



**Diseño de una guía ambiental para minimizar la afectación del cultivo de trucha en la laguna de Tota, municipio de Aquitania, Boyacá**

**2002-020**

Universidad El Bosque  
Facultad de Ingeniería  
Programa Ingeniería Ambiental  
Bogotá, Mayo de 2021



Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Ambiental**

Autora:  
Laura Viviana Molina Paredes

Directora:  
Isabel Cristina Narváez Jiménez

Líneas de Investigación:  
Responsabilidad Social  
Manejo Integrado del Recurso Hídrico

Universidad El Bosque  
Facultad de Ingeniería  
Programa Ingeniería Ambiental  
Bogotá, Colombia

2021

### **Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional**

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

## ***Dedicatoria***

*A Dios por iluminarme siempre y permitirme llegar a este punto, a mis padres y a mi abuelita María por apoyarme en todo momento en mi carrera universitaria y en toda mi vida, a Juan Sebastián García y a mi hijo por darme la fortaleza de seguir siempre adelante, finalmente a la Universidad El Bosque por guiarme en todo mi proceso formativo como Ingeniera Ambiental.*

## **Agradecimientos**

Después de un intenso período de aprendizaje, no solo en el campo investigativo, sino también a nivel personal, hoy escribo este apartado como un reconocimiento a quienes han contribuido con mi formación profesional, todos ellos vienen a mi mente con profunda gratitud, recuerdos cargados de emociones y sentimientos de alto aprecio y reconocimiento para tantas personas de invaluable espíritu de servicio y apoyo a la formación de los nuevos profesionales.

Me gustaría agradecer a la Universidad El Bosque por haber dirigido todo mi proceso formativo como Ingeniera Ambiental, también agradecer a todos mis docentes y en especial a los profesores Hommy Copete, Viviana Osorno, Carlos Quintero e Isabel Narváez por su colaboración en el desarrollo de este proyecto. Les agradezco infinitamente por haberme apoyado enormemente y siempre haber estado ahí para ayudarme y guiarme cuando lo necesitaba.

Quiero agradecer a mis padres y a mi tía Stella por sus sabios consejos, su comprensión y toda la ayuda que me han brindado durante toda mi carrera. Agradezco también a Juan Sebastián García, porque siempre ha estado ahí para mí y gracias a las palabras de aliento que siempre tiene en los momentos difíciles es que hoy finalmente estoy culminando mi proceso de formación como ingeniera.

Finalmente, quiero agradecer a mis amigas y compañeras de carrera por el aprendizaje continuo y sus aportes a mi persona, les agradezco porque con su apoyo, hoy estoy culminando mi proceso.



## 1. Tabla de Contenido

<b>2.</b>	<b>Listado de Tablas.....</b>	<b>9</b>
<b>3.</b>	<b>Listado de Figuras.....</b>	<b>9</b>
<b>4.</b>	<b>Resumen.....</b>	<b>10</b>
<b>5.</b>	<b>Abstract.....</b>	<b>10</b>
<b>6.</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>11</b>
<b>7.</b>	<b>Planteamiento del problema.....</b>	<b>12</b>
<b>8.</b>	<b>Justificación.....</b>	<b>13</b>
<b>9.</b>	<b>Pregunta de Investigación.....</b>	<b>14</b>
<b>10.</b>	<b>Objetivo general y objetivos específicos.....</b>	<b>14</b>
10.1	<i>GENERAL.....</i>	<i>14</i>
10.2	<i>ESPECÍFICOS.....</i>	<i>14</i>
<b>11.</b>	<b>Marco de referencia.....</b>	<b>14</b>
11.1	<i>Antecedentes.....</i>	<i>15</i>
11.2	<i>Estado del arte.....</i>	<i>16</i>
11.2.1	<i>Nivel Suramericano.....</i>	<i>16</i>
11.2.2	<i>Nivel Nacional.....</i>	<i>19</i>
11.2.3	<i>Nivel Regional.....</i>	<i>20</i>
11.3	<i>Marco Conceptual.....</i>	<i>21</i>
11.4	<i>Marco Teórico.....</i>	<i>23</i>
11.5	<i>Marco legal y normativo.....</i>	<i>28</i>
11.6	<i>Marco Geográfico.....</i>	<i>29</i>
11.6.1	<i>Descripción del territorio.....</i>	<i>29</i>
11.6.2	<i>Extensión del municipio.....</i>	<i>31</i>
11.6.3	<i>Descripción ecológica.....</i>	<i>32</i>
11.6.4	<i>Descripción social.....</i>	<i>33</i>
11.6.4.1	<i>Situación Demográfica.....</i>	<i>33</i>
11.6.4.2	<i>Pobreza.....</i>	<i>34</i>
11.6.4.3	<i>Necesidades básicas insatisfechas (NBI).....</i>	<i>36</i>
11.6.5	<i>Descripción económica.....</i>	<i>36</i>
11.6.6	<i>Descripción de la laguna de Tota.....</i>	<i>37</i>
11.7	<i>Marco institucional.....</i>	<i>38</i>

<b>12. Metodología.....</b>	<b>39</b>
12.1 <i>Diseño Metodológico.....</i>	39
12.1.1 <i>Enfoque Cualitativo (E).....</i>	39
12.1.2 <i>Alcance descriptivo y correlacional (A) . ..</i>	39
12.1.3 <i>Unidad de análisis (U).....</i>	40
12.1.4 <i>Técnica (s).....</i>	40
12.1.5 <i>Instrumento (s).....</i>	40
12.1.6 <i>Materiales y Equipos.....</i>	42
12.2 <i>Esquema metodológico con objetivos.....</i>	43
12.3 <i>Desarrollo Metodológico .....</i>	44
<b>13. Plan de trabajo establecido .....</b>	<b>47</b>
13.1 <i>Plan de Trabajo.....</i>	47
13.2 <i>Presupuesto Proyectado.....</i>	48
13.3 <i>Cronograma del Proyecto .....</i>	48
<b>14. Aspectos Éticos .....</b>	<b>49</b>
<b>15. Resultados .....</b>	<b>49</b>
15.1 <i>Resultado Objetivo Específico 1 .....</i>	49
15.2 <i>Resultado Objetivo Específico 2 .....</i>	55
15.3 <i>Resultado Objetivo Específico 3 .....</i>	62
<b>16. Análisis y Discusión de Resultados.....</b>	<b>90</b>
16.1 <i>Discusión Primer Objetivo .....</i>	90
16.2 <i>Discusión Segundo Objetivo.....</i>	91
16.3 <i>Discusión Tercer Objetivo.....</i>	92
<b>17. Conclusiones .....</b>	<b>93</b>
<b>18. Recomendaciones.....</b>	<b>94</b>
<b>19. Bibliografía .....</b>	<b>95</b>
<b>20. Anexos .....</b>	<b>101</b>

## 2. Listado de Tablas

<i>Tabla 1. Concentración de fósforo total y materia orgánica en la zona de jaulas y libre.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 2. Normatividad vigente para regulación de recurso hídrico en Colombia.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 3. Materiales y equipos empleados para la realización del proyecto.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 4. Matriz propuesta para la evaluación e identificación de impactos.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 5. Matriz propuesta del modelo DPSIR.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 6. Matriz propuesta para la evaluación de normativa.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 7. Presupuesto proyectado para la realización del proyecto.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 8. Cronograma de realización del proyecto.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 9. Matriz de identificación de impactos ambientales.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 10. Matriz DPSIR de reconocimiento de impactos en la laguna.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 11. Normativas a nivel nacional relacionadas con el recurso agua.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 12. Normativas a nivel suramericano relacionadas con el recurso agua.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 13. Matriz de evaluación de normativas a nivel nacional.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 14. Matriz de evaluación de normativas a nivel suramericano.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 15. Tabla de contenido de la Guía Ambiental propuesta para la mitigación de los impactos por el cultivo de trucha arcoíris.....</i>	<i>61</i>

## 3. Listado de Figuras

<i>Figura 1. Vista panorámica del embalse Alicura, provincia Neuquén, Argentina.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2. Objetivos de desarrollo Sostenible adoptados en la Asamblea General de la ONU.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3. Imagen comparativa de un ecosistema acuático en condiciones normales y un ecosistema acuático con problemática de eutrofización.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 4. Marco teórico de la investigación.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 5. Diagrama desarrollo sostenible.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 6. Servicios ecosistémicos y su clasificación.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 7. Localización del sector de estudio.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 8. Vista panorámica de la laguna de Tota.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 9. Límites y jurisdicción del municipio de Aquitania.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 10. Gráfico representativo de la situación demográfica en el municipio de Aquitania.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 11. Hogares en condición de pobreza en la provincia de Sugamuxi.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 12. Hogares en condición de pobreza extrema en la provincia de Sugamuxi.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 13. Necesidades básicas insatisfechas en la provincia de Sugamuxi.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 14. Organigrama de las instituciones involucradas en el proyecto.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 15. Definición de alcance, unidad, enfoque, técnica e instrumentos de la investigación.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 16. Definición de procedimientos para el desarrollo de la actividad.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 17. Definición de procedimientos para el desarrollo de la actividad.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 18. Definición de procedimientos para el desarrollo de la actividad.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 19. Esquema metodológico trazado con objetivos y actividades.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 20. Plan de trabajo trazado en conjunto con las fases del proyecto.....</i>	<i>45</i>

