30 kg Nitrógeno amoniacal/día.

Finalmente se puede afirmar que la mayor carga presentada en cuanto a nutrientes fue la de nitrógeno amoniacal para ambas épocas, sin embargo, la temporada de lluvias mostró valores superiores –más de 100% en relación con la época seca- lo cual puede asociarse al aumento del porcentaje de las aguas de recambio en los estanques piscícolas para esta época, generando resuspensión de partículas de arcilla en las cuales se aloja el nitrógeno en forma del compuesto en mención. Por otra parte, los resultados de nitritos para ambas épocas fueron bajos y se encuentran en condiciones normales conforme a lo mencionado en el estudio de Rosas, (2001) para aguas superficiales. Como panorama general las cargas de compuestos nitrogenados y de fósforo podrían estar relacionadas con el alimento no consumido por los peces –aproximadamente un 9% según González, (2015), así como a las excretas corporales y heces, presentándose mayor susceptibilidad de afectación en época de lluvia –en la que se presentaron las mayores cargas para todos los parámetros en mención.

En la figura 19 se ilustra el comportamiento de las cargas contaminantes de SDT y SST generados por los efluentes piscícolas. En esta se aprecia que las cargas de SDT presentan mayor carga en época seca vs época de lluvia, excediendo su valor en más del 100% (186,38 kg/día vs 46,51 kg/día), siendo el mayor aportante de esta carga el vertimiento V2CP con un 88% por

encima de la carga generada en el vertimiento V1CP (121,64 kg/día vs 64,7 kg/día). Dicho comportamiento podría asociarse con la cantidad de alimento suministrado en los estanques que componen cada vertimiento y la cantidad de peces sembrados -presentando mayor cantidad de peces y alimento suministrado el vertimiento V2CP, ver tabla 19-. Lo anterior, teniendo como premisa lo indicado por González, (2015) respecto al % de alimento que es ingerido por los peces y el % de alimento que queda suspendido en la columna de agua del estanque, siendo este último el 9%, aparte del contenido de las excreciones metabólicas y de las heces de los peces.

Por otro lado, la carga contaminante generada de SST muestra un comportamiento inverso al de la carga de SDT, presentando sus niveles más altos en época de lluvia respecto a la época seca, excediéndola en un 38,54% (129,75 kg/día época lluvia vs 93,65 kg/día época seca). Siendo el mayor aportante el vertimiento V1CP en época de lluvia con un 100% por encima del generado en el vertimiento V2CP. Lo anterior podría relacionarse no solo al aporte de los SST generados por los efluentes piscícolas sino también a los posibles SST resuspendidos por efectos de erosión y turbulencia del caño NN -el cual compone el vertimiento en mención-.

Los valores críticos de las cargas contaminantes generadas de los estanques corresponden a 186,38 kg/día de SDT en época seca y a 129,75 kg/día de SST en época de lluvia.

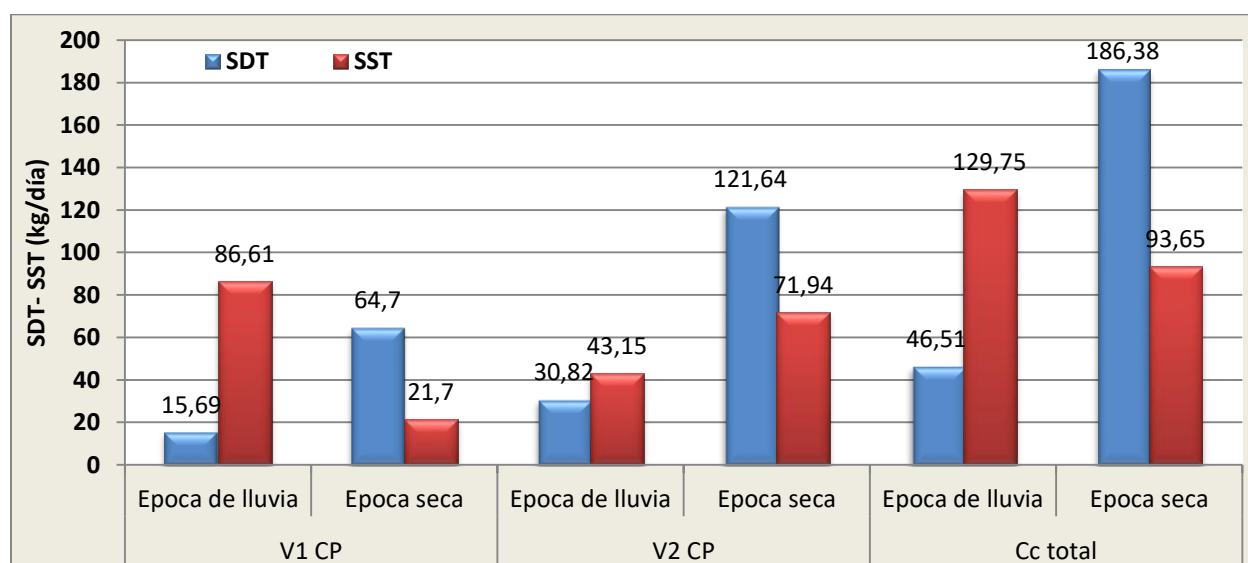


Figura 19. Cargas contaminantes de SDT y SST

Fuente: Autor (2018)

La figura 20 presenta el comportamiento de las cargas contaminantes asociada a coliformes totales y fecales, donde se evidencia que en los vertimientos V1CP y V2CP en época seca como época de lluvia la carga contaminante que prevalece en mayor magnitud corresponde a la de coliformes totales, excediendo a la carga contaminante acumulada de coliformes fecales en más del 100%. Este comportamiento se asocia a la reproducción de dichos microorganismos, teniendo como premisa que los coliformes totales pueden encontrarse de forma natural en aguas, suelos o vegetación según lo indicado por Murrell, Rojas, Romeu, Rojas, & Heydrich, (2013)-, caso contrario, con los coliformes fecales, los cuales se presentan solo si existe una contaminación por heces de animales de sangre caliente (Murrell et al., 2013), por lo que se explicaría la diferencia tan significativa de las cargas presentadas.

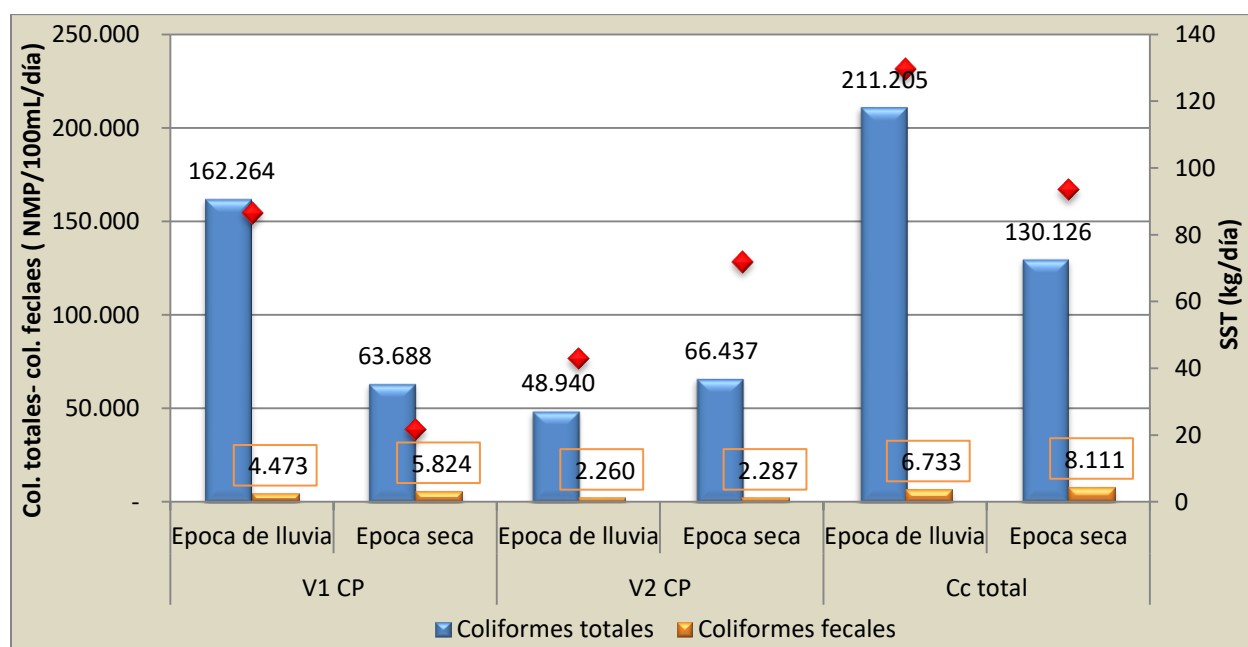


Figura 20. Cargas contaminantes de coliformes

Fuente: Autor (2018)

En términos de mayor aportante de cargas contaminantes en época de lluvia de coliformes totales, el vertimiento V1CP sobrepasó en más del 100% a la carga generada en el V2CP, asociando dicho comportamiento a la carga contaminante de sólidos suspendidos presentes en la columna del agua (ver figura 20), los cuales podrían aumentar la turbiedad de la masa del agua, reduciendo el efecto bactericida de la luz, además de servir como sustrato para estos

microorganismos (Vivas, Marko, & Espinosa, 2011). Por otro lado, en época seca el mayor aportante corresponde al vertimiento V2CP, con un 4% de excedencia del vertimiento V1CP.

El comportamiento de las cargas contaminantes de coliformes fecales ubica al V1CP como mayor generador de cargas (97% en época de lluvia y más del 100% en época seca) respecto al V2CP.

Respecto a los escenarios críticos, estos se presentaron en ambos niveles de pluviosidad siendo en época de lluvia la carga de coliformes totales (211,205 kg/día) mayor y en época seca el valor para la carga de coliformes fecales con 8,111 kg/día.

En términos generales, la estimación de las cargas contaminantes adicionadas por los efluentes piscícolas en orden de magnitud descendente fueron: coliformes totales 211.204,77 (NMP/100mL)/día, coliformes fecales 8.111,40 (NMP/100mL)/día, SDT 186,38 kg/día, SST 129,75 kg/día, DQO 115,53 kg/día, DBO5, O.D 22.16 kg/día, nitrógeno amoniacal 6,58 kg/día, nitratos 2,35 kg/día, fósforo total 2,11 kg/día y nitritos 0,09 kg/día. Los valores anteriormente mencionados corresponden a los escenarios más críticos, sin tener en cuenta la época en la que se midieron.

Al respecto, se destaca que las cargas más altas son las de aquellos parámetros que hacen referencia a la presencia de microorganismos, seguido de los sólidos y posteriormente aquellos relacionados con la presencia de materia orgánica.

4.2.2. Determinación de la calidad fisicoquímica y establecimiento de los impactos generados por los efluentes piscícolas

En la tabla 21 se presentan los resultados obtenidos en los monitoreos realizados en época de lluvia y época de seca.

Tabla 21

Resultados de los monitoreos en términos de concentraciones, caudal, pH y temperatura

Parámetro	Unidad de medida	Época de lluvia				Época seca			
		Punto de muestreo				Punto de muestreo			
		P1 CP	V1CP	V2 CP	P2 CP	P1 CP	V1 CP	V2 CP	P2 CP
Caudal (Q)	L/s	501,9	30,58	23,78	865,5	288,4	21,35	31,78	281,9
Temperatura	°C	22,6	22,6	22,5	23	23,4	22,6	23,3	24
pH	UN	6,75	6,71	6,54	6,8	7,03	6,87	6,83	7,15

Tabla 21 Continuación.

Parámetro	Unidad de medida	Época de lluvia				Época seca			
		Punto de muestreo				Punto de muestreo			
		P1 CP	V1CP	V2 CP	P2 CP	P1 CP	V1 CP	V2 CP	P2 CP
Color aparente	UPC	5	30	40	10	9	25	70	20
Color real 436 nm	m ⁻¹	0,1	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,5	0,4
Color real 525 nm	m ⁻¹	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,25
Color real 620 nm	m ⁻¹	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,13
Turbiedad	NTU	3,5	15	15	7,2	1	15	20	8,95
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	6,6	6	3,6	6,5	7,3	3,53	5,9	5,5
D.B.O ₅	mg O ₂ /L	5	5	5	5	5	15	9	6
D.Q.O	mg O ₂ /L	15	18	25	15	15	15	32	21
SDT	mg/L	9	6	15	6	34	35	44,3	45,22
SST	mg/L	3	33	21	5,2	47	12	26,2	44,99
PT	mg P/L	0,07	0,54	0,33	0,06	0,5	0,25	0,27	0,18
Nitratos	mg N-NO ₃ /L	0,4	0,50	0,50	0,3	0,3	0,30	0,3	0,3
Nitritos	mg N-NO ₂ /L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Nitrógeno amoniacal	mg N-NH ₃ /L	0,5	1,71	1	0,5	0,5	0,50	0,5	0,5

Nota: * Los resultados presentados corresponden a los valores obtenidos en los monitoreos realizados en la fuente hídrica objeto de estudio, sin embargo los valores expresados en el V1CP es el resultado obtenido después de realizar el respectivo balance de masa. Autor, 2018

Para la determinación de la calidad de la fuente hídrica en el tramo objeto de estudio, se graficaron las concentraciones obtenidas de los parámetros fisicoquímicos. Sobre las gráficas se representaron valores máximos o mínimos señalados en los objetivos de calidad establecidos por Cormacarena para los diferentes usos de las fuentes hídricas priorizadas en el departamento del Meta (ver tabla 2) los cuales estarán precedidos por la sigla “AA”, para aquellos parámetros que no presentan valor de referencia se hizo uso de los valores establecidos en los artículos 2.2.3.3.9.3 al 2.2.3.3.9.10 del decreto 1076 del 2015, los cuales estarán identificados con el número del artículo de donde se sustrajo el valor. Lo anterior, con el fin de identificar visualmente concentraciones superiores o inferiores a los valores permisibles y fluctuaciones de las concentraciones de los puntos P1CP y P2CP, estableciendo el uso potencial y el impacto sobre el recurso hídrico después de recibir las descargas de la piscícola.

Las temperaturas registradas en la época de lluvia oscilaron entre 22,6 y 23,4 °C y en época seca entre 23 y 24°C encontrándose normales para las condiciones naturales de una fuente

hídrica (Beita Sandí, 2008). Los valores registrados de pH presentaron para época de lluvia condiciones ácidas y para época seca condiciones básicas.

Respecto al color aparente, este se representa en la figura 21, en la cual se observa que en época de lluvia este parámetro aumenta en un 50% en el P2CP respecto al punto P1CP y en época seca en más del 100%, reflejando una relación directamente proporcional con la turbidez, tal como se observa en la figura en mención. De acuerdo a lo anterior, este comportamiento puede estar asociado al contenido de material suspendido y disuelto que presentan los vertimientos en los efluentes piscícolas y que son descargados en la fuente estudiada (Martínez & Osorio, 2018; M. Sánchez, 2013), presentándose crítico en época de estiaje en donde la fuente hídrica presenta una menor capacidad de dilución (CORPOGUAVIO, 2010).

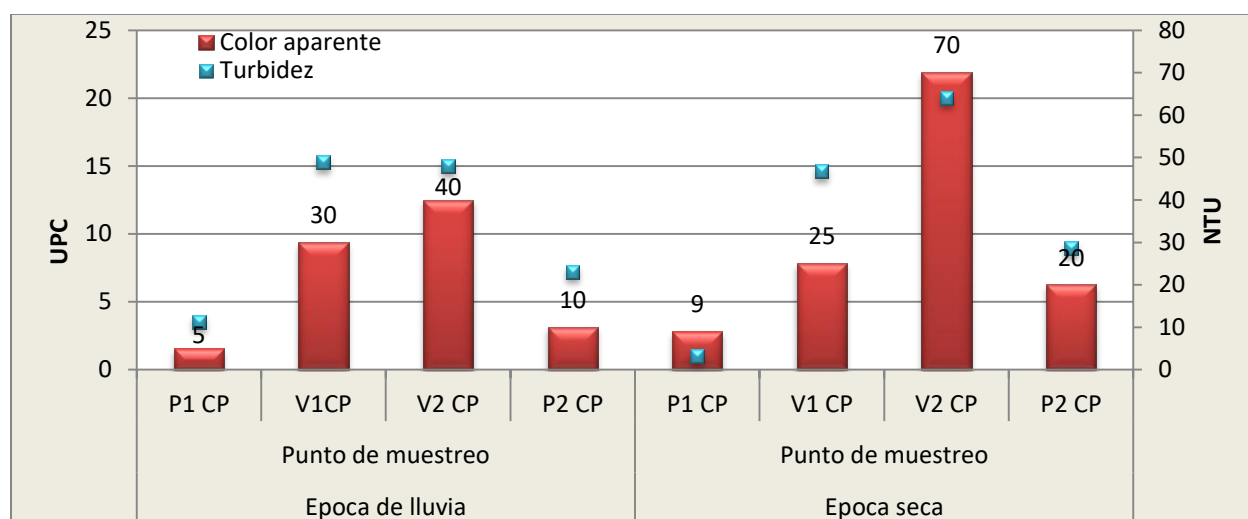


Figura 21. Variación del color aparente

Fuente: Autor (2018)

El color real del agua tanto para época seca como para época de lluvia se representa en las figuras 22 y 23, en ellas se observa que la longitud de onda que mayor absorbancia presenta en cada punto monitoreado corresponde a la de 436 nm, seguida de la 525 nm y por último la de 620 nm, evidenciándose una absorbancia mayor en los vertimientos y un aumento en el punto P2CP –después de recibir las descargas de los efluentes- respecto al punto P1C, presentando un comportamiento similar al obtenido en el color aparente. De acuerdo a la longitud de onda que mayor absorbancia presenta se puede afirmar que la masa de agua evaluada absorbe un color

azul-violeta y refleja una tonalidad amarilla al ojo del ser humano de acuerdo a lo descrito por González & Hernández (citado en Martínez & Osorio, 2018).

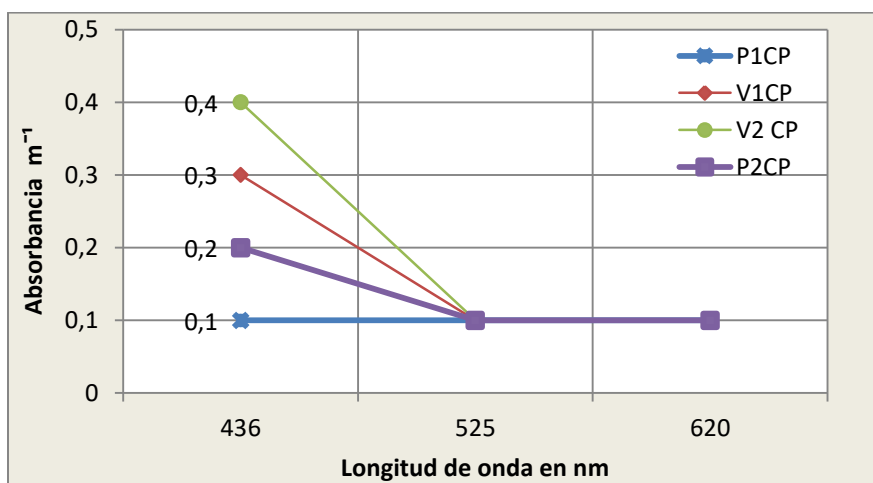


Figura 22. Variación del color real en época de lluvia

Fuente: Autor (2018)

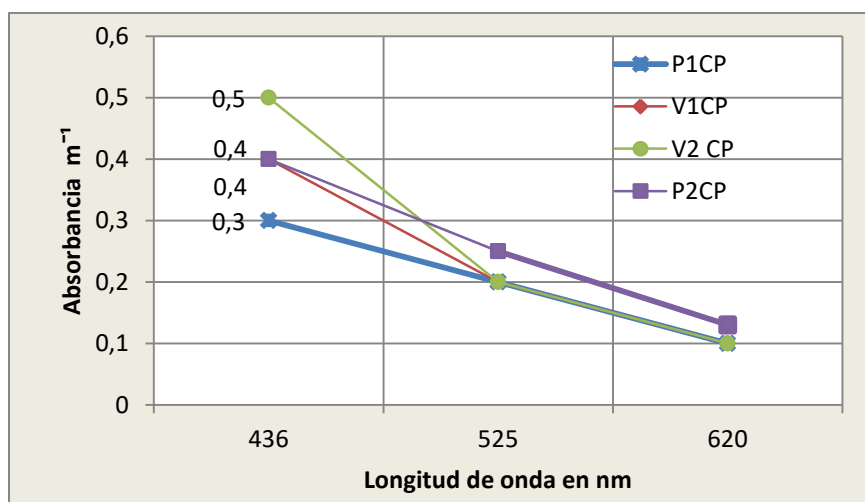


Figura 23. Variación del color real en época seca

Fuente: Autor (2018)

La figura 24 muestra la variación de las concentraciones del O.D en los puntos monitoreados, se observa que en época de lluvia y época seca, esta tiende a disminuir en el punto P2PC respecto al punto P1CP (1% en época de lluvia y 32,72% en época seca), lo cual se puede asociar como consecuencia de los vertidos de los efluentes piscícolas, basados en la concentración de DBO_5 que estos presentan para la época seca, teniendo como premisa que la degradación y

transformación de materia orgánica y nutrientes, trae como resultado una disminución en el oxígeno disuelto (Raffo Lecca & Ruiz Lizama, 2014; Torres, 2009).

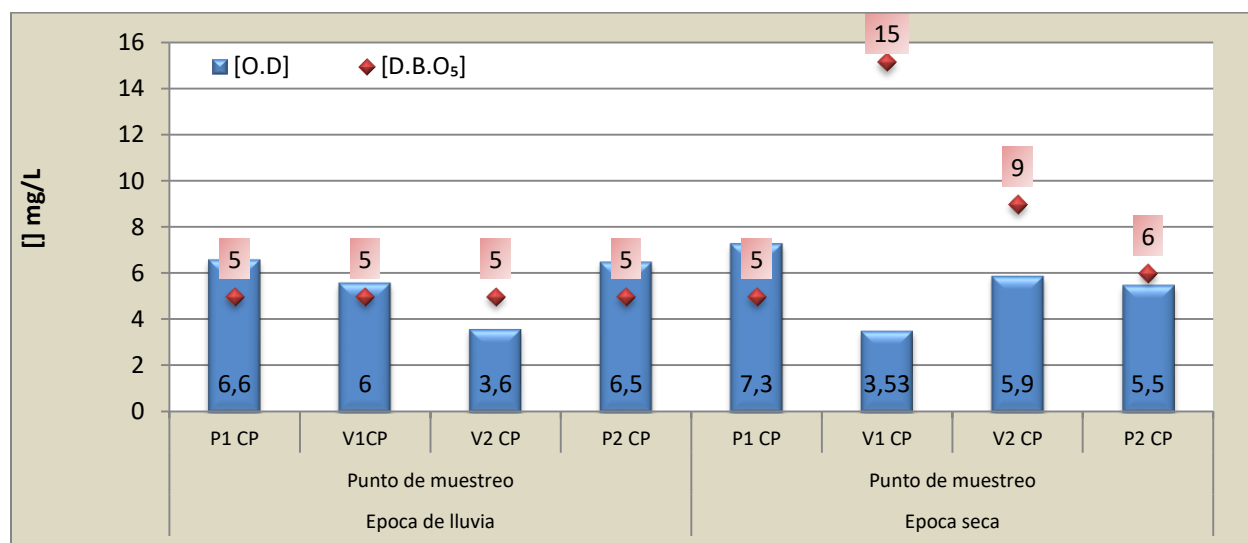


Figura 24. Variación de las concentraciones del Oxígeno disuelto
Fuente: Autor (2018)

Lo anterior se soporta en la clasificación establecida dentro de la metodología Mesoca, donde la calidad del agua en época de lluvia se considera como buena para ambos puntos, sin embargo para época seca pasa de considerarse como excelente (>7) a buena ($4 < \text{O.D.} \leq 7$) (MADVT, 2006) después de recibir las descargas de los efluentes piscícolas.

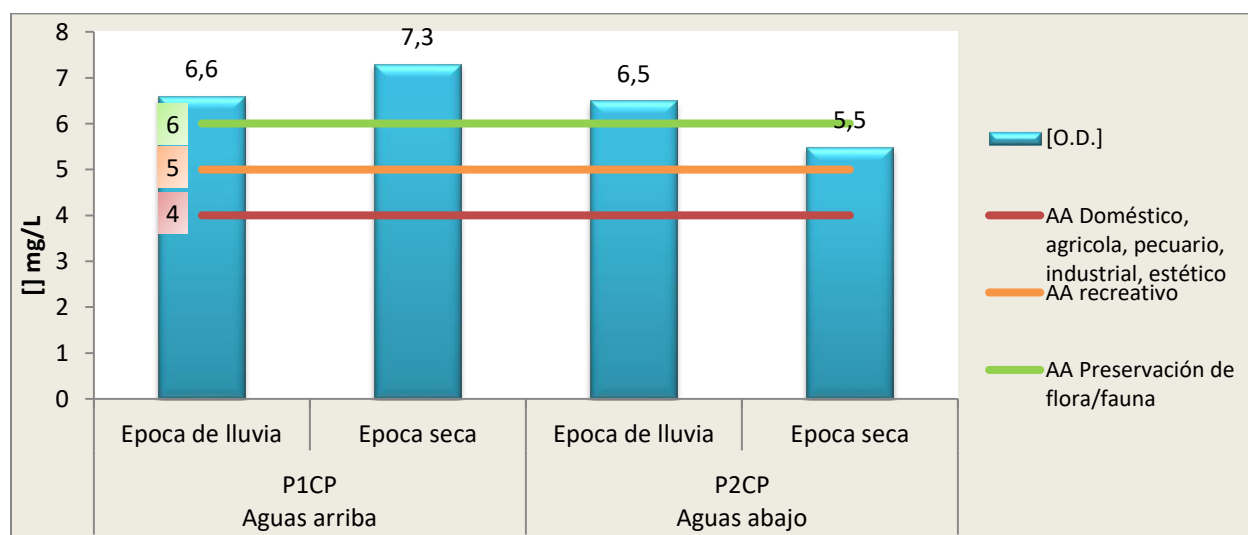


Figura 25. Usos potenciales del recurso hídrico en los puntos P1CP y P2CP con respecto al O.D.
Fuente: Autor (2018)

Adicionalmente, en la figura 25, se contrastan las concentraciones de O.D presentes en los P1CP y P2CP en época seca y época de lluvia, con los límites establecidos por la autoridad ambiental para diferentes usos del recurso hídrico, en ella se observa que el tramo en ambos puntos presenta condiciones óptimas para el desarrollo de todos los usos planteados, a excepción del punto P2CP en época seca, ya que la concentración de O.D. se presenta por debajo del valor establecido para la preservación de flora y fauna, por lo que se descarta este uso en el tramo.