<i>Figura 21. Delimitación e identificación de la cuenca de la laguna y las piscifactorías.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 22. Causas identificadas de la problemática del cultivo de trucha en la laguna de Tota.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 23. Amenazas identificadas al recurso debido a la problemática del cultivo de trucha en la laguna de Tota.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 24. Ejemplo del ciclo del nitrógeno (N) y fósforo (P) en los peces.....</i>	<i>53</i>

#### **4. Resumen**

En este trabajo de grado se evaluó el impacto ambiental y socioeconómico que se ha generado sobre la laguna de Tota, tomada como un ecosistema de agua dulce de gran importancia en Colombia, con el objetivo de formular una Guía Ambiental como contribución para mitigar las afectaciones del cultivo de trucha. Con datos obtenidos de entidades como la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca y la Corporación Autónoma de Boyacá (CORPOBOYACÁ), se adaptó una metodología de revisión documental, para la identificación de los productores y los impactos en la laguna. Con esta información se evaluaron los aspectos, impactos y normativas referentes a la actividad piscícola, además del planteamiento de la Guía enfocada al desarrollo sostenible en la producción de trucha. Según los resultados obtenidos, se evidencia la contaminación de la laguna por la producción intensiva de trucha y se recomienda a los productores, con cooperación de la Autoridad Ambiental, modificar los métodos de producción a unos más sostenibles para minimizar a largo plazo la contaminación de la laguna.

**Palabras clave:** *Laguna de Tota, Impactos Ambientales, Ecosistema, Biodiversidad, Calidad del Agua, Trucha Arcoíris, Acuicultura*

#### **5. Abstract**

In this work of degree was evaluated the Environmental and socioeconomic impact that has been generated on the lagoon of Tota, taken as a freshwater ecosystem of great importance in Colombia, with the aim of formulating an Environmental Guide as a contribution to mitigate the effects of trout cultivation. With data obtained from the National Authority of Aquaculture and Fisheries (AUNAP) and the Autonomous Regional Corporation of Boyacá (CORPOBOYACÁ), a documentary review methodology was adapted for the identification of producers and impacts on the lagoon. With this information, the aspects, impacts and regulations relating to fish farming were evaluated, in addition to the approach of the Guide focused on sustainable development in trout production. According to the results obtained, the contamination of the lagoon by the intensive production of trout is evident and it is recommended to the producers, with cooperation of the Environmental Authority, modify

production methods to more sustainable ones to minimize long term contamination of the lagoon.

**Keywords:** *Tota Lagoon, Enviromental Impacts, Ecosystem, Biodiversity, Water Quality. Rainbow Trout, Aquaculture*

## 6. Introducción

Los impactos negativos en la calidad del agua han venido preocupando y creciendo durante las últimas décadas en los países que se encuentran en vía de desarrollo. Las fuentes de agua potable están bajo la amenaza creciente de la contaminación debido a las actividades diarias en zonas rurales y urbanas, generando consecuencias de gran repercusión para la salud de niños y para las dimensiones económicas, ecológicas y sociales de comunidades y naciones (UNICEF, 2014).

En Colombia existe una gran variedad de cuerpos de agua, la mayoría de ellos situados por encima de los 2.700 msnm, denominados de alta montaña. Las lagunas constituyen una red de amortiguación de caudales y sedimentos provenientes de las cuencas altas, que son una importante reserva hídrica para uso humano (García 2016). Por su capacidad y riqueza hídrica, estos cuerpos se vienen utilizando para el desarrollo de actividades económicas de los municipios aledaños a él.

Por su parte, la cuenca de la laguna de Tota ha sido modificada por diversas actividades humanas, como deforestación, piscicultura y el monocultivo de cebolla larga (*Allium fistulosum*) con un elevado uso de agroquímicos y gallinaza cruda, causando deterioro de las características ecológicas del sistema léntico de alta montaña más grande de Colombia. Este ecosistema está ubicado en el departamento de Boyacá y cuenta con un área de aproximadamente 60 km<sup>2</sup> (Barrera , Espinosa, & Álvarez, 2019). De igual manera, la laguna de Tota se ve sumamente afectada por los vertimientos de residuos sólidos de las zonas mineras, zonas agrícolas, la pesca no controlada de la trucha arcoíris (jaulones) e industrias cercanas al área de la cuenca, por lo cual, se ha evidenciado una disminución alarmante en la población tanto en fauna como en flora nativa, dando así paso a problemas de eutrofización reduciendo drásticamente tanto el espejo de agua como el área de la laguna (Barrera , Espinosa, & Álvarez, 2019).

De acuerdo a lo anterior, en los últimos años que se ha evidenciado ésta pérdida del ecosistema, fundaciones en pro del desarrollo sostenible, en conjunto con la autoridad ambiental CORPOBOYACÁ, han tratado de llevar a cabo algunos programas de educación ambiental, que debido a que no tienen apoyo a nivel normativo no han tenido mucho efecto (Guzmán *et al.*, 2013).

Como se menciona en este apartado son muchos los factores que influyen en la problemática que actualmente está viviendo Tota. Durante el desarrollo de este proyecto, se tratará más a fondo uno de los procesos e impactos más relevantes de la laguna, el cultivo de trucha, aspecto que tiene muy poca atención en la actualidad, para lo cual se detallará en

el documento desde la relevancia de la formulación de esta Guía, cuyos apartados se proponen como lineamiento para modificar las prácticas acuícolas transformándolas en sostenibles, pasando por sus principales actores y los efectos que genera la actividad piscícola en el ambiente y finalizando en la formulación de la Guía Ambiental, que además de mostrar las diferentes complicaciones que acarrea este tipo de actividad económica, se expondrá una serie de acciones que se pueden implementar para mitigar el impacto ambiental.

## **7. Planteamiento del problema**

La laguna de Tota es un sistema estratégico en los Andes Nororientales porque brinda agua para potabilizar, sostiene el desarrollo agropecuario e industrial de municipios como Sogamoso, Aquitania y otros (aproximadamente 250.000 habitantes), es un atractivo turístico por ser el lago de alta montaña más grande del país. Ecológicamente es considerado centro de endemismos de vertebrados (Moncaleano & Calvachi, 2009), importante para la conservación y migración de aves y la conservación de diversa biota acuática (CONPES 3801, 2014; Pedroza & Rozo, 2017).

Este tipo de corredores naturales y sistemas estratégicos se pueden observar en las lagunas andinas de Junín (Perú), que al igual que en Tota, se evidenció que el cultivo inadecuado y en exceso de trucha arcoíris había generado un deterioro considerable, evento que en general se caracterizó por el incremento en las concentraciones de fósforo total ( $PO_4$  total), la disminución del oxígeno disuelto (DO) y de la transparencia del espejo de agua (Mariano et al. 2010), lo cual se traduce en una afectación clara del recurso hídrico, ocasionando que estos parámetros no cumplan con el estándar de calidad de agua para consumo humano, conllevando así a una disminución de la calidad de vida, debido a que uno de los principales servicios ecosistémicos que aporta la laguna de Tota es el aprovisionamiento de agua a los municipios aledaños de la misma (Sánchez, y otros, 2016),

Esta disminución del oxígeno disuelto (DO) y otros parámetros fisicoquímicos de la laguna de Tota se han venido presentando desde hace aproximadamente 30 años, sin que la autoridad ambiental competente CORPOBOYACÁ (Corporación Autónoma Regional de Boyacá) pueda aportar soluciones definitivas a los mismos. El gran espejo de agua que se conocía en la década de 1920 (aproximadamente más de 35.000 ha), se ha ido disminuyendo considerablemente con el paso de los años (actualmente se considera de 20.000 ha, disminución correspondiente a un 40%) debido a las actividades antrópicas que se desarrollan en sus alrededores. Entre estos factores se encuentran las actividades concernientes al proceso de producción piscícola (siembra de peces, alimentación y desechos de alimentos, heces generadas, desechos naturales de productos de limpieza, etc.), los cuales generan amenazas que no han sido manejadas de la manera adecuada por los empresarios y en gran medida las soluciones no están diseñadas acorde a la necesidad real del cuerpo hídrico debido a la escasez de información y de instrumentos como guías ambientales particulares sobre los impactos de estos cultivos a las fuentes hídricas.