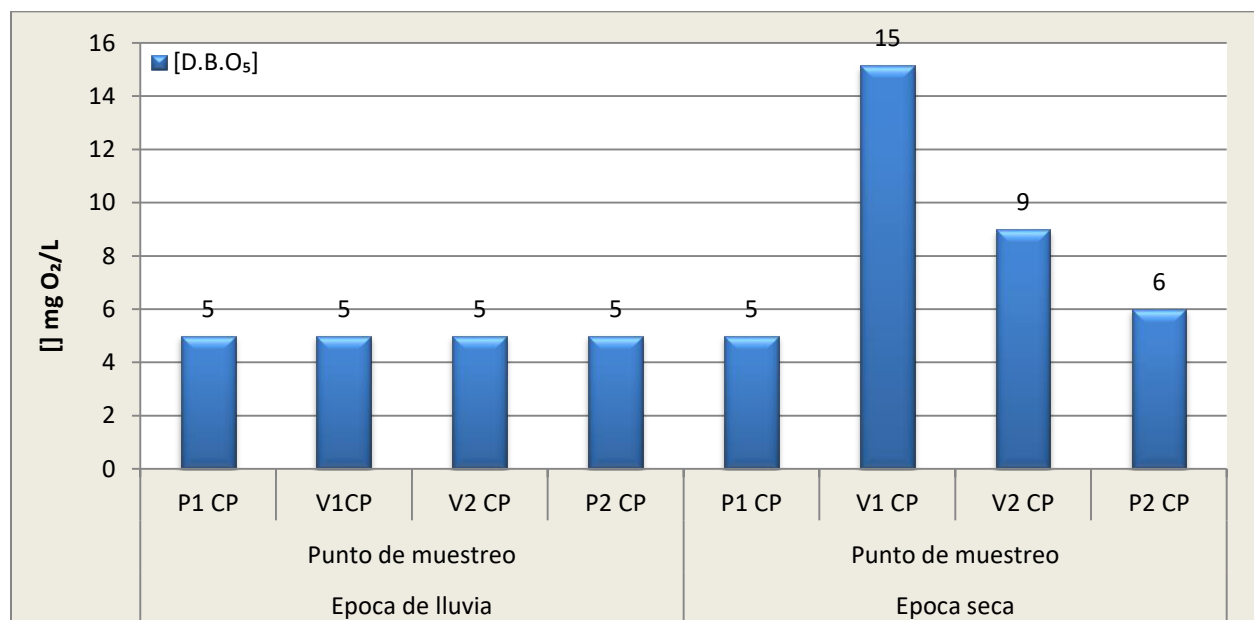


Figura 26. Variación de las concentraciones de la DBO₅

Fuente: Autor (2018)

En la figura 26 se observa las concentraciones registradas para DBO₅, donde se destaca que en época de lluvia los niveles se mantuvieron constantes, Sin embargo, para la época seca se evidencia un aumento del 20% en el punto aguas abajo con respecto al punto P1CP. Lo anterior puede estar asociado a una afectación de la calidad del agua por adiciones de materia orgánica, resultado de los efluentes generados en la actividad piscícola; esta suposición se basa en el cálculo de las cargas contaminantes de los vertimientos para dicho parámetro y en las concentraciones que estos presentaron, donde igualmente se evidencia valores mayores en época seca; así mismo se soporta de acuerdo a la clasificación propuesta en la metodología Mesoca, donde la calidad del agua de este tramo pasa de catalogarse de dudosa - 5 mg/L- a mala calidad - 10 mg/L- (MADVT, 2006).

Adicionalmente, en la figura 27 se presentan los usos potenciales del recurso hídrico respecto a las concentraciones de DBO_5 en los puntos P1CP y P2CP, donde se obtuvo que estos son aptos para todos los usos propuestos por la autoridad ambiental -de mayor a menor 30, 15 y 5 mg/L- a excepción del punto P2CP en época seca en el cual la concentración registrada sobrepasa el valor exigido por la autoridad ambiental.

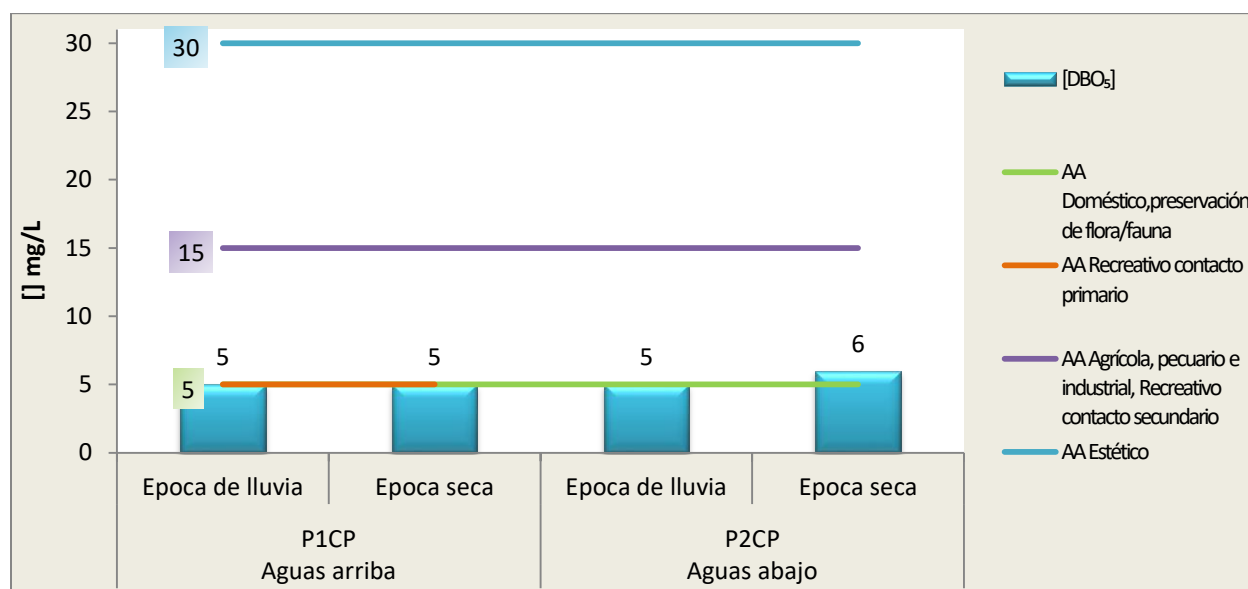


Figura 27. usos potenciales del recurso hídrico en los puntos P1CP y P2CP, con respecto a la DBO_5

Fuente: Autor (2018)

Los resultados de las concentraciones de DQO para época seca y época de lluvia se muestran en la figura 28, en la cual se observa que en época de lluvia las concentraciones de DQO se mantienen constantes entre los puntos P1CP y P2CP. Sin embargo, para la época seca –donde el caudal de la fuente hídrica disminuye- la concentración de DQO presenta un aumento del 40% del punto P1CP al punto P2CP, por lo que se podría asociar a la presencia de materia orgánica adicionada por los vertimientos de los efluentes piscícolas, los cuales son mayores en época seca y donde el factor de dilución de la fuente hídrica disminuye (CORPOGUAVIO, 2010), este comportamiento es similar al que se presenta con las concentraciones de DBO_5 reflejando la existencia de la relación teórica existente entre estos dos parámetros (Rodier, 2010).

Según la escala de clasificación de CONAGUA, (2017), la calidad del agua en época de lluvia y época seca se consideró como buena aguas arriba de los vertimientos ($10 < \text{DQO} \leq 20$) y como

aceptable aguas debajo de los vertimientos ($20 < \text{DQO} \leq 40$). Presentando una disminución de categoría en calidad.

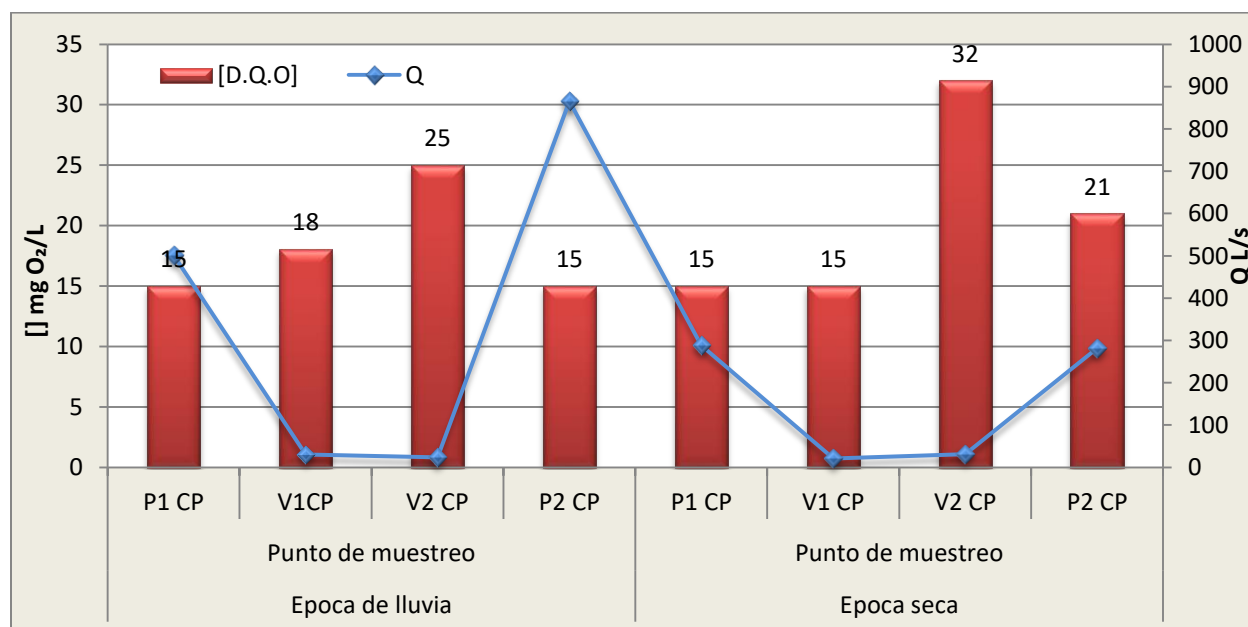


Figura 28. Variación espacial de las concentraciones de la DQO

Fuente: Autor (2018)

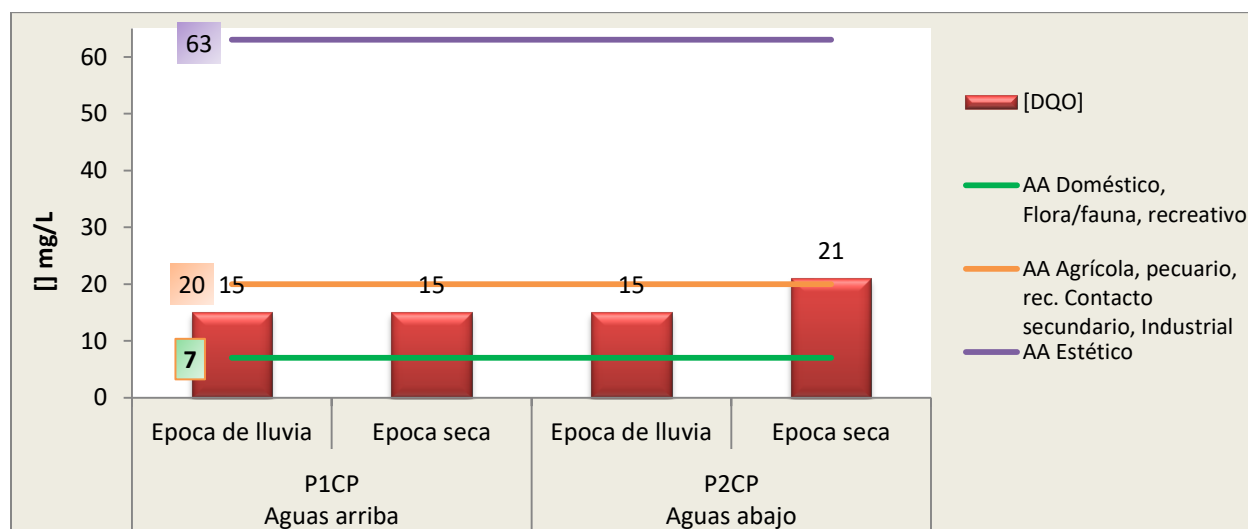


Figura 29. Usos potenciales del recurso hídrico en los puntos P1CP y P2CP, con respecto a la DQO

Fuente: Autor (2018)

Respecto al uso potencial del agua – establecidos por la Autoridad Ambiental- se evidenciaron concentraciones óptimas en época de lluvia para uso agrícola, pecuario, recreativo

contacto secundario, industrial y estético y no apto para uso doméstico, preservación de flora y fauna y recreativo contacto primario (ver figura 29), sin embargo, teniendo en cuenta que en época seca se presenta el escenario más crítico para el presente parámetro, se descartan los usos agrícola, pecuario, recreativo contacto secundario e industrial, ya que la concentración presentada supera los valores mínimos de concentración establecidas para estos usos.

Seguidamente en la figura 30 se muestra el comportamiento de las concentraciones de SST y SDT en los puntos P1CP y P2CP, donde se evidencia un aumento de más de 100% en las concentraciones registradas de ambos parámetros en época seca respecto a la época de lluvia, siendo este el escenario más crítico. Este comportamiento puede asociarse a la capacidad de dilución que presenta la fuente hídrica en época seca respecto a la descarga de los efluentes piscícolas, los cuales presentan una adición considerable de SDT, donde dicha capacidad disminuye en época seca por menor volumen de agua (CORPOGUAVIO, 2010).

La concentración de SDT en época de lluvia presentan una disminución del P1CP al P2CP de 33,33%, esta reducción puede estar relacionada al factor de dilución propia de la fuente hídrica, que en época de lluvia es mayor (CORPOGUAVIO, 2010), por lo que es posible deducir que el aporte de los vertimientos no genera un aumento en las concentraciones para el punto P2CP en términos de SDT. Los niveles de SST aumentaron del punto P1CP al P2CP en 73,33 %, posiblemente como consecuencia de los fenómenos de erosión por el mayor flujo turbulento tanto en el caño Pilatos como en el caño NN en esta misma época (L. D. Sánchez & Viáfara, 2014).

Por otro lado, para la época seca los SDT presentaron un aumento de 33 % en el punto P2CP respecto al punto P1CP, lo cual puede relacionarse con el factor de dilución de la fuente hídrica, (CORPOGUAVIO, 2010), igualmente, al revisar las cargas aportadas por los vertimientos, es notorio que la carga es mayor en época seca que en época de lluvia aumentando la posibilidad de que dicho efecto sea generado por los aportes de estos efluentes. Los SST presentaron una disminución de 4 % del P2CP al P1CP, posiblemente por la reducción de fenómenos de erosión y la precipitación de las partículas en época seca (L. D. Sánchez & Viáfara, 2014). De acuerdo con la categorización ofrecida por CONAGUA, (2017) la calidad del recurso en época de lluvia en ambos puntos es excelente ($SST \leq 25$) y en época seca es buena ($25 \leq SST \leq 75$).