## **8. Justificación**

La problemática ambiental del exceso de nutrientes en la laguna de Tota, se centra principalmente en el inadecuado manejo de las técnicas de cultivo de trucha en sus diferentes etapas de producción. Para mejorar este tipo de situación, se plantea el desarrollo de una guía ambiental con énfasis en las actividades que tengan un impacto de mayor grado en el ecosistema. Esta se realiza con el fin de diseñar directrices necesarias para mitigar las afectaciones al ambiente relacionadas directamente con las actividades propias del cultivo de trucha arcoíris que se evidencia en el cuerpo hídrico, específicamente en jurisdicción del municipio de Aquitania, debido a que se ha disminuido su espejo de agua en un 40% en los últimos 60 años (Espitia, 2010), razón por la cual es necesario evaluar la pertinencia que tiene este proyecto en las dimensiones ambientales.

Respecto a la dimensión ecológica, se incluye la implementación de prácticas sostenibles en los cultivos, que buscan mitigar la afectación del cuerpo hídrico y del territorio, la cual se podrá evidenciar en la medición de aspectos y parámetros ambientales principalmente en las esferas de agua (medición de DO, dureza total en ppm de  $\text{CaCO}_3$ , pH,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ) y suelo (textura, carbonatos de calcio  $\text{CaCO}_3$ , materia orgánica, fósforo disponible  $\text{P}_2\text{O}_5$ , pH, conductividad eléctrica, cationes intercambiables) a largo plazo y por consiguiente una mayor posibilidad de recuperación de los recursos.

En cuanto a la dimensión social, este proyecto busca generar un incremento en la cultura y educación ambiental de la población de acuicultores de Aquitania, esto gracias a la formulación de la guía ambiental, que además de aportar en la mejora de las condiciones del cultivo, puede originar un incremento a la calidad de vida de los habitantes de la cuenca de la laguna de Tota, debido a que al recuperar a largo plazo el cuerpo de agua, en consecuencia se mejorará la calidad del recurso que se destina al abastecimiento de los acueductos veredales.

Por otra parte, es concerniente evaluar la justificación de este proyecto desde la perspectiva política, debido a que la afectación al cuerpo hídrico se debe en gran medida a una débil actuación tanto a nivel municipal y departamental como a escala de las Corporaciones Autónomas Regionales, ya que no existe suficiente apoyo en cuanto a normativas y demás políticas para contrarrestar los efectos evidentes en la laguna, por lo tanto este documento tiene relevancia como una herramienta para proveer nuevos lineamientos y legislaciones en la cuenca que modifiquen la forma de cultivo de trucha, evitando así más impactos en el ecosistema y mayor posibilidad de recuperación a largo plazo. Por su parte, también se justifica este proyecto desde las esferas cultural y tecnológica, debido a que se puede presentar un incremento tanto en la cultura y educación ambiental de la población aledaña a la laguna involucrando sus conocimientos en la protección del recurso, así como un interés en la implementación de nuevas tecnologías, no solo para el cultivo de trucha, sino también para el resto de las actividades económicas que circundan la laguna de Tota.

Finalmente, en cuanto a la dimensión económica, la implementación de este proyecto implicaría una disminución en los costos de seguimiento y tratamiento por parte de CORPOBOYACÁ en la jurisdicción del cultivo de trucha y beneficiaria en gran parte a la

población de piscicultores al proponer nuevas alternativas para el manejo del cultivo, las cuales al mitigar sus impactos mejorarían la condición de vida de la trucha, disminuyendo la morbilidad y mortalidad de la especie y en consecuencia obteniendo una mayor oferta en el mercado y la disminución de costos de tratamientos para enfermedades y al ver el cambio positivo en el área de la laguna correspondiente al municipio de Aquitania, la implementación de este instrumento puede ser de interés para las administraciones municipales y piscicultores de los otros municipios aledaños

## **9. Pregunta de Investigación**

¿Cómo aporta el diseño de una guía ambiental en la mejora de los procesos productivos realizados en el cultivo de trucha en el municipio de Aquitania para que estos se conviertan en una actividad industrial sostenible?

## **10. Objetivo general y objetivos específicos**

### **10.1 GENERAL:**

Formular una guía ambiental base como lineamiento para mitigar las afectaciones de la industria del cultivo de trucha presente en la laguna de Tota, municipio de Aquitania, Boyacá, como contribución a la protección del recurso hídrico.

### **10.2 ESPECÍFICOS:**

- Identificar las etapas del cultivo de trucha donde se generan los principales impactos ambientales relacionados con la afectación de la laguna de Tota.
- Evaluar normativas de protección del recurso hídrico, a nivel nacional y suramericano, implicados en alternativas sostenibles para las actividades del cultivo con mayor impacto ambiental.
- Definir los apartados claves de la guía ambiental que contribuyan a minimizar el impacto ambiental reflejado en la disminución del espejo de agua, involucrando de forma directa a los empresarios piscícolas de Aquitania.

## **11. Marco de referencia**

### 11.1 Antecedentes

La laguna de Tota, ubicada en el departamento de Boyacá, en jurisdicción de los municipios Aquitania, Tota y Cuítiva, es un espacio con reconocidos valores naturales y culturales, que gracias a su considerable extensión ha sido constituida como un importante refugio para biota acuática Andina, además de, presentar altos niveles de endemismo de avifauna en Colombia y un importante lugar de paso de aves migratorias norteamericanas y como valores económicos, es una fuente que genera grandes ingresos y empleos a través del desarrollo de los diferentes subsectores que se realizan en los alrededores de la laguna, siendo los principales los piscícolas y agropecuarios.

La actividad piscícola que se implementa en esta zona del altiplano cundiboyacense es el cultivo de trucha arcoíris, la cual, está catalogada como una de las cien (100) especies exóticas invasoras más dañinas del mundo (Lowe et al. 2004), y que fue introducida en la laguna de Tota aproximadamente en 1939 (Pérez Preciado 2014). El ingreso de esta, se presume, causó daños a especies nativas de la cuenca, por ejemplo el pez graso, *Rhizosomichthys totae* (Miles), posiblemente extinto (Moncaleano Niño & Calvachi Zambrano, 2009).

María Merino, Sara Bonilla y Fernando Bages, en su artículo “Diagnóstico del estado de la acuicultura en Colombia”, manifiestan que en la década de los 90’s, la mayoría de los acuicultores presentes en la laguna, no tenían claro el impacto ambiental que se podía generar en el cuerpo de agua a raíz del cultivo de trucha y las afectaciones a la salud, por lo tanto, aumentaron cada vez más la producción. De acuerdo a la información suministrada por Carolina Ramírez y Arturo López, agentes de la empresa de ecoturismo Ecoaquitania Tours, hace unos 20 años aproximadamente, tan solo se encontraban 2 pisciculturas en el territorio, ubicadas en las zonas de los pozos y las cintas. A raíz de las buenas ganancias que generaba esta actividad para el municipio, se aumentó poco a poco la producción de trucha hasta lograr una escala elevada hacia el año 2005, lo que ha ocasionado un deterioro considerable en el ecosistema. Actualmente, la laguna de Tota cuenta con 8 piscicultores identificados que utilizan la técnica de jaulas inmersas, la cual, de acuerdo al Manual Práctico de Cultivo de Trucha Arcoíris de la FAO (2014), es catalogada como la ideal para la implementación de un cultivo intensivo.

Como se mencionó anteriormente, dentro del cultivo de trucha, se maneja principalmente el uso de la técnica de jaulas inmersas, puesto que en su mayoría, estas especies son cultivadas en cuerpos de agua tales como lagunas y embalses que facilitan su producción (FAO, 2014). En cuanto a su manejo en esta zona y las técnicas implicadas en su desarrollo, sumado al análisis que se está realizando a partir de la revisión documental, se resalta que el bajo nivel de cultura ambiental de la comunidad presente en el territorio, causado por la poca cobertura en programas de educación ambiental y las deficiencias en calidad y cubrimiento de necesidades básicas (saneamiento básico, agua), causan un deterioro importante en este cuerpo hídrico, lo cual, se refleja en el espejo de agua, debido a que presenta señales de

alteración relacionadas con descarga de nutrientes provenientes de cultivos de cebolla y trucha arcoíris, además, de forma paralela, los provenientes de aguas residuales que pueden ser domésticas y no domésticas de los municipios que conforman la cuenca, lo que en consecuencia muestra una acelerada disminución de la transparencia en la columna de agua en los últimos quince (15) años (Aranguren-Riaño et al., 2018), así como aumento en la densidad de fitoplancton (Muñoz-López, Aranguren-Riaño, & Duque, 2017), y expansión de litoral en sectores como Hato Laguna (CORPOBOYACÁ), lo que finalmente está causando una evidente transformación paisajística.

El exceso de nutrientes en el agua, principalmente nitrógeno y fósforo (Mariano et al. 2010), es causante de la eutrofización, la cual, se define como el proceso de contaminación más importante de las aguas en lagos, lagunas, balsas, etc (Mariano et al. 2010). En el caso particular de los cultivos piscícolas en Tota, se evidencia que se debe en gran medida a las prácticas inadecuadas que se realizan en la inclusión de los jaulones de trucha, afectando así la calidad del agua, la disminución del oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>) y propagando el crecimiento de organismos que aportan cada vez más materia orgánica a la laguna, causando así el deterioro de la cuenca y fuente hídrica más importante de la región (CORPOBOYACÁ).