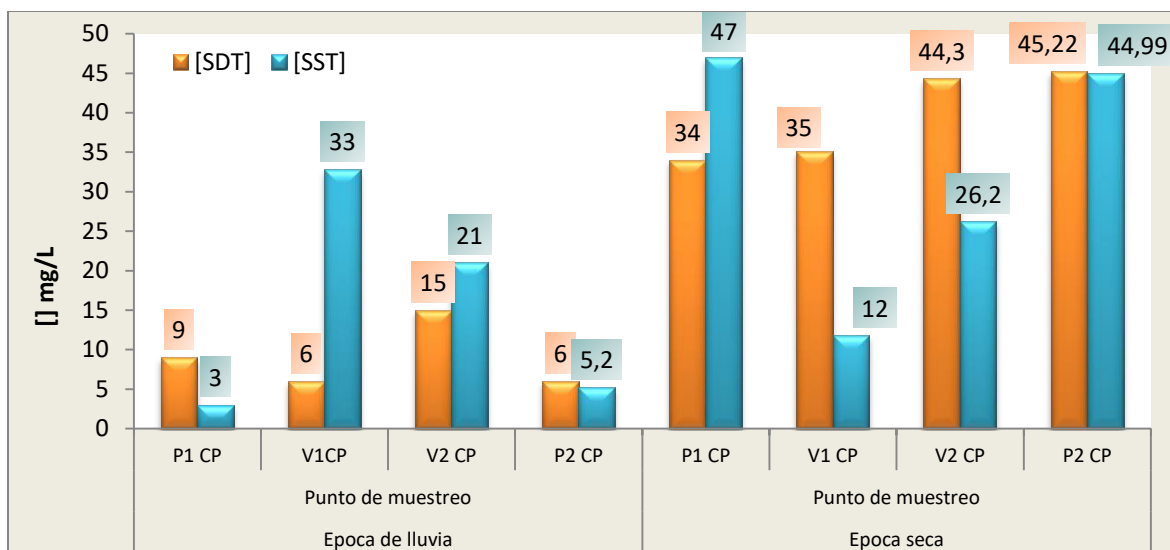


Figura 30. Variación de las concentraciones de SDT y SST

Fuente: Autor (2018)

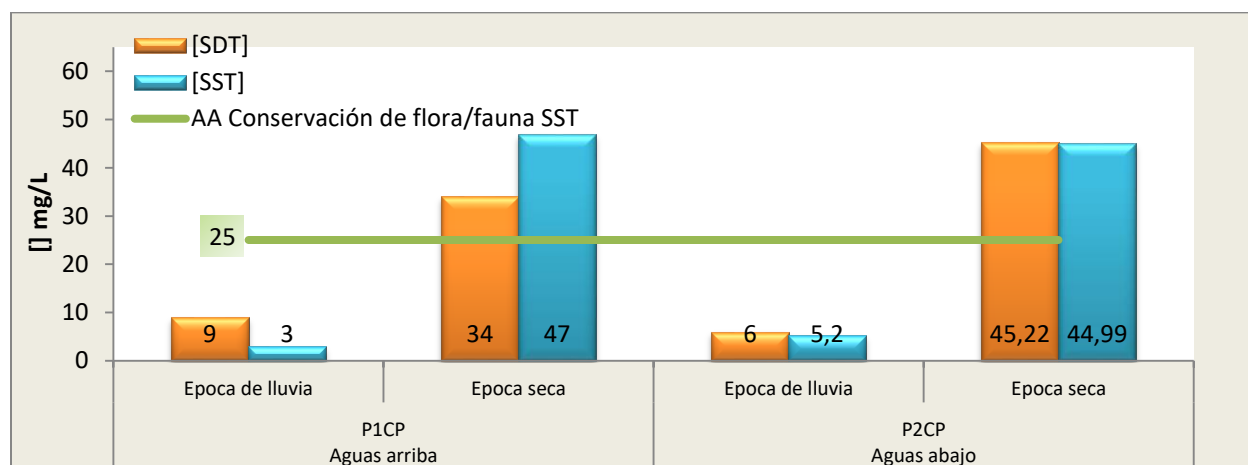


Figura 31. Usos potenciales del recurso hídrico en los puntos P1CP y P2CP, con respecto a los SST

Fuente: Autor (2018)

Respecto a los usos potenciales que presenta el tramo aguas arriba (P1CP) y aguas abajo (P2CP) de los vertimientos piscícolas respecto a las concentraciones de SDT y SST, estos se muestran en la figura 31, donde se observa que las concentraciones de SST presentaron para época de lluvia valores por debajo del límite establecido por la autoridad ambiental para uso de preservación de flora y fauna, no obstante, para época seca estas concentraciones superaron sustancialmente dicho valor, por lo cual se descarta el este uso para el tramo objeto de estudio teniendo como referente el escenario más crítico. Particularmente para los SDT no se especifica

un valor máximo permisible por parte de decreto 1076 del 2015, ni por la autoridad ambiental, ni por CONAGUA.

La variación de las concentraciones del fósforo total – PT – en los puntos monitoreados se presentan en la figura 32, a partir de la cual se puede observar que tanto en época de lluvia como época seca no se evidencia ninguna alteración en la calidad del agua por el aporte de los efluentes piscícolas, por el contrario se evidencia que las concentraciones más altas se registraron en el punto P1CP -. Resultados que concuerdan con lo reportado por Romero, (2009) para aguas naturales –presentan valores entre 0,01 a 1 mg/L-. Respecto al uso potencial del recurso, este presenta condiciones aptas para destinación doméstica y de preservación de flora y fauna a excepción del punto P1CP en época seca, tal como se puede observar en la figura 33.

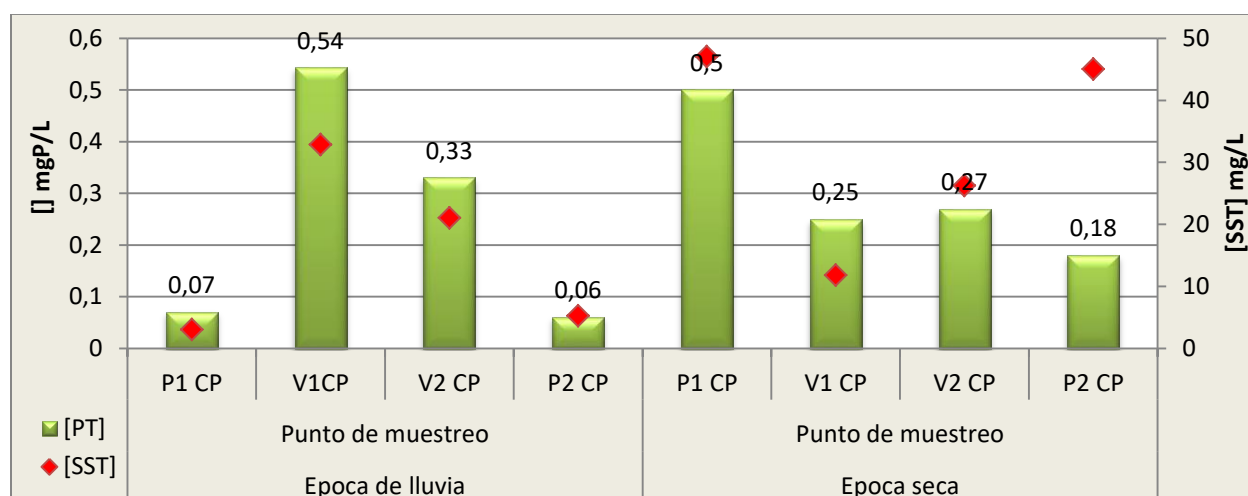


Figura 32. Variación de las concentraciones del Fósforo total –PT–
Fuente: Autor (2018)

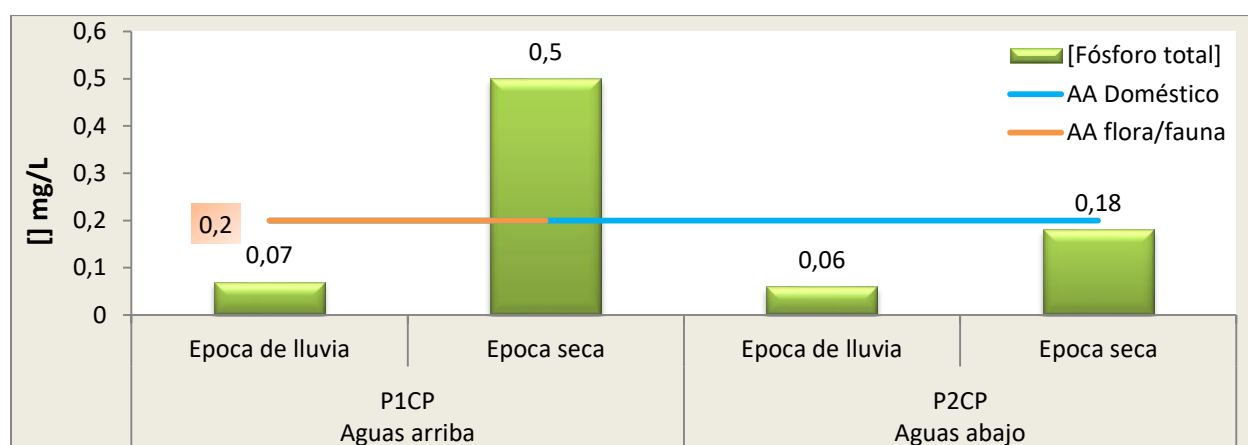


Figura 33. Usos potenciales del recurso hídrico en los puntos P1CP y P2CP, con respecto a la [PT]

Fuente: Autor (2018)

Los parámetros relacionados con el nitrógeno fueron graficados en las figuras 34, 35 y 36, en ellas se observa que tanto el nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos no presentaron variaciones significativas entre el punto P1CP y punto P2CP, encontrándose las concentraciones de estos dos últimos dentro de los valores normales (0,03 a 0,02) de una fuente hídrica superficial según lo indicado por la EPA, (2001). Por otro lado, el nitrógeno amoniacal se comportó acorde a lo mencionado por Rodier, (2010) para zonas localizadas aguas abajo de focos de contaminación reflejando una posible alteración causada por los efluentes piscícolas vertidos en el tramo de la fuente hídrica; Los usos potenciales que presentó la fuente hídrica en términos de este nutriente son uso doméstico, conservación de flora y fauna, uso pecuario y estético.

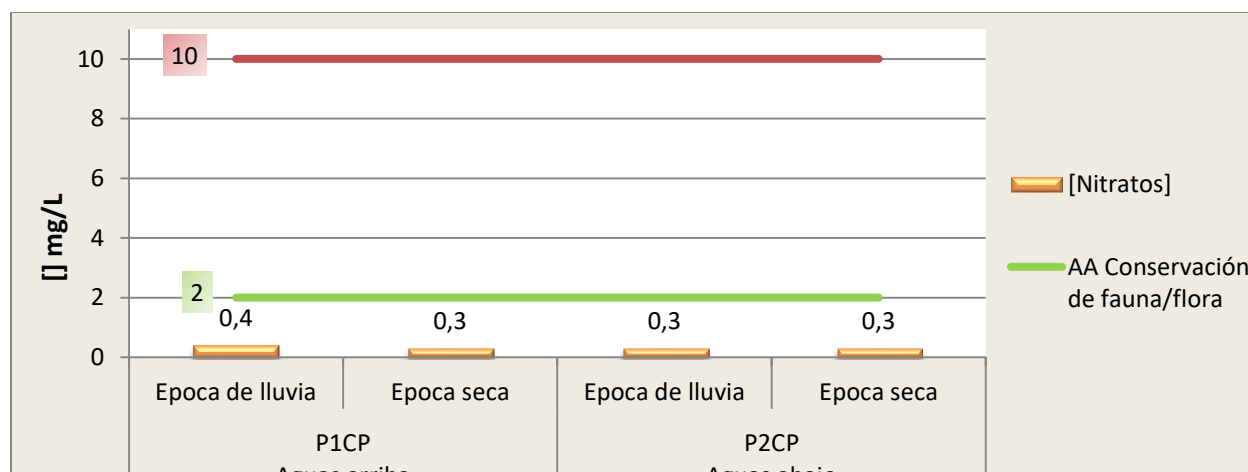


Figura 34. Variación y usos del recurso hídrico con respecto a las concentraciones de Nitratos
Fuente: Autor (2018)

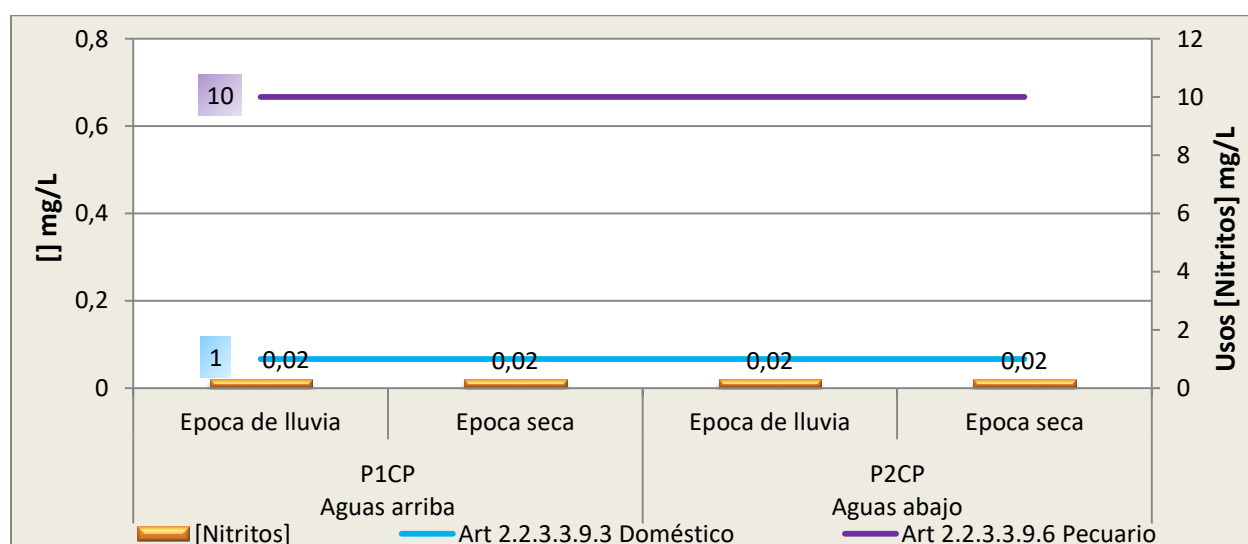


Figura 35. Variación y usos del recurso hídrico con respecto a las concentraciones de Nitritos
Fuente: Autor (2018)