## 11.2 Estado del arte

Para la elaboración del estado del arte, como referente de identificación del territorio perteneciente a la cuenca hidrográfica de la laguna de Tota, se hizo la revisión de información relativa a causas e impactos del inadecuado uso y manejo de los recursos, basándose en artículos y documentos que aportan una visión a nivel suramericano, nacional y regional sobre el cultivo de trucha.

La trucha es un pez de la familia de los salmónidos; el nombre se usa específicamente para tres géneros de dicha familia: *Salmo*, referente a las especies del Atlántico, *Oncorhynchus*, que incluye los linajes del Pacífico, y *Salvelinus*, estirpe originaria de Norteamérica (Trinidad Urbano, 2019). Las truchas del género *Oncorhynchus* son las más empleadas para el cultivo en cautiverio, siendo la *Oncorhynchus mykiss* o trucha arco iris, la especie de mayor cultivo a nivel mundial, debido a su resistencia y facilidad de cría (Trinidad Urbano, 2019). A continuación, se especifica lo relacionado con cultivo de trucha a nivel suramericano, nacional y regional.

### 11.2.1 Nivel Suramericano

La trucha arcoíris es originaria del océano Pacífico en América del Norte y se extiende desde Alaska, hasta el límite entre México y California. Esta especie ha sido introducida desde 1874 en las aguas de todos los continentes, excepto la Antártida, con propósitos recreacionales para pesca deportiva y para acuicultura (FAO, 1990).

Como resultado de las importaciones se han desarrollado varios linajes, variedades, razas y estirpes de la trucha arcoíris. Otras han surgido a través de selección masiva y entrecruzamiento para mejorar la calidad de los peces destinados a la piscicultura. Su cultivo es practicado, en muchos países tropicales y subtropicales de Asia, este de África y principalmente Sudamérica (FAO, 1990).

La acuicultura en Sudamérica empieza con la introducción de especies de agua dulce en lagos y embalses para la pesca deportiva. Con este objetivo, se introdujeron a principios de siglo la trucha arcoíris (*Salmo gairdneri*) y la carpa (*Cyprinus carpio*) en países como Argentina, Chile, Perú, Brasil y Colombia (FAO, 1990).

### ARGENTINA:

El embalse Alicura – localizado entre las provincias de Neuquén y Río Negro – constituye el punto principal para la cría de trucha arcoíris en Argentina. (CONICET, 2018). La rama de la “piscicultura de aguas frías” (específicamente referida al cultivo de trucha), que es la más antigua, posee su mayor expresión en la amplia región norpatagónica. A nivel artesanal, los cultivos responden a la década del ‘70 al ‘80 aproximadamente y a partir de la apertura de los embalses situados en dicha región (circa 1992) se incrementó la producción con la característica de cultivos en jaulas; ya que estos cuerpos de agua, presentan características ambientales ideales para un desarrollo intensivo; pudiendo aumentarse el volumen de los cultivos en peces Salmónidos (Luchini, 2005).

*Figura 1. Vista panorámica del embalse Alicura, provincia Neuquén, Argentina*



*Fuente: Portal oficial del Estado Argentino, 2017*

El análisis de las características ambientales y calidad general del agua se comprende por los datos sobre calidad física, química, biológica y microbiológica de las aguas y la mención de las poblaciones de salmónidos silvestres residentes. Estas poblaciones están constituidas por truchas de carácter exótico para el territorio argentino y fueron introducidas a principios del siglo XX y consideradas en varios casos como de carácter “asilvestrado” puesto que en determinados ambientes, han formado poblaciones auto sostenibles, a través del tiempo transcurrido desde su

introducción y a favor de las periódicas repoblaciones efectuadas por las autoridades nacionales y provinciales (Luchini, 2005).

En los resultados presentados en el informe técnico sobre la calidad de agua y sedimentos en la piscicultura “Truchas y Salmones de Alicura”, se muestra un incremento en los valores de fósforo total (medido en ug/g) y materia orgánica (medida en mg/g) de los cultivos de trucha cuando se realiza con técnica de jaulas y con técnica libre, valores que se muestran dentro de la tabla 1.

Tabla 1. Concentración de fósforo total y materia orgánica en la zona de jaulas y libre

Tipo de cultivo	FÓSFORO TOTAL (ug/g)	MATERIA ORGÁNICA (mg/g)
Jaulas	4178	30.5
Libre	162	13

Fuente: (Luchini, 2005)

Referente a las investigaciones y proyecciones de desarrollo sostenible del cultivo de trucha arcoíris, varias Universidades Nacionales directa o indirectamente realizan estudios dirigidos a la acuicultura sostenible. A ellas, se suman los Centros dependientes del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - CONICET-, con desarrollos relacionados con la acuicultura en temas referidos a diferentes especies. El Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC), Delegación de la Dirección de Acuicultura de la estructura del Ministerio de Agroindustria, dentro del área de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, lleva adelante un programa denominado “Acuicultura en el Agro”, para apoyar el avance de la producción limpia de acuicultura de agua dulce en el país y especialmente, en lo que se refiere al desarrollo de nuevas tecnologías aptas para cultivo avanzado de especies de peces de clima templado (FAO, 2005).

### PERÚ:

Por su parte, la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) es la especie que se cultiva en diferentes cuerpos de agua de los andes del Perú, destacando la región Puno en la producción nacional. En esta provincia, durante la última década, la acuicultura viene experimentando un masivo crecimiento debido a una demanda creciente de trucha fresca y disponibilidad de recursos hídricos y la laguna de lagunillas; donde operan 664 productores de un total de 799 que cuentan con concesión vigente (Chura & Mollocondo, 2009). El 52% de concesiones para actividades acuícolas, se ubican en el lago Titicaca que concentran al 48% de productores. En el 2015, la producción de trucha fresca en la región de Puno fue de 33.26 t. La mayor parte de esta producción consume el mercado regional, siendo las más importantes Juliaca (23%), Puno (13%), Chucuito (11%), y Yunguyo (5%); fuera de la región se

comercializa solo el 27%, siendo el mercado del Cusco el más importante, (19%), seguido de Arequipa (3%) y Tacna (3%) (Chura & Mollocondo, 2009).

En cuanto a producción, el cultivo de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Perú, en la última década, ha tenido un crecimiento vertiginoso, de un promedio anual del 21%, y una producción en 2016 de 52.217 toneladas; desarrollándose con relativo éxito en la zonas altoandinas. De hecho, en el año 2016, el departamento de Puno se sitúa como el principal productor de trucha con más 43.000 toneladas, lo que representa más del 80% de la producción nacional, seguido por Huancavelica, Junín, Cusco, Ayacucho, Lima, entre otros (Chura & Mollocondo, 2009).

Se estima, así, que en el 2021, la producción de trucha podría alcanzar las 78.820 toneladas, mientras que la importación de ovas para el mismo periodo se prevé que sea de 329,851.000, “debido al crecimiento en la demanda de trucha en el mercado interno y el ingreso a nuevos mercados internacionales”. Respecto a la comercialización, y de seguir la tendencia actual, las estimaciones para la comercialización interna se sitúan en las 73.274 toneladas; mientras que la exportación de trucha debido a la apertura de nuevos mercados en el 2021 podría situarse en las 3.338 toneladas (Chura & Mollocondo, 2009).

### 11.2.2 Nivel Nacional

La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) perteneciente a la familia Salmonidae, es un pez originario de los tributarios del río Sacramento en California, Norteamérica y fue introducido en Colombia aproximadamente en 1939, para repoblamiento y aprovechamiento de ríos de aguas frías, en zonas de temperaturas entre 10 y 18°C (Núñez, *et al* 2010). Desde allí hasta la fecha, en el país ha aumentado el número de granjas dedicadas a la truchicultura, debido a la gran demanda existente por la delicadeza de su carne (Betancur, *et al* 2010).

Por presentar excelentes características para su producción en cautiverio, ha sido ampliamente distribuida en los cuerpos de aguas frías, en Colombia la producción de trucha arcoíris se ha convertido en el tercer grupo de peces más cultivado, después de las tilapias y las cachamas (Quintero, *et al* 2011), esta actividad se desarrolla en gran medida en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Tolima, Huila, Santander, Norte de Santander, Boyacá, Cauca, Nariño y Quindío; con liderazgo de Cundinamarca en la importación de ovas para la producción de semillas.

La producción de trucha tuvo sus mayores reportes a finales de los años noventa (90') (FAO, 2009), sin embargo, es una de las actividades económicas relacionadas con la producción de productos alimenticios de origen animal que continua creciendo rápidamente a comparación de otras actividades pecuarias (Núñez, *et al* 2010, Quintero, *et al* 2011).