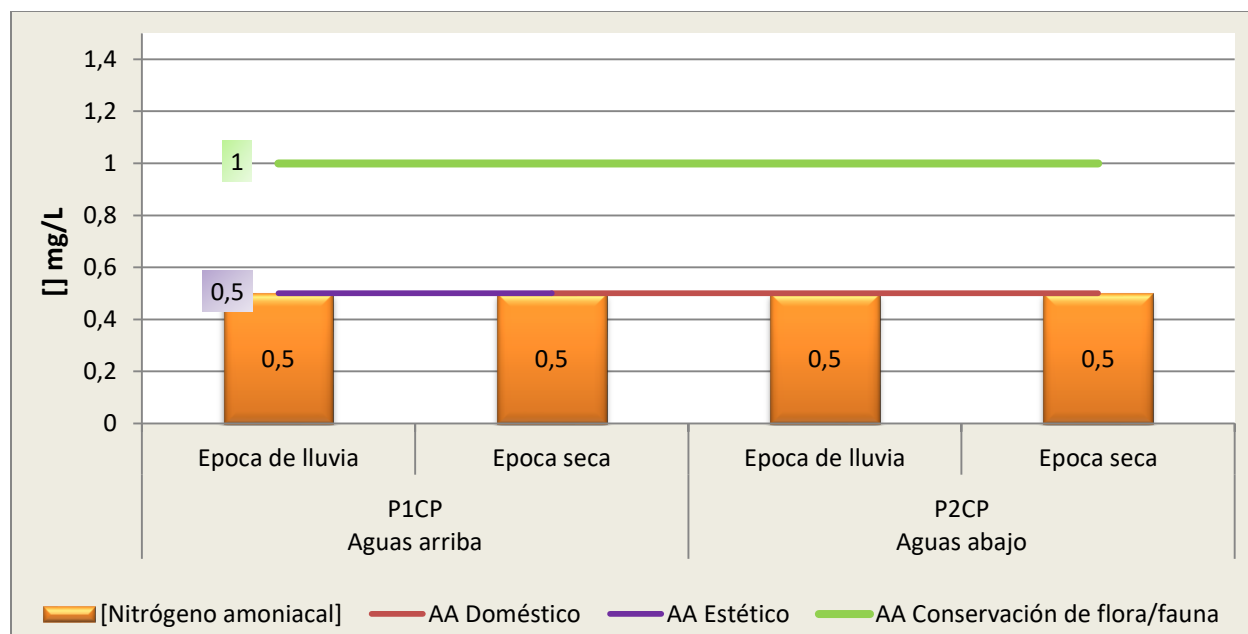


Figura 36. Variación y usos del recurso hídrico con respecto a las concentraciones de Nitrógeno amoniacal

Fuente: Autor (2018)

En las figuras 37 y 38 se muestra la variación de la presencia de coliformes analizados en los puntos monitoreados, reflejándose que la cantidad de microorganismos correspondientes a coliformes totales prevalecen sobre los coliformes fecales tanto en época seca como época de lluvia en más del 100% en todos los puntos monitoreados. En términos de coliformes fecales en la figura 37, se observa un aumento del 39% en el P2CP respecto al punto P1CP después de recibir las descargas de los efluentes piscícolas en época de lluvia y en la figura 38 estos presentan una disminución en más del 100% en el P2CP después de recibir la descarga de los efluentes.

Para poder establecer si existe o no una alteración de la calidad de la fuente hídrica caño Pilatos en términos de microorganismos, es importante tener claro que los peces presentan una microbiota asociada a su reproducción –*Aeromonadaceae*, *Enterobacteriaceae* y *Pseudomonadaceae*- los cuales son considerados como coliformes totales, aunque en la actualidad se encuentra en debate si estas familias pueden considerarse como bioindicadores de contaminación por materia fecal (Núñez De la Rosa, 2011), de acuerdo a esta premisa y teniendo en cuenta que la presencia de coliformes fecales hoy en día se relaciona directamente con contaminación por materia fecal de animales de sangre caliente, se descarta en la presente investigación que dicha carga de microorganismos se genere en los estanques piscícolas, por lo

cual su presencia se podría relacionar principalmente por acción del arrastre de microorganismos - proceso de escorrentía-, al igual que por efectos de resuspensión de sedimentos -sustrato en el que normalmente se encuentra mayor cantidad de estos microorganismos (Ramos, Vidal, Vilardy, & Saavedra, 2008), De igual forma otra posible explicación a la presencia de estos microorganismos en los efluentes piscícolas se podría deber a la carga de microorganismos que presenta ya el agua en el momento de ser empleada en el proceso productivo, lo anterior tomando como punto de partida un reporte realizado por la Autoridad Ambiental el día 30/01/2018 en la bocatoma de la piscícola el Manantial, en la cual se obtuvo como resultado un total de 866 microorganismos de coliformes fecales presentes en 100 mL, evidenciando una carga de estos bioindicadores antes de ser utilizada el agua.

En términos de coliformes totales se evidencia que a pesar de que en la época de lluvia no se presente un aumento de estos microorganismos, es probable que los efluentes representen un aporte significativo de coliformes totales en época seca debido a que las magnitudes del punto P2CP respecto al punto P1CP aumentaron en más del 100%.

En términos de calidad, estas aguas se clasifican como contaminadas en época de lluvia en ambos puntos ($1000 < CF < 10000$), mientras que en época seca pasa de ser contaminada ($1000 < CF < 10000$) en el punto P1CP a aceptable ($200 < CF < 1000$) en el punto P2CP de acuerdo a la categorización de CONAGUA, (2017).

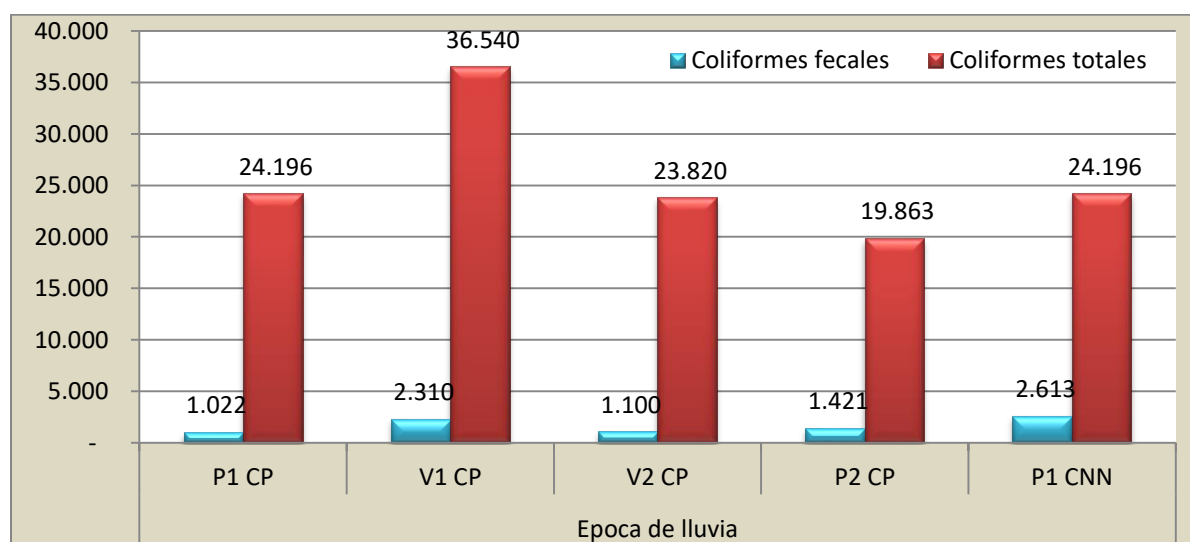


Figura 37. Variación de las concentraciones de coliformes fecales y totales en época de lluvia

Fuente: Autor (2018)

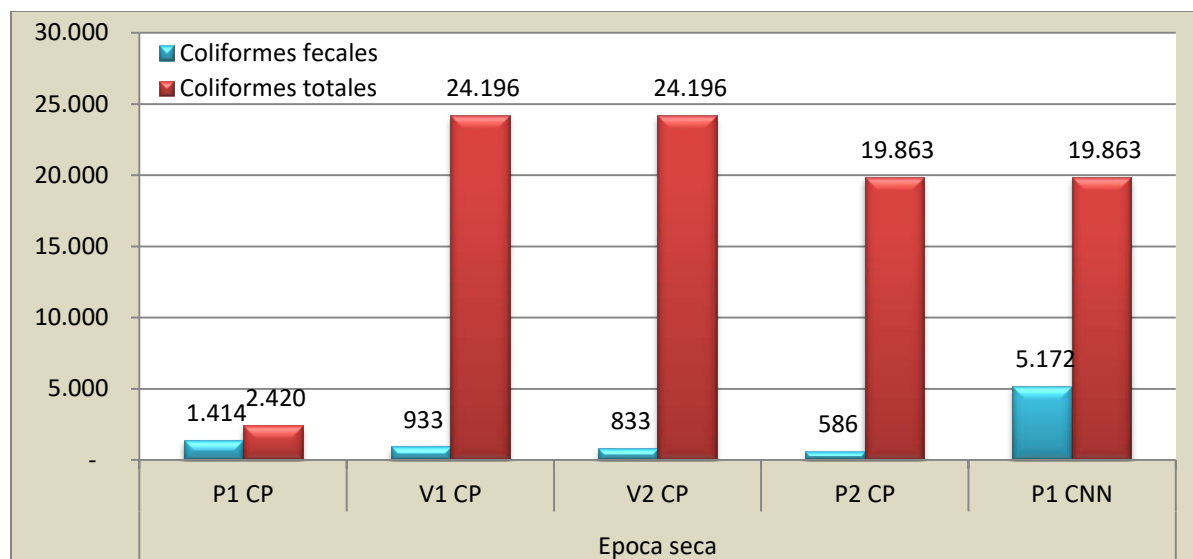


Figura 38. Variación de las concentraciones de coliformes fecales y totales en epoca seca.

Fuente: Autor (2018)

Respecto al uso potencial del recurso en términos de coliformes fecales esta presentó condiciones óptimas para el desarrollo de actividades agrícolas con restricción y domestico con tratamiento convencional -20.000 NMP/100ml- (ver figura 39). Por otro lado, la cantidad de coliformes totales presentes en los puntos P1CP y P2CP limita los usos potenciales del recurso hídrico establecidos por la Autoridad ambiental y el decreto 1076 del 2015 (ver figura 40).

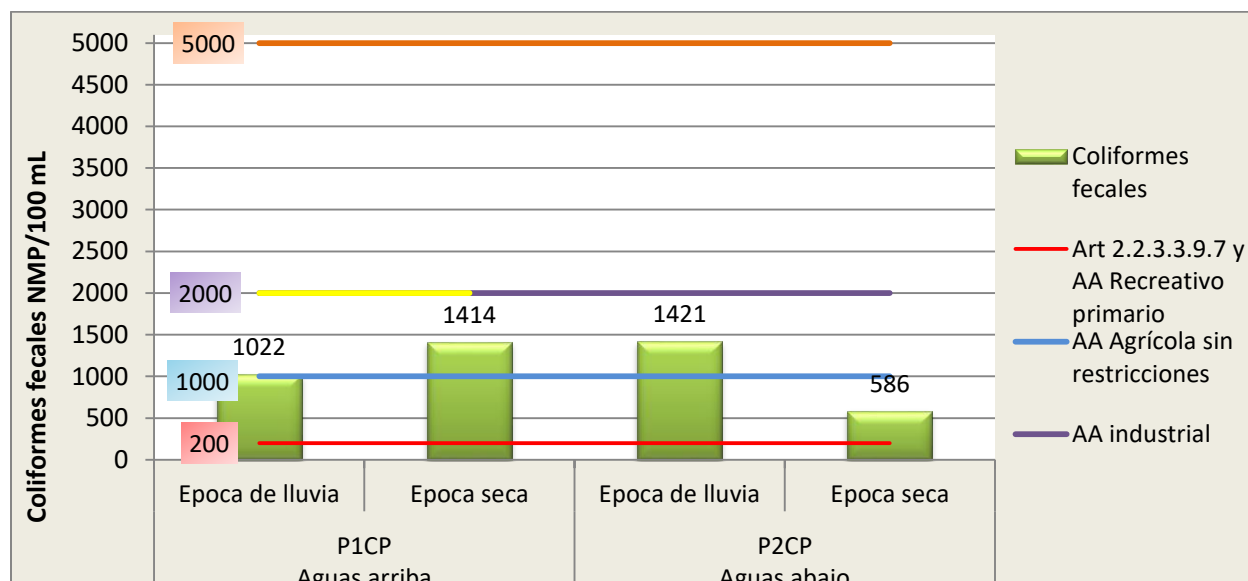


Figura 39. Variación y usos potenciales del recurso hídrico respecto a coliformes fecales NMP/100 ml

Fuente: Autor (2018)

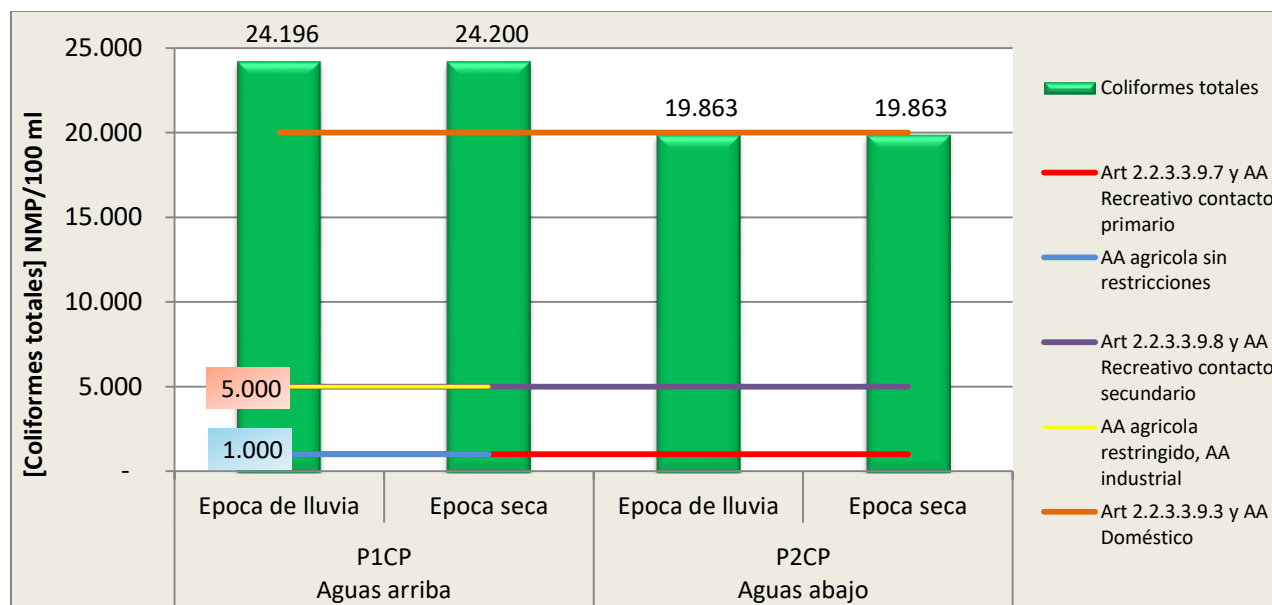


Figura 40. Variación y usos potenciales del recurso hídrico respecto a coliformes totales NMP/100 ml

Fuente: Autor (2018)

Finalmente, al hacer un balance general de acuerdo a los referentes mencionados y a los análisis realizados, se obtuvo que la calidad del agua en el punto P2CP después de recibir las descargas de las aguas de recambio afecta o modifica negativamente la calidad del agua en relación a la concentración de los siguientes parámetros: oxígeno disuelto –de excelente pasa a buena-, DBO5 –de dudosa pasa a mala calidad-, DQO – de buena pasa a aceptable-, SST y SDT – de excelente pasa a buena-. Los parámetros que presentaron la situación más crítica para el presente estudio fueron DBO5, nitrógeno amoniacal y coliformes fecales. En cuanto a los usos potenciales determinados se destacan principalmente el doméstico, estético y pecuario, los cuales fueron compatibles con la mayoría de los parámetros determinados.

Respecto al color real y aparente del agua, se puede establecer que el color verdoso que presenta los efluentes piscícolas se debe principalmente a las comunidades de fitoplancton presentes en la masa de agua de los estanques que posteriormente son vertidos a la fuente hídrica a través de los recambios permanentes que se realizan (Hahn Von-H & Grajales, 2007).

De acuerdo a lo anterior, los posibles impactos producidos por la adición de los efluentes piscícolas en el tramo objeto de estudio del caño Pilatos podrían ser los siguientes:

Tabla 22*Posibles impactos generados por los efluentes piscícolas*

Contaminante	Impacto
Materia Orgánica	Decrecimiento del oxígeno disuelto
Materia Orgánica	
Sólidos Suspendido y Disueltos	Limitaciones en los usos del agua
Fósforo Total	
Coliformes Fecales y Totales	
Sólidos Suspendidos y Disueltos	Aumento de la turbiedad
Compuestos Nitrogenados	
Sólidos Suspendidos	Limitaciones en la penetración de la luz

Nota: * Identificación de los impactos que puede generar el vertido de las aguas de recambio de la piscícola el Manantial sobre el tramo objeto de estudio, teniendo como premisa los resultados obtenidos en los monitoreos.

Fuente: Autor, 2018

De acuerdo a lo anterior, respondiendo a la hipótesis planteada se obtuvo que las aguas de recambio generadas en la granja piscícola localizada en el predio El Manantial que son vertidas a la fuente hídrica superficial caño Pilatos si afectan de manera negativa la calidad fisicoquímica de esta, principalmente en términos de DQO, DBO₅ y nitrógeno amoniacal.

4.2.3. Recomendaciones para mejorar o preservar la calidad de la fuente hídrica.

Para la construcción de las recomendaciones se hizo uso de información suministrada por parte de las Autoridades Ambientales a nivel Nacional –CARs- en el tema de la reglamentación de las aguas de recambio generadas por la actividad piscícola en cada jurisdicción –solo para granjas de cultivo-. Se obtuvo como resultado que 21 corporaciones exigen tramitar el permiso de vertimiento fundamentado en el artículo 2.2.3.3.5.1 del decreto 1076 y que estos deben cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en el art 15 de la resolución 0631 del 2015. De acuerdo a lo anterior, se procedió a contrastar las concentraciones obtenidas en los vertimientos V1CP y V2CP con los valores y parámetros que exige la norma. Encontrando que estos cumplen con los límites permitidos para los parámetros de pH, DBO₅, DQO y SST. De igual forma se destaca que para los parámetros de color aparente, color real (medido a 236 nm, 525 nm y 620

nm), turbiedad, Pt, nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal, la norma solo exigen análisis y reporte.

Tabla 23

Comparación entre las concentraciones de los vertimientos y el artículo 15 de la res. 0631 del 2015

Parámetro	Unidad de medida	Época de lluvia		Época seca		VLMP ART 15 Res. 0631 del 2015	CUMPLE
		V1 CP	V2 CP	V1 CP	V2 CP		
pH	UN	6.71	6.54	6.87	6.83	6,0 - 9,0	SI
Color aparente	UPC	30	40	25	70	Análisis y reporte	-
Color real 436 nm	m ⁻¹	0.3	0.4	0.4	0.5	Análisis y reporte	-
Color real 525 nm	m ⁻¹	0.1	0.1	0.2	0.2	Análisis y reporte	-
Color real 620 nm	m ⁻¹	0.1	0.1	0.1	0.1	Análisis y reporte	-
Turbiedad	NTU	15.267	15	14.58	20	Análisis y reporte	-
D.B.O ₅	mg O ₂ /L	5.000	5	15.15	9	150	SI
D.Q.O	mg O ₂ /L	18.021	25	15	32	50	SI
SST	mg/L	32.805	21	11.77	26.2	50	SI
PT	mg P/L	0.543	0.33	0.25	0.27	Análisis y reporte	-
Nitratos	mg N-NO ₃ /L	0.500	0.5	0.3	0.3	Análisis y reporte	-
Nitritos	mg N-NO ₂ /L	0.020	0.02	0.02	0.02	Análisis y reporte	-
Nitrógeno amoniacal	mg N-NH ₃ /L	1.708	1	0.5	0.5	Análisis y reporte	-

Nota: * Presentación de parámetros que cumplen con los valores máximos permisibles de la normatividad ambiental, la comparación se realizó con los establecidos para otras actividades industriales, ya que la resolución no contempla los vertimientos de aguas de recambio. Adaptado de “Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible”, resolución 0631 del 2015” por Montoya, C.; 2018.

Que de acuerdo a lo antes descrito y teniendo en cuenta los resultados obtenidos de los análisis de los parámetros en el punto P2CP –después de recibir la descarga de los efluentes- para la presente investigación se considera pertinente realizar un tratamiento a los efluentes generados con el fin de conservar en lo posible las condiciones óptimas del cuerpo hídrico receptor.

A continuación se establece la medida de manejo recomendada para los efluentes piscícolas:

- Evitar la descarga de los efluentes piscícolas directamente en las fuentes hídricas caño NN y caño Pilatos sin tratamiento previo.

- Para el tratamiento de los efluentes piscícolas se recomienda la implementación de una laguna de oxidación, la cual debe presentar una superficie de por lo menos el 10% del área total de espejo de agua implementada en la granja, garantizando un tiempo de retención de 3 a 5 días, la cual permitirá retener partículas sólidas y sustancias orgánicas que puedan precipitarse por gravedad provenientes de la actividad piscícola (González, 2015), adicionalmente, se recomienda que el canal que direcciona las aguas a la fuente hídrica no presente revestimiento alguno, con el fin de que se haga uso de especies de gramíneas –como el pasto vetiver- para aumentar la remoción de nutrientes y materia orgánica permitiendo disminuir la turbiedad presentes en los efluentes, lo anterior de acuerdo a los resultados obtenidos en los estudios de González (2015) y Gómez & Rico, (2017), los cuales presentan altos porcentajes de remoción para los parámetros considerados como críticos para el presente estudio.

5. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

El proceso productivo desarrollado en el predio El Manantial se destina al cultivo de Mojarra (*Oreochromis spp*) y Cachama (*Piaractus brachypomus*), el cual se comprende de cuatro (4) etapas: pre-cría- cría, levante y engorde.

El sexo de los peces cultivados es controlado por medio de la reconversión de sexo –machos- haciendo uso del producto Agrinal tilapia Reversión.

La actividad productiva realizada en el predio el Manantial no cuenta con el proceso de evisceración, motivo por el cual las aguas vertidas solo corresponden al proceso de cultivo – recambio de aguas de los estanques-, por lo que la autoridad ambiental del departamento del Meta no le requiere tramitar permiso de vertimiento.

Las aguas de recambio generadas de los estanques piscícolas no presentan tratamiento alguno antes de ser vertidos en la fuente hídrica superficial caño Pilatos.

Los vertimientos de aguas de recambio piscícolas presentaron fluctuaciones en las cargas contaminantes en cada época, obteniéndose que para la época seca las cargas contaminantes mayores se presentaron para los parámetros de DBO5 - 52,66 kg/día -, DQO - 115,53 kg/día -, SDT - 186,38 kg/día - y coliformes totales 211.205 NMP/100mL, mientras que en época de lluvia prevalecieron mayores los SST -129,75 kg/día-, PT -2,11 kg/día-, nitratos -2,35 kg/día-, Nitrógeno amoniacal -6,56 kg/día- y coliformes fecales 8.111 NMP/100mL.

El color aparente del agua en época seca presenta un incremento del más del 100% en el punto aguas abajo respecto al punto P1CP después de recibir los vertimientos de aguas de recambio de los estanques piscícolas, lo cual podría estar asociado al material suspendido en la columna del agua, incluyendo materia orgánica y principalmente comunidades de fitoplancton aumentadas por el contenido de nutrientes primarios –como fósforo y nitrógeno- aportados por la alimentación de las especies cultivadas (Rodríguez & Anzola, 2014) o la aplicación de fertilizantes en los estanques piscícolas (FAO, 2010), así como a la reducción del caudal de la fuente hídrica en esta época el cual corresponde a 281,9 L/seg respecto a época de lluvia que fue de 865,5 L/seg.

La calidad del agua en el punto P2CP después de recibir las descargas de las aguas de recambio afecta negativamente la calidad del agua en relación a la concentración de los siguientes parámetros: oxígeno disuelto –de excelente pasa a buena-, DBO5 –de dudosa pasa a mala calidad-, DQO – de buena pasa a aceptable-, SST y SDT – de excelente pasa a buena-. Los parámetros que presentaron la situación más crítica para el presente estudio fueron DBO5, nitrógeno amoniacal y coliformes fecales.

Uno de los impactos identificados con la presente investigación se relaciona con la limitación del uso potencial del recurso hídrico, lo cual puede estar relacionado con la calidad de los efluentes piscícolas vertidos sobre la fuente hídrica superficial caño Pilatos ya que de siete usos potenciales que presentaba la fuente hídrica en el P1CP aguas arriba de los vertimientos quedan tres después de recibir las descargas –pecuario, estético y doméstico- descartándose la preservación de flora y fauna por las concentraciones presentadas para los parámetros de O.D, DBO5, DQO, SST y PT en época seca; lo anterior, de acuerdo a los valores establecidos en los objetivos de calidad para las fuentes hídricas priorizadas en el departamento del Meta y el decreto 1076 del 2015 en sus artículos 2.2.3.3.9.3 al 2.2.3.3.9.10.

Los vertimientos generados de la actividad piscícola cumplen con los valores máximo permisibles establecidos en el artículo 15 de la resolución 0631 del 2015.

De acuerdo a los resultados obtenidos se establece que una acción de mejora que se puede realizar en la piscícola, corresponde a la implementación de una piscina de oxidación, la cual permitirá la decantación de materia orgánica, sólidos y descomposición de nutrientes, permitiendo mejorar la calidad de los efluentes en términos de DBO5, DQO, sólidos, color y nutrientes (González, 2015).

Recomendaciones

Teniendo en cuenta que en la granja piscícola se realiza reconversión de sexo de los peces en su etapa de alevinos y se hace uso de antibióticos como control fitosanitario, se recomienda realizar una evaluación hidrobiológica del cuerpo de agua receptor, donde pueda observarse el comportamiento de peces, fitoplancton y plancton, antes y después del vertimiento de las aguas de recambio, lo anterior, con el fin de identificar si existe alguna reducción importante de los mismos o si permanecen constantes.

Como un parámetro de interés es el color en época seca, se hace necesario medir el fitoplancton en el vertimiento, para conocer la concentración del mismo y su posible manejo.

La Autoridad Ambiental debe mejorar su función de control y seguimiento, especialmente en época seca para evitar que los usuarios capten caudales superiores a los autorizados que pongan en riesgo el caudal ambiental de los cuerpos de agua, adicionalmente es importante que dentro de los permisos de concesiones de agua se requiera a los usuarios piscícolas el uso de estanques adicionales que reciban las aguas de recambio antes de ser vertidas a los cuerpos de agua, para reducir sólidos y color o la implementación de filtros, previo al vertimiento, o en caso extremo prohibir el vertimiento de aguas de recambio en época seca donde los caudales se reducen considerablemente por ausencia de lluvias.