### 11.2.3 Nivel Regional

Esta especie, originaria de los Estados Unidos, fue introducida a los ecosistemas colombianos desde hace muchos años, saliéndose de control y generando un notorio impacto sobre otras especies y la calidad del agua de diversos cuerpos hídricos donde habitan (Quintero, *et al* 2011). Principalmente en el departamento de Boyacá, más específicamente de los cultivos de trucha que se encuentran ubicados en la laguna de Tota.

Respecto a un crecimiento exponencial de esta especie, la sobrepoblación es evidente y si bien, no puede interpretarse esta circunstancia como algo completamente negativo, si ha de prestarse especial cuidado sobre este fenómeno que podría poner en riesgo la existencia de otras especies e incluso de los ecosistemas que habitan.

La sobrepoblación que se menciona, se debe a que al introducir una especie en un ecosistema en el que no evolucionó, una de las cosas particulares es que estas no tienen depredadores naturales como es el caso de la trucha arcoíris. Ese es la cuestión específica de esta familia, que en cuanto a peces, es uno de los géneros con mayor capacidad de invasión y de alteración de ecosistemas (Soto y Norambuena 2004).

En cuanto a la vigilancia del comportamiento y evolución de estos cultivos, los expertos señalan que por responsabilidad ambiental debe ser necesario un seguimiento, “Sus efectos implican pérdidas de otras especies, pues ellas pueden llegar a extinguir familias endémicas de peces, además de acabar con fauna de anfibios y el efecto sobre otros organismos que no son tan visibles llamados macroinvertebrados, los cuales se encuentran viviendo en el fondo de los lagos y de los ríos y afectan la calidad del agua”, agregó Yimy Herrera Martínez, biólogo y director del grupo de investigación Xiuá de la UPTC.

En el caso específico de la laguna de Tota, que es la mayor reserva de agua dulce natural potable del país, el uso del alimento y las heces producidas hacen que el fósforo se acumule, principalmente, en los sedimentos que se encuentran bajo las jaulas. Por esta razón, su acumulación se emplea como indicador de contaminación (Soto y Norambuena 2004), al igual que se utilizan los niveles de concentración de amonio (compuesto nitrogenado producto de la excreción de los peces), captados en las proximidades de las jaulas (Troell et al. 1997).

Estos compuestos evidenciados en los sedimentos se convierten en nutrientes del medio y generan lo que se conoce como fenómeno de eutrofización, el cual, causa cambios en la diversidad, desequilibrio de las relaciones tróficas por pérdida del control por parte de los organismos consumidores, incremento en la intensidad y frecuencia de floraciones algales y interrupciones de funciones ecosistémicas (Lotze et al. 1999). Del mismo modo, los diferentes químicos y antibióticos para combatir los brotes de enfermedades que afectan a las truchas se acumulan en el fondo y

pueden favorecer las condiciones anaeróbicas, propicias al surgimiento de bacterias más resistentes (Rabassó, 2006).

Para el seguimiento y control de la actividad acuícola en los diferentes cuerpos de agua dulce, existen regulaciones ambientales a nivel nacional e internacional: el Decreto 438 de 1985, el Decreto 1076 de 2015, la Ley 13 de 1990 reglamentada por el Decreto 2256 de 1991 y la Ley 99 de 1993 título reglamentado por el Decreto 2041 de 2014, así como los documentos emanados por el Departamento Administrativo de la Función Pública (2010) y las Naciones Unidas (2012). Existen varios estudios que tratan sobre la contaminación por el cultivo de peces (Pardo et al. 2006), su impacto y posibles tratamientos (Chaux et al. 2013).

### 11.3 Marco Conceptual

Para la realización de este apartado es necesario revisar los conceptos más relevantes respecto a la posible aplicación del desarrollo sostenible en los cultivos de trucha arcoíris.

En este caso, en primera instancia es importante entender el concepto de **sostenibilidad o desarrollo sostenible**, definido en el Informe Brundtland de la ONU, como aquellos caminos de progreso social, económico y político que satisfacen las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades (Zarta, P., 2018). Explicado en otras palabras, se piensa en desarrollo sostenible cuando las actividades económicas proveen planes y objetivos que se fundamenten en los pilares de la Triple Vertiente de la Sostenibilidad (Crecimiento económico, sostenibilidad social y sostenibilidad ecológica). Este concepto se comprende actualmente como base fundamental de actividades relacionadas como construcciones, programas, planes e incluso algunas determinaciones administrativas o de planificación ambiental en territorios específicos.

En cuanto a los motivos por los cuales muchas actividades económicas han puesto en práctica este equilibrio sostenible, se encuentran los impactos ambientales que pueden causar dichas actividades, los cuales, por lo general ocurren si los procedimientos no se establecen con un buen esquema de planeación y producción limpia, generando a su vez efectos a nivel social, económico, cultural e incluso, a largo plazo, afectaciones en la salud. Es por esta razón, que en septiembre de 2015, Jefes de Estado, dirigentes gubernamentales, representantes de alto rango de las Naciones Unidas y entidades de la sociedad civil se reunieron en la 70ª Asamblea General de la ONU, adoptando así los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

*Figura 2. Objetivos de desarrollo Sostenible adoptados en la Asamblea General de la ONU*



Fuente: (UNESCO, 2015)

Siguiendo con este orden de ideas, es necesario direccionar la definición de desarrollo sostenible hacia los conceptos de **recurso hídrico** e **indicador de calidad del agua**. El primero, está definido en el marco de Gestión Integral del Recurso Hídrico como “los depósitos e insumos de agua dulce que, en distintos, estados físicos, estando disponibles o potencialmente aprovechables, pueden ser utilizados por el ser humano para satisfacer alguna necesidad” (Ministerio de Ambiente, 2012). Por su parte, se puede decir que un indicador es una expresión cuantitativa observable y verificable que permite describir características, comportamientos o fenómenos de la realidad, lográndose a través de la medición de una variable o una relación entre variables (OCDE, 2003).

Teniendo en cuenta el concepto de indicador, se procede a exponer la definición de **indicador ambiental**, el cual, se entiende como “una medida directa o indirecta de la calidad ambiental que se puede usar para evaluar el estado y las tendencias en la capacidad del medio ambiente para apoyar la salud humana y ecológica” (MADS, 2012).

Por lo tanto, teniendo presente las definiciones anteriores, un **indicador de calidad de agua** consiste básicamente en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros, los cuales, sirven como una medida de la calidad del agua (MADS, 2012). Estos, pueden ser representados por un número, rango, descripción verbal, símbolo o color (UNIPAMPLONA, 2016). Una vez explicado este concepto en su totalidad, es necesario profundizar en la definición de **Indicador de Fósforo Total**, el cual, se encuentra especificado por la División de Calidad Ambiental del Departamento de Evaluación Ambiental Integrada como “un indicador que tiene como objetivo verificar el cumplimiento del estándar de calidad del agua. La concentración de fósforo total mide la cantidad de fósforo disponible en forma orgánica e inorgánica, disuelta y particulada en los sistemas acuáticos” (MVOTMA, D., 2016).

Finalmente, para la comprensión total de los conceptos que se requieren dentro del proyecto y teniendo en cuenta la finalidad del mismo, se expone la **eutrofización**,

como “un proceso natural en ecosistemas acuáticos, especialmente en lagos, caracterizado por un aumento en la concentración de nutrientes, tales como nitratos y fosfatos, y en consecuencia aportando cambios en la composición de la comunidad de seres vivos y descenso en los niveles de oxígeno.” (WRNP, 2000).

Figura 3. Imagen comparativa de un ecosistema acuático en condiciones normales y un ecosistema acuático con problemática de eutrofización

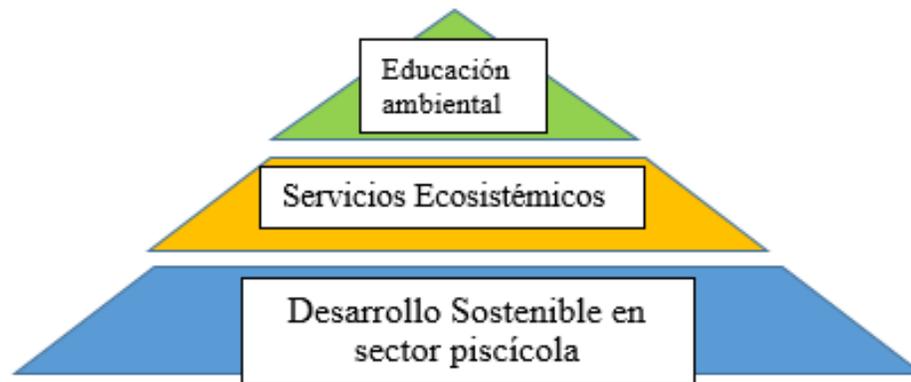


Fuente: (Fundación Aquae, 2011)

#### 11.4 Marco Teórico

En cuanto a la construcción de este apartado, es necesario tener en cuenta la jerarquía de teorías que permiten sustentar la presente investigación. En este sentido, tal y como se expresa en la figura 4, la teoría más general es el **desarrollo sostenible en el sector piscícola**, la cual, fundamentada de forma correcta, aporta una visión de la actividad económica manteniendo activa la triple vertiente de la sostenibilidad. En cuanto a la segunda escala, en orden de importancia, se encuentra todo lo relacionado con los **servicios ecosistémicos**, debido a que es necesario evaluar su participación tanto en el equilibrio de un ecosistema como en su aporte a los subsistemas del mismo. Finalmente, se presenta de forma más particular, las hipótesis relacionadas con la función de la **educación ambiental**, y como su inclusión en diversos programas, puede generar cambios y minimizar impactos contemplados en las dimensiones ecológica, económica y social.