Referentes bibliográficos

- Arcos, D. P. M., Ávila, S. L., Estupiñán, M. S., & Gómez, A. C. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Nova*, 3(4), 69–79. <https://doi.org/10.22490/24629448.338>
- Arias, F. G. (1999). *El proyecto de investigación: guía para su elaboración* (3ra edición). Caracas: Episteme. Retrieved from <http://www.smo.edu.mx/colegiados/apoyos/proyecto-investigacion.pdf>
- Asamblea Nacional Constituyente. (1991). Constitución Política 1 de 1991 de Colombia. Retrieved February 28, 2018, from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4125>
- AUNAP. (2013). *Diagnóstico del estado de la Acuicultura en Colombia* (RM GRÁFICO). Retrieved from <http://aunap.gov.co/wp-content/uploads/2016/04/25-Diagnostico-del-estado-de-la-acuicultura-en-Colombia.pdf>
- AUNAP. (2018). *Base de datos permiso de cultivo*. Barrancabermeja. Retrieved from <http://www.aunap.gov.co/2018/permisionarios-cultivos2.pdf>
- Bautista Covarrubias, J. C., & Ruiz, J. M. (2011). Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana. *Revista Fuente*, 3(8). Retrieved from <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-08/2.pdf>
- Beita Sandí, W. (2008). Físico-química de las aguas superficiales de la Cuenca del río Rincón, Península de Osa, Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*, 2(2), 157–179. <https://doi.org/10.22458/urj.v2i2.156>
- Buschmann, A. (2001). Impacto ambiental de la acuicultura. *Terram*, (56 2), 67. <https://doi.org/10.1016/j.enfcli.2009.02.001>
- Carvajal, J. P., Echeverri, Arturo, C., & Rúales, D. (2014). *Comparación de parámetros zootécnicos y de calidad de agua de tres sistemas de precría de tilapia roja (Oreochromis spp.) en el Municipio de Puerto Triunfo*. Trabajo de grado, Lasallista. Retrieved from http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1511/1/Parametros_zootecnicos_calidad_agua_sistemas_precria_tilapia_roja.pdf
- Castro, S., & Ortiz, J. (2015). *Análisis ambiental en la zona de mezcla de la desembocadura del*

- río Bogotá al río Magdalena*. Trabajo de grado. Universidad de la Salle. Retrieved from http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/18007/41082000_2015.pdf?sequence=1
- Chaux, G., Caicedo, J. R., & Fernandez, J. E. (2013). Tratamiento de efluentes piscícolas (Tilapia roja) en lagunas con *Azolla pinnata*. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2), 46–56. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n2/v11n2a06.pdf>
- CONAGUA. (2017). Monitoreo de calidad del agua., 9. Retrieved from <http://files.conagua.gob.mx/transparencia/CalidaddelAgua.pdf>
- Congreso de Colombia. (1973). Ley 23/1973, de 19 de diciembre, Por el cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones. Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=9018>
- Congreso de Colombia. (1974). Decreto 2811/1974, de 18 de diciembre, Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. *Diario Oficial Nacional*, (34243, 18 de diciembre de 1974). Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1551>
- Congreso de Colombia. (1993). Ley 99/1993, de 22 de diciembre, Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, . *Diario Oficial Nacional*, (41146, 22 de diciembre de 1993). Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>
- CORMACARENA. (2009). *Guía ambiental sector piscícola* (1a ed.). Villavicencio. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/267250742/Guia-Ambietal-Piscicola>
- CORMACARENA. (2011). *Evaluación ambiental sobre el impacto que pueda generar el vertimiento de las aguas de recambio de la actividad piscícola en las fuentes superficiales receptoras*.
- CORMACARENA. (2017a). *Base de datos permisos del sector piscícola*. Villavicencio.
- CORMACARENA. (2017b). *Serie documental quejas y denuncias*. Villavicencio.
- CORPOGUAVIO. (2010). *CALIDAD DE LAS FUENTES HIDRICAS*. Guavio. Retrieved from <https://isfcolombia.uniandes.edu.co/images/documentos/fuenteshidricascorpoguavio.pdf>

- Del río, M., Martínez, A., & Jara, M. (2012). La acuicultura y su impacto en la zona costera del golfo de California. *Biotechnia*, XVIII(3), 37–46. Retrieved from <http://biotecnia.unison.mx>
- Dormon, K. (2008). *Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Retrieved from [http://www.repositorio.usac.edu.gt/7775/1/Kathya Iturbide Dormon.pdf](http://www.repositorio.usac.edu.gt/7775/1/Kathya%20Iturbide%20Dormon.pdf)
- Eduardo, S., Duque, M., Jaime, J., González, G., Londoño, G. C., Julio, V., ... Carrasco, P. (2012). Efectos del perifiton sobre los parámetros fisicoquímicos del agua en estanques con policultivo de tilapia *Oreochromis niloticus* y Bocachico *Prochilodus magdalenae* *. *Lasallista de Investigación*, 9(1), 41–52. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-44492012000100005&script=sci_abstract&tlng=es
- EPA. (2001). Parameters of water quality. *Environmental Protection*, 133. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- FAO. (s.f.). *Planificación del desarrollo de la acuicultura : guía preliminar*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/x5743s/x5743s00.htm#Contents>
- FAO. (2010). Información básica de la acuicultura. Retrieved from http://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6708s/x6708s01.htm#top
- FAO. (2014). *Plan Nacional para el Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia - PlaNDAS*. Bogotá D.C.: Imprenta Nacional de Colombia.
- FAO. (2016a). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Roma. Retrieved from www.fao.org/3/a-i5555s.pdf
- FAO. (2016b). La pesca. Retrieved from <http://www.fao.org/fisheries/es/>
- FAO. (2018). La acuicultura. Retrieved from <http://www.fao.org/aquaculture/es/>
- Fernández, J., Luna, M., & García, M. (2009). Estudio de la filtración ascendente en gravas en el tratamiento de efluentes de la producción de Tilapia Roja. *Ingeniería Hoy*, (31), 9.
- Gallardo, R. J., & Arenas, M. I. (2006). *Plan de manejo ambiental para la fase de operación de la estación piscícola de San Pablo en el Municipio de Torema, Norte de Santander*.

Universidad Industrial de Santander. Retrieved from <http://docplayer.es/amp/35646233-Plan-de-manejo-ambiental-para-la-fase-de-operacion-de-la-estacion-piscicola-de-san-pablo-en-el-municipio-de-teorama-norte-de-santander.html>

Gómez, N., & Rico, F. (2017). *Uso del Chrysopogon zizanioides como alternativa natural para disminuir la carga contaminante en efluentes provenientes de la actividad piscícola en la colonia agrícola de Acacías-Meta*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD. Retrieved from <http://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/13534/1/17417695.pdf>

González, J. A. (2015). *Caracterización de sedimentos producidos en una explotación intensiva de trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss Walbaum, 1792), como un medio para definir estrategias de uso y manejo sostenible de lagunas de oxidación en piscicultura*. LASALLE. Retrieved from http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/17715/89112209_2015.pdf?sequence=1

Hahn Von-H, C. M., & Grajales, A. (2007). Producción limnológica en estanques para el levante de larvas y postlarvas de especies icticas nativas y foraneas. Caldas-Colombia. *Revista Electrónica de Ingeniería En Producción Acuícola*, 2(1909–8138), 137–168. Retrieved from https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=15&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj7pseDos3bAhVCzIMKHYKRAwoQFgigATAO&url=http%3A%2F%2Frevistas.udenar.edu.co%2Findex.php%2Ffreipa%2Farticle%2Fdownload%2F1667%2F2057&usg=AOvVaw3TeGV_ro0Un_lXx3oiSmbw

IDEAM. (2002). *Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas*. Bogotá D.C. Retrieved from <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/con-la-comunidad/gui-a-para-el-monitoreo-de-vertimientos-aguas-superficiales-y-aguas-subterraneas>

IDEAM. (2017). Boletín climatológico mensual. Retrieved April 1, 2017, from http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/climatologico-mensual?p_p_id=110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y_struts_action=%2Fdocument_lib

rary_display%2Fvie

IFC. (2007). *Guías sobre medio ambiente , salud y seguridad para la acuicultura*. Retrieved from <http://www.ifc.org/ehsguidelines>

Luna, M. (2011). Efluente Piscícolas: Características contaminantes, impactos y perspectivas de tratamiento. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 3(1), 4.

MADS. (s.f.). Gestión del agua - IDEAM. Retrieved February 28, 2018, from <http://www.siac.gov.co/gestionagua>

MADS. (2004). Resolución 1433/2004, de 13 de diciembre, por la cual se reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 de 2003, sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV, y se adoptan otras determinaciones. *Diario Oficial Nacional*, (45774 de 13 de diciembre de 2004). Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=15603>

MADS. (2012a). Decreto 2667/2012, de 21 de diciembre, por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones. *Diario Oficial Nacional*, (48651, 21 de diciembre de 2012). Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=51042>

MADS. (2012b). Resolución 1514/2012, de 31 de agosto, Por la cual adoptan los Términos de Referencia para la Elaboración del Plan de Gestión del Riesgo para el Manejo de Vertimientos. *Diario Oficial Nacional*, (48570, de 1 de octubre de 2012). Retrieved from https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambienteds_1514_2012.htm

MADS. (2015a). Decreto 1076/2015, de 26 de mayo, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. *Diario Oficial Nacional*, (49523, de 26 de mayo de 2015). Retrieved from <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/08/Decreto-Unico-Reglamentario-Sector-Ambiental-1076-Mayo-2015.pdf>

MADS. (2015b). Resolución 631/2015, de 17 de marzo, Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposicion. *Diario Oficial Nacional*, (49486, de 18 de abril de 2015). Retrieved from http://servicios.minminas.gov.co/compilacionnormativa/docs/resolucion_minambienteds_0

631_2015.htm

- MADS. (2018). Decreto 50/2018, de 16 de enero, Por el cual se modifica parcialmente el Decreto número 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de las Macrocuencas (Carmac),. *Diario Oficial Nacional*, (50478, 16 de enero de 2018), 15. Retrieved from [http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO 50 DEL 16 ENERO DE 2018.pdf](http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO_50_DEL_16_ENERO_DE_2018.pdf)
- MADVT. (2006). *Guía metodológica para el establecimiento de objetivos de calidad de los cuerpos de agua en ausencia de los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico - PORH RECURSO HÍDRICO - PORH*. Bogotá D.C. Retrieved from <http://ingenieriadesarrollolimpio.com/index.php/documentos-estrategicos?download=9:guia-mesoca-pdf>
- Mariano, M., Huaman, P., Mayta, E., & Montoya, H. (2010). Contaminación producida por piscicultura intensiva en lagunas andinas de Junín , Perú. *Peru. Biología*, 17(1), 137–140. Retrieved from <http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v17n1/a18v17n1.pdf>
- Martinez, C., & Marrugo, J. (2014). Rizi/Piscicultura II: Un giro para el desarrollo de una acuicultura sustentable., 207–213. Retrieved from <https://maestriaambiental.com/memorias/33.pdf>
- Martínez, M., & Osorio, A. (2018). Validation of a method for real color analysis in water. *Facultad de Ciencias*, 7(1), 143–155. <https://doi.org/https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v7n1.68086>
- MAVDT. (2003). Decreto 3100/2003, de 30 de enero, por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones. *Diario Oficial Nacional*, (45357, de 31 de octubre de 2003). Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=15073>
- MAVDT. (2005). Resolución 2145/2005, de 23 de diciembre, por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1433 de 2004 sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV. *Diario Oficial Nacional*, (46131, de diciembre de 2005). Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18536>
- Mesía, B. J. (1995). *Vigilancia ambiental de efluentes generados por la actividad acuícola*

- continental, distrito de Moyobamba*. Universidad Nacional de San Martín. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:ingeniero+ambiental#0>
- Minagricultura. (1981). Decreto 2858/1981, de 13 de octubre, Por el cual se reglamenta parcialmente el Artículo 56 del Decreto-Ley 2811 de 1974 y se modifica el Decreto 1541 de 1978. *Diario Oficial Nacional*. Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=22675>
- MINAGRICULTURA. (2016). Cifras Sectoriales - 2016 - Acuicultura 20-10-2016. Bogotá D.C. Retrieved from <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:UCLgOmdPsBsJ:https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Documentos/002%2520-%2520Cifras%2520Sectoriales/002%2520-%2520Cifras%2520Sectoriales%2520-%25202016%2520-%2520%2520Acuicultura%252020-10-2016>
- Minsalud. (1979). Ley 9/1979, de 24 de enero, Por la cual se dictan medidas sanitarias. *Diario Oficial Nacional*. Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1177>
- Monje, C. A. (2011). Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa. Guía didáctica. *Universidad Surcolombiana*, 1–216. Retrieved from <http://carmonje.wikispaces.com/file/view/Monje+Carlos+Arturo+-+Guía+didáctica+Metodología+de+la+investigación.pdf>
- Murrell, J. A., Rojas, M. M., Romeu, B., Rojas, N. M., & Heydrich, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *CENIC Ciencias Biológicas*, 44(3). Retrieved from <http://revista.cnic.edu.cu/revistaCB/articulos/bacterias-indicadoras-de-contaminación-fecal-en-la-evaluación-de-la-calidad-de-las-aguas>
- Núñez De la Rosa, M. G. (2011). *Evaluación preliminar de las poblaciones bacterianas asociadas al tracto intestinal de la tilapia (Oreochromis niloticus) expuesta a aceites esenciales de orégano en la dieta*. Universidad Nacional de Colombia.
- Pardo, S., & Soriano, E. (2006). Tratamiento de efluentes: una vía para la acuicultura responsable. *MVZ Córdoba*, XI(1), 20–29. <https://doi.org/01220268>
- Pérez, M. A., Hurtado, I. C., Restrepo, S., Bonilla, S. P., Calderón, H., & Ramírez, A. (2017). Water footprint measure method for tilapia , cachama and trout production : study cases to

- Valle del Cauca (Colombia). *Environmental Engineering*, 120(2), 109–120. Retrieved from http://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/5298/7608
- Piedrahita, R. H. (2003). Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*, 226(1–4), 35–44. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00465-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00465-4)
- Pineda, C. (2010). *Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca del río Acacías y Pajure*. Villavicencio. Retrieved from http://www.cornacarena.gov.co/contenido_vin.php?tp=16&contenido_in=206&titulo=PORH ACACIAS - ACACIITAS Y OROTOY
- Raffo Lecca, E., & Ruiz Lizama, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Revista de La Facultad de Ingenieria Industrial*, 17, 11. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Ramos, L. M., Vidal, L. A., Vilardy, S., & Saavedra, L. (2008). Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la bahía de Santa Marta, caribe colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 87–98.
- Rodier, J. (2010). *Análisis del agua* (IX). España: Omega.
- Rodríguez, H., & Anzola, E. (2014). La calidad del agua y la productividad de un estanque en acuicultura. In *Fundamentos de acuicultura continental* (pp. 43–71). Retrieved from http://digitool.gsl.com.mx:1801/webclient/StreamGate?folder_id=0&dvs=1528086863883~38
- Roldán, G., & Ramírez, J. J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. (G. Montoya, Ed.) (2a. ed.). Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. Retrieved from https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=FA5Jr7pXF1UC&oi=fnd&pg=PR15&dq=Fundamentos+de+limnología+neotropical&ots=h0Rw-oWX4V&sig=em_Dp6FqVkEdJJ6wW_vWT3lQU4#v=onepage&q=Fundamentos de limnología neotropical&f=false
- Romero, J. A. (2009). *Calidad del agua*. (Escuela Colombiana de ingeniería, Ed.) (3era ed.). Bogotá D.C.: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rosas, H. (2001, July 12). *Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat*. TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). Universitat Politècnica de Catalunya. Retrieved

from <https://www.tdx.cat/handle/10803/6978>

Sánchez, L. D., & Viáfara, C. A. (2014). Impacto de los sólidos suspendidos totales sobre la obstrucción en emisores de riego localizado de alta frecuencia Impact of total suspended solids on the emitters clogging of localized high-frequency irrigation. *Ingeniería y Competitividad*, 16(2), 199–210. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/inco/v16n2/v16n2a18.pdf>