Figura 4. Marco teórico de la investigación



*Fuente: (Autora, 2021)*

Según Dourejeanni (2000), el desarrollo sostenible tiene tres objetivos fundamentales: el crecimiento económico, la equidad (social, económica y ecológica) y la sostenibilidad ambiental.

Respecto al aporte inicial de este autor, esta teoría es propuesta en este trabajo, debido a que según otros autores, el desarrollo sostenible debe consistir en diferentes puntos como son el sostenimiento de los recursos naturales (Carpenter, 1991); Sostenimiento de los niveles de consumo (Redclift, 1987); Sostenibilidad de todos los recursos (Bojo *et al.*, 1990); y sostener los niveles de producción (Naredo, 1990). Como una adición a la teoría, referente al concepto básico de contemplar un ecosistema sostenible cuando mantiene a través del tiempo las características fundamentales en cuanto a componentes, según Souza (2001), la sostenibilidad implica ir más allá de la racionalidad instrumental y económica, se debe implicar también la racionalidad comunicativa, la cual, convierte los problemas complejos en antropogénicos que emergen de la interacción humana.

Al definir este componente teórico, se infiere que si la sostenibilidad es una propiedad que emerge de la interacción humana, todas las alternativas sostenibles podrán surgir a través de un aprendizaje social, proponiendo una interacción constante entre los actores claves de los procesos, comprometiéndose a colocar en marcha acciones concertadas (Souza, 2001).

Por su parte, Dürr (1999) señala que la sostenibilidad requiere algo más que garantizar el *status quo*, la materia esencial de nuestros ecosistemas. Como señala en su aporte, esta tiene que garantizar un potencial reproductor y una capacidad de supervivencia a largo plazo.

Finalmente, Souza, Cheaz y Calderón (2005) también afirman que no puede existir un desarrollo sostenible si no existe la posibilidad de instituciones sostenibles, las cuales pueden aportar además de sus matrices institucionales, las condiciones necesarias para la implementación de planes, programas y proyectos de

sostenibilidad propuestos en el contexto de marco de desarrollo de cada nación. Cada uno de estos aportes a la teoría se puede ver reflejado en la figura 5, la cual vincula las dimensiones social, económica y ecológica.

Figura 5. Diagrama desarrollo sostenible



Fuente: (Ayuntamiento de Huelva, 2018)

Como una teoría intermedia, este proyecto contempla la **teoría de servicios ecosistémicos**, la cual, permite analizar el vínculo que existe entre el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano. La teoría y empleo de los servicios ecosistémicos surge de la necesidad de enfatizar su estrecha relación, además de un posible acercamiento a las problemáticas ambientales que se presentan actualmente en los diferentes sectores productivos.

El entendimiento de esta conexión entre el ambiente que nos rodea y el bienestar humano data al menos de 2,400 años (Mooney y Ehrlich, 1987). Las primeras referencias al respecto se encuentran en los textos de Platón, las cuales, se retoman en diversos textos y culturas a través de los siglos.

La teoría de “Servicios” ofrecidos por los ecosistemas hacia las poblaciones humanas surge a consecuencia del movimiento ambientalista de finales de los años 60 (Mooney y Ehrlich, 1987). Gracias a este, se hace realidad la crisis ambiental y

comienzan nuevos cuestionamientos acerca de los impactos y la capacidad del planeta para mantenerse y producir suficiente bienes para las poblaciones humanas.

Respecto a la evolución de la teoría de servicios ecosistémicos, en la actualidad se pueden distinguir cuatro grandes tipos de enfoques al estudio de los servicios ecosistémicos. El primero, que consiste en la búsqueda de marcos conceptuales y metodológicos inter o transdisciplinarios, es el enfoque de la teoría que se puede emplear de mejor forma en este trabajo de grado.

En este sentido, analizando otros autores respecto al primer enfoque, Quétier y colaboradores (Quétier et al. 2007) presentan una reflexión general sobre aspectos conceptuales que permiten hacer un estudio interdisciplinario de los servicios ecosistémicos, analizando la definición misma de los servicios. Por su parte, Meynard y colaboradores (Meynard et al. 2007) proponen un modelo de investigación transdisciplinario al conjuntar un modelo ecológico, uno económico y uno educativo, demostrando como se vinculan estos modelos y entendimientos ecológicos con sus respectivas valoraciones económicas por el uso de dichos servicios, lo cual puede verse reflejado en la clasificación de los servicios ecosistémicos que se presenta en la figura 6.

*Figura 6. Servicios ecosistémicos y su clasificación*



Fuente: (Meynard, 2007)

Por último, para que las dos teorías anteriores alcancen su nivel de importancia es necesario poner en práctica la **teoría acerca de la educación ambiental**, la cual, ha tomado relevancia debido a la comprensión de las dimensiones física, socioeconómica y cultural cuando se habla de ambiente. El desarrollo de las poblaciones ha venido acompañado de una notable necesidad de una educación ambiental, esto considerando la conciencia del entorno y el rumbo que se debe tomar respecto a su protección.

La evolución de esta teoría a lo largo de los años surge a partir de los episodios de alta contaminación que se dieron con la Revolución Industrial. Si bien, los niveles de contaminación cambian con el paso de los años, en la década de los 70' del siglo XX, con las constantes crisis de petróleo, los diversos sectores de la sociedad empiezan a preocuparse por la creación de modelos de desarrollo que anulen las malas prácticas. Así pues, luego de que la política ambiental cobra gran importancia en muchos países desarrollados y hacen eco múltiples informes de científicos, se pone en marcha tanto el concepto como la evolución de las teorías de educación ambiental.

En este contexto, el comienzo real de la educación ambiental se establece con la fundación del Council for Environmental Education (Consejo de Educación Ambiental) en la Universidad de Reading (Reino Unido) en el año 1968. Este

consejo pretendía concentrar y dar impulso a trabajos sobre el ambiente en Escuelas y centros educativos del Reino Unido, es decir, implantar la educación ambiental desde las bases educativas, modelo que se implantaría después en más países.

A partir de 1983, cuando las Naciones Unidas crea la Comisión Brundtland con el fin de estudiar la interrelación de toda la problemática ambiental del planeta, y del año 1987 cuando se publica el informe “Nuestro Futuro Común” como resultado de las actividades de esa Comisión, los conceptos de Educación Ambiental y Desarrollo Sostenible quedan ligados, traducidos en la práctica en el compromiso con el entorno local.

### 11.5 Marco legal y normativo

A nivel nacional se encuentra una serie de normas que rigen el uso de suelo, conservación de territorios, participación ciudadana, ordenamiento territorial y manejo del recurso hídrico, los cuales tendrán una gran importancia en el desarrollo metodológico del objetivo específico número 2, debido a que son un insumo relevante para el proceso de formulación y evaluación de normativas que se registra en las tablas No, 13 y 14, ubicadas en la sección de resultados. En la tabla 2 se encuentran descritas las normativas más relevantes y qué se aplican al proyecto por su propósito para el territorio de la laguna.

*Tabla 2. Normatividad vigente para regulación de recurso hídrico en Colombia*

<b>Norma</b>	<b>Propósito</b>	<b>Secciones que aplican para el proyecto</b>
Resolución 1310 de 2017 (CORPOBOYACÁ)	Por medio de la cual se adoptan medidas para la protección de la laguna de Tota.	Artículo primero: Imposiciones para los piscicultores de la zona que pretendan seguir con la actividad económica.
Ley 1955 de 2019 (SENADO)	Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022	Artículo 3: Pacto 4 por la sostenibilidad. Artículo 111: Adquisición de áreas de interés para acueductos municipales. Decláranse de interés público las áreas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos que

		surten de agua los acueductos municipales y distritales
Ley 373 de 1997 (CONGRESO)	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.	Artículo 1 Artículo 2 Artículo 3 Artículo 4 Artículo 7 Artículo 12 Artículo 17
Ley 99 de 1993, reglamentada por el decreto 4688 de 2005 (DECRETO REGLAMENTARIO)	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, SINA, y se dictan otras disposiciones.	Título I Fundamentos de la política ambiental Colombiana Título VII De las rentas de las corporaciones autónomas regionales
Resolución 2145 de 2005 (MADS)	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1433 de 2004 sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV.	Artículo 1
Decreto 1640 de 2012 (MADS)	Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos	Artículo 1 Artículo 2
Ley 02 de 1959 (CONGRESO)	Reserva forestal y protección de suelos y agua	Artículo 1 Artículo 2 Artículo 5 Artículo 7 Artículo 9 Artículo 10

## 11.6 Marco Geográfico

### 11.6.1 Descripción del territorio





*Fuente: (Google Preview, 2020)*

### **11.6.2 Extensión del municipio**

En este apartado del marco geográfico es esencial centrarse en la descripción propia del municipio de Aquitania, puesto que es la zona de estudio donde están ubicadas la mayoría de las productoras piscícolas.

El Municipio de Aquitania, uno de los principales entes territoriales, se localiza en la cuenca de la laguna de Tota que pertenece a la Provincia de Sugamuxi del Departamento de Boyacá. Regionalmente posee una ubicación estratégica, al pasar por su territorio rural la vía que comunica al centro del país Bogotá con el Departamento del Casanare y con la vía Troncal de los Llanos que sirve de comunicación con la región de la Orinoquía, Venezuela y Sur América.

A continuación se especifican las características del municipio:

Superficie: 943 Km<sup>2</sup>

Número de habitantes: 13.860 (Censo Nacional DANE, 2018)

Densidad poblacional: 14,6 hab/Km<sup>2</sup>

Coordenadas geográficas: 72° 47' - 72°39' longitud W; 5° 25' - 5° 41' latitud N

Altura: 3.050 m.s.n.m. (Subpáramo)

Temperatura promedio: 13°C – 15° C

De las tres poblaciones que se encuentran bordeando la laguna de Tota, un 72% de su superficie está dentro del área de su municipio (Plan de ordenación y manejo de la cuenca de la laguna de Tota, 2014), como se evidencia en la figura 9.

Figura 9. Límites y jurisdicción del municipio de Aquitania.



Fuente: (E.S.E SALUD AQUITANIA, 2013)

En cuanto a su localización dentro del departamento de Boyacá, el municipio limita por el norte con Sogamoso, Cúitiva y Mongua, por el oriente con Pajarito, Recetor y Chámeza, por el sur con Zetaquirá, San Eduardo y Páez, y por el occidente Cúitiva, Tota, Zetaquirá y San Eduardo.

### 11.6.3 Descripción ecológica

En cuanto a la caracterización hidrográfica, esta laguna se encuentra entre las subcuencas de los ríos Chicamocha y Suárez; además posee altitudes que van desde los 2.600 hasta los 4.000 m.s.n.m.

En cuanto a su abastecimiento, cuenta con alrededor de 12 microcuencas que abastecen tres cuencas hidrográficas importantes: río Upía, río Cusiana (dos relevantes del sistema hídrico de la Orinoquía) y la laguna de Tota, los cuales, carecen de planes de ordenamiento para lograr un manejo adecuado buscando su sostenibilidad regional. (CONPES 3801 de 2014, MADS).

La característica del territorio de la cuenca, es la producción del recurso hídrico permitiendo el abastecimiento de las poblaciones cercanas y regionales como en el caso de la ciudad de Sogamoso. Pero a la vez, carece de programas para la preservación y manejo adecuado de las zonas de recarga de acuíferos, nacimientos y de bosques de ribera. La presencia de suelos aptos para agricultura y ganadería del territorio, ha ocasionado la sobre explotación del suelo en cultivos como la cebolla y la papa. (CONPES 3801 de 2014, MADS)

Por su parte, en su cuenca, se puede encontrar diversidad de fauna y flora, asociados principalmente al ecosistema de humedal, detectando así doce (12) especies de aves endémicas, nueve (9) de ellas acuáticas, cuatro (4) en peligro de extinción y una (1) catalogada como vulnerable. La laguna alberga alrededor de catorce (14) especies de aves migratorias del norte y del sur, en dos épocas del año, de las cuales siete (7) son acuáticas con poblaciones fluctuantes que ascienden a más de mil (1.000) individuos. Este ecosistema alberga la más grande cantidad de aves residentes en el altiplano cundiboyacense, razón por la cual, fue declarada como Área Internacional de Conservación de Aves, muchas de las cuales se encuentran en vía de extinción. Por su parte, también fueron detectados mamíferos como la comadreja (*Mustela frenata*), fura (*Didelphis sp.*) y conejo (*Sylvilagus brasiliensis*). En cuanto a la flora de la región, en la zona se encuentran pequeños relictos de bosque alto andino dominados por mortiño (*Hesperomeles sp.*) y chite (*Hipericum sp.*). Adicionalmente, se encuentran algunos sectores plantados con aliso (*Alnus sp.*), pino (*Pinus patula*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y acacia (*Acacia sp.*). (CONPES 3801 de 2014, MADS)

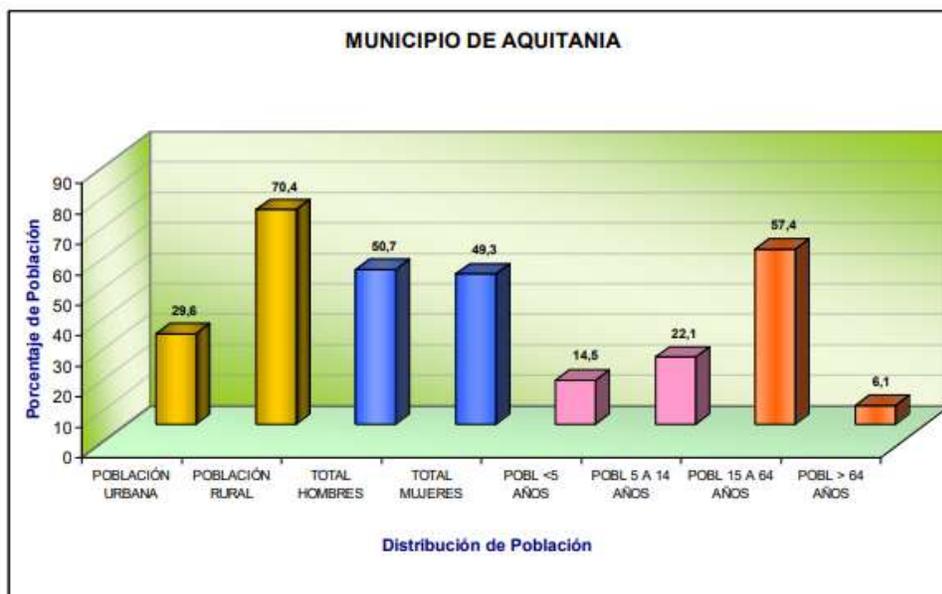
#### 11.6.4 Descripción social

Para abarcar todos los aspectos de una descripción social completa para el municipio de Aquitania, a continuación se exploran estos ítems:

##### 11.6.4.1 Situación Demográfica

El análisis de la información censal que presentó el DANE y el SISBEN, en los años 2018 y 2019 respectivamente, evidencia la estructura por edad y sexo de la población del municipio de Aquitania, lo que indica que el porcentaje de habitantes por género es muy similar, 50,2% para los hombres y 49,8% para las mujeres. Los menores de cinco años, representan el 9.9% y la población de 5 a 14 años, el 23.4%. La población en edad de trabajar (15 a 64 años) equivale al 56.4%, mientras que los mayores de 64 años el 10.3%. En estas condiciones la tasa de dependencia demográfica corresponde a 1.0, es decir, que por cada individuo en edad de trabajar existen 1.0 personas que dependen de la población económicamente activa. Este aspecto es positivo, si se tienen en cuenta que el alto porcentaje de población en edad de trabajar, propicia las condiciones para el desarrollo de la región, al participar en las diferentes actividades productivas del municipio (Gómez, 2006), lo que se evidencia en la figura 10.