Sánchez, M. (2013). *Coagulación-floculación y separación de sólidos disueltos y suspendidos en un lixiviado estabilizado de vertedero*. Trabajo de grado. Universidad de Oviedo. Retrieved from http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/18189/7/TFM_SanchezSaezG.pdf

SENA. (2008). Peces de la granja Tolima. Retrieved from <http://peceslagranjatolima.blogspot.com.co/2008/09/h.html>

Severiche, C., Castillo, M., & Acevedo, L. (2013). Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos Básicos en Aguas. *Biblioteca Virtual Eumed.Net*, 101. [https://doi.org/Biblioteca Virtual EUMED.NET](https://doi.org/Biblioteca%20Virtual%20EUMED.NET)

Terry, C. C., Gutiérrez, J. B., & Abó, M. (2010). Manejos de aguas residuales en la gestión ambiental. *Agencia Del Medio Ambiente*. La Habana: CIGEA. Retrieved from www.proyesc.cu/informes/Manejos_Aguas_residuales.pdf

Torres, F. (2009). *Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico*. Universidad Recinto Universitario de Mayaguez. Retrieved from http://prwreri.uprm.edu/publications/PR_2009_01.pdf

Vargas S, A. (1995). *Estadística descriptiva e inferencial*. (servicio de publicaciones de la universidad de Castilla -La Mancha, Ed.) (COMPOBELL,). Servicio de publicaciones de la universidad de Castilla-La Mancha. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=RbaC-wPWqjsC&printsec=frontcover&dq=para+que+sirve+la+estadistica+descriptiva&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwidx5nii8rbAhWHvLMKHQVfB14Q6AEIJAA#v=onepage&q&f=false>

Vernier. (n.d.). Oxígeno disuelto. Retrieved from http://www2.vernier.com/sample_labs/CMV-41-oxigeno_disuelto.pdf

Villegas, N. (2010). *Objetivos y criterios de calidad del agua*. Villavicencio. Retrieved from <http://www.cormacarena.gov.co/contenido->

vin.php?tp=16&contenido_in=208&titulo=PORH R%CDOS OCOA, UP%CDN Y CANEY, CA%D1OS BUQUE, MAIZARRO, IRIQU%C9, SIBAO, CAMOA, CURAL Y CURALITO, SECO Y CARA%D1O

Vivas, J., Marko, T., & Espinosa, L. (2011). Diagnóstico y Evaluación de la Calidad Ambiental Marina en el Caribe y Pacífico Colombiano, 1–227. Retrieved from http://www.invemar.org.co/documents/10182/14479/Informe_REDCAM_2011.pdf

Zapata, F. (2017). *Hidrologia I. Trabajo práctico: Aforos directos*. Bogotá D.C. Retrieved from https://dadospdf.com/download/hidrologia-i-trabajo-practico-n-aforos-directos-_5a449eaeb7d7bc891f708358_pdf

Apéndices

Apéndice A: Mapa 1. Localización del área objeto de estudio. Ver anexo CD.

Apéndice B: Mapa 2. Localización de los puntos de muestreo. Ver anexo CD.

Apéndice C: Mapa 3. Áreas y etapas del proceso productivo en el predio el Manantial. Ver anexo CD.

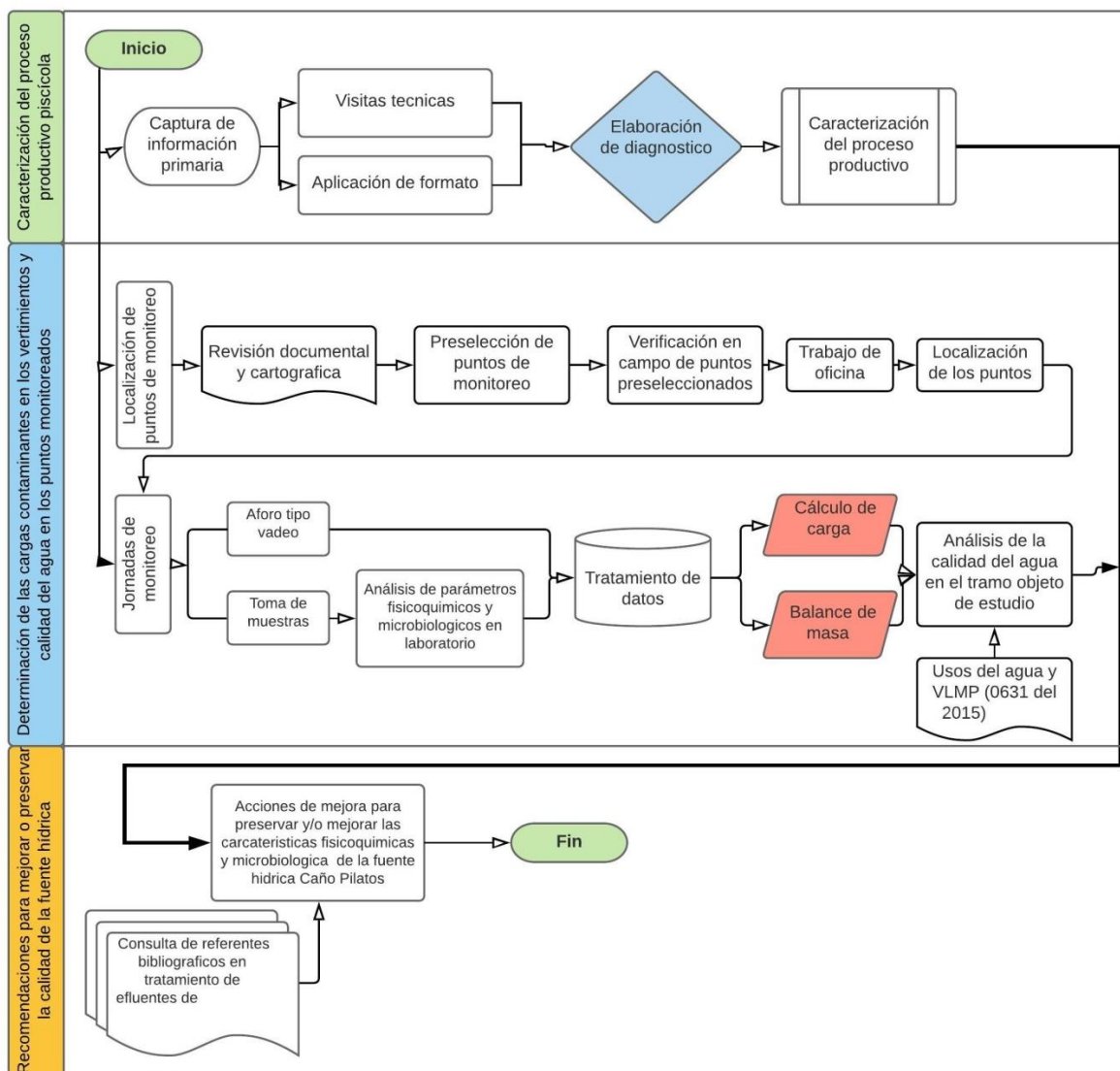
Apéndice D: Diagrama de flujo-Metodología.

Figura 41. Metodología implementada en el desarrollo de la investigación.

Fuente: Autor (2017)

Apéndice E: Resultados de los monitoreos realizados**Tabla 24***Resultados de análisis de monitoreos reportados por TECNOAMBIENTAL.S.A.S*

Parámetro	Unidad de medida	Época de lluvia				Época seca					
		Punto de muestreo				Punto de muestreo					
		P1 CP	P2 CP	V1 CP	V2 CP	P1 CNN	P1 CP	P2 CP	V1 CP	V2 CP	P1 CNN
Caudal (Q)	L/s	501,9	865,5	92,38	23,78	61,8	288,4	281,9	72,25	31,78	50,9
Temperatura	°C	22,6	23	22,6	22,5	23,2	23,4	24	22,6	23,3	22,8
pH	UN	6,75	6,8	6,71	6,54	6,69	7,03	7,15	6,87	6,83	7,27
Color aparente	UPC	5	10	30	40	10	9	20	25	70	9
Color real 436 nm	m ⁻¹	0,1	0,2	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4
Color real 525 nm	m ⁻¹	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,25	0,2	0,2	0,2
Color real 620 nm	m ⁻¹	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,13	0,1	0,1	0,1
Turbiedad	NTU	3,5	7,2	8,8	15	5,6	1	8,95	11	20	9,5
O.D	mg O ₂ /L	6,6	6,5	5,8	3,6	5,9	7,3	5,5	5,2	5,9	5,9
D.B.O ₅	mg O ₂ /L	5	5	5	5	5	5	6	8	9	5
D.Q.O	mg O ₂ /L	15	15	16	25	15	15	21	15	32	15
SDT	mg/L	9	6	10	15	12	34	45,22	32	44,3	30,7
SST	mg/L	3	5,2	13	21	3,2	47	44,99	13,2	26,2	13,8
PT	mg P/L	0,07	0,06	0,26	0,33	0,12	0,5	0,18	0,13	0,27	0,08
Nitratos	mg N-NO ₃ /L	0,4	0,3	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Nitritos	mg N-NO ₂ /L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Nitrógeno amoniacal	mg N-NH ₃ /L	0,5	0,5	0,9	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Coliformes fecales	NMP/100ml	1.022	1.421	2.310	1.100	2.613	1.414	586	933	833	5.172
Coliformes totales	NMP/100ml	24.196	19.863	36.540	23.820	24.196	2.420	19.863	24.196	24.196	19.863

Nota: El Caudal reportado fue tomado en campo por parte del investigador, Fuente: Autor, 2018

Apéndice F: Balance de masa**Tabla 25.***Balance de masa punto V1CP.*

Parámetro	Época de lluvia			Época seca		
	P1 CNN	V1 CP	NUEVO V1CP	P1 CNN	V1 CP	NUEVO V1CP
Q	61,8	92,38	30,58	50,9	72,25	21,35
Temperatura	23,2	22,6	22,6	22,8	22,6	22,6
pH	6,69	6,71	6,71	7,27	6,87	6,87
Turbiedad	5,6	8,8	15,27	9,5	11	14,58
OD	5,9	5,8	5,60	5,9	5,2	3,53
D.B.O ₅	5	5	5,00	5	8	15,15
D.Q.O	15	16	18,02	15	15	15,00
SDT	12	10	5,96	30,7	32	35,10
SST	3,2	13	32,81	13,8	13,2	11,77
PT	0,12	0,26	0,54	0,08	0,13	0,25
Nitratos	0,5	0,5	0,50	0,3	0,3	0,30
Nitritos	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Nitrógeno amoniacal	0,5	0,9	1,71	0,5	0,5	0,50

Nota: * Cálculo de la concentración de las sustancias objeto de estudio en el vertimiento V1CP haciendo uso de la teoría de balance de masa. Fuente: Autor, 2018

Apéndice G: Cálculo de cargas contaminantes**Tabla 26***Cargas contaminantes de los vertimientos V1CP y V2CP época de lluvia.*

Parámetro	V1 CP		V2 CP		Total Cc adicionada por la piscícola
	[C]	Cc	[C]	Cc	
Q	30,6	-	23,8	-	54,4
D.B.O ₅	5,0	13,21	5,0	10,3	23,48
D.Q.O	18,0	47,61	25,0	51,4	98,98
SDT	6,0	15,74	15,0	30,8	46,56
SST	32,8	86,67	21,0	43,1	129,82
PT	0,5	1,43	0,3	0,7	2,11
Nitratos	0,5	1,32	0,5	1,0	2,35
Nitritos	0,0	0,05	0,0	0,0	0,09
Nitrógeno amoniacal	1,7	4,51	1,0	2,1	6,57
Coliformes fecales	2.310,0	6.103,28	1.100	2.260	8.363,33
Coliformes totales	36.540,0	96.542,77	23.820	48.940	145.483,15

Nota: * Cálculo de cargas contaminantes presente en los vertimientos V1CP y V2CP en época de lluvia, haciendo uso de la fórmula establecida en el decreto 1076 del 2015. Fuente: Autor, 2018

Tabla 27*Cargas contaminantes de los vertimientos V1CP y V2CP época seca.*

Parámetro	V1 CP		V2 CP		Total CC adicionada por la piscícola
	[C]	Cc	[C]	Cc	
Q	21,4	-	31,8	-	53,1
D.B.O ₅	15,2	28,0	9,0	24,7	52,66
D.Q.O	15,0	27,7	32,0	87,9	115,53
SDT	35,1	64,7	44,3	121,6	186,38
SST	11,8	21,7	26,2	71,9	93,65
PT	0,2	0,5	0,3	0,7	1,20
Nitratos	0,3	0,6	0,3	0,8	1,38
Nitritos	0,0	0,0	0,0	0,1	0,09
Nitrógeno amoniacal	0,5	0,9	0,5	1,4	2,30
Coliformes fecales	933,0	1.721	833,0	2.287	4.008,29
Coliformes totales	24.196,0	44.633	24.196,0	66.437	111.070,09

Nota: * Cálculo de cargas contaminantes presente en los vertimientos V1CP y V2CP en época de lluvia, haciendo uso de la fórmula establecida en el decreto 1076 del 2015. Fuente: Autor, 2018