*Figura 10. Gráfico representativo de la situación demográfica en el municipio de Aquitania*



Fuente: (DANE, 2005)

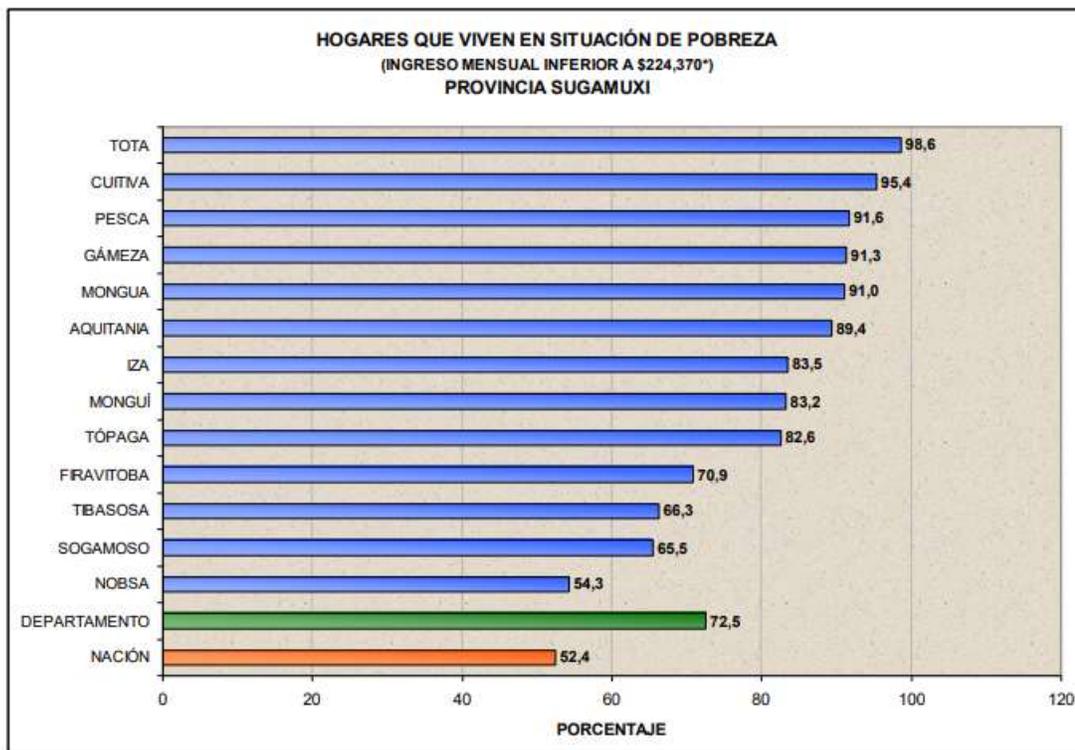
#### 11.6.4.2 Pobreza

En Aquitania el 89.4% de la población viven en condiciones de pobreza, y de ese porcentaje el 51.1% corresponde a condiciones de pobreza extrema. Así mismo, en el total de municipios de la provincia observamos que el 81.81% son pobres y de ese porcentaje, el 60.9% son extremadamente pobres. (Gómez, 2006)

Se debe subrayar que tanto la provincia de Sugamuxi como el municipio de Aquitania superan los promedios de pobreza y pobreza extrema departamental (72.5% y 41.5%) y nacional (52.4% y 17.9%). (Gómez, 2006)

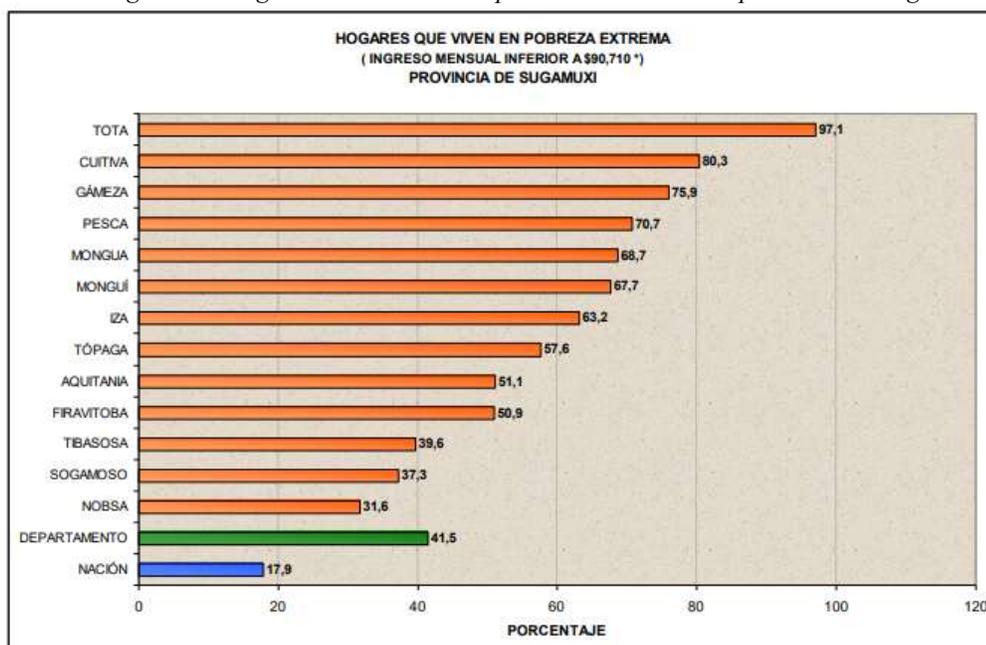
En cuanto a estas cifras, Aquitania ocupa el sexto lugar de pobreza y el noveno de pobreza extrema en la provincia. Esto se puede evidenciar en las figuras 11 y 12 donde se muestran los hogares que se encuentran destacados en situación de pobreza.

Figura 11. Hogares en condición de pobreza en la provincia de Sugamuxi



Fuente: (Encuesta Sisben-DAPD, 2013)

Figura 12. Hogares en condición de pobreza extrema en la provincia de Sugamuxi

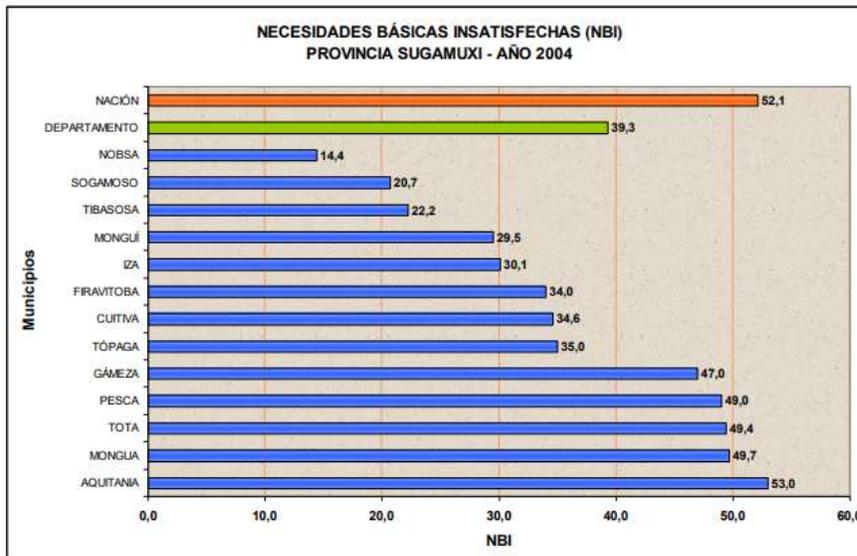


Fuente: (Encuesta Sisben-DAPD, 2013)

### 11.6.4.3 Necesidades básicas insatisfechas (NBI)

El Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas determina, con ayuda de algunos indicadores simples, si las necesidades básicas de la población se encuentran cubiertas. En la figura 13 se presenta el porcentaje de NBI perteneciente a la provincia de Sugamuxi.

Figura 13. Necesidades básicas insatisfechas en la provincia de Sugamuxi.



Fuente: (DANE-Estadísticas Vitales, 2014)

La gráfica muestra que el 53.0% de los habitantes del municipio viven con alguna necesidad básica insatisfecha. Al comparar el comportamiento de los municipios de la Provincia de Sugamuxi se evidencia que el mayor índice de NBI se focaliza en los municipios periféricos (Aquitania, Mongua, Tota, Pesca y Gámeza). Según este indicador los habitantes de Aquitania presentan un alto porcentaje de insatisfacción de sus necesidades básicas, en comparación con la Provincia (36.0%) y el Departamento. (39.3%). Aquitania reporta el mayor índice de NBI de la provincia. (53.05).

### 11.6.5 Descripción económica

En la actualidad la Cuenca de la laguna de Tota, es una mezcla de usos y actividades diversas, que incluyen los sectores primario y terciario de la economía y sobre los que la institucionalidad no se pronuncia de manera clara y directa.

Existe una oferta importante de suelos con altas capacidades productivas, utilizados en cultivos de cebolla intensivos, el cultivo de papa, pasturas,

rastrojos abandonados, plantaciones forestales, ganadería bovina extensiva y pequeños relictos de vegetación natural. A pesar de esto, de alguna manera se intenta mantener la ruralidad de la zona al integrar la producción con la conservación, ya que se cuenta con la presencia de elementos naturales como es el espejo de agua de la laguna de Tota. (Mojica, L. et al., 2011)

Sin embargo, tal uso a lo largo de la periferia del lago proporciona la incompatibilidad ambiental en los predios utilizados para el ecoturismo, agricultura, equipamientos y actividades que estimularían de alguna forma los procesos a la urbanización. Por otro lado, se encuentran los equipamientos representados por una fuerte oferta del sector turístico en hoteles, restaurantes gastronómicos, un desarrollo pesquero acompañado con el servicio náutico; igualmente la tendencia a la concentración de estos, en cercanías a los cascos urbanos y en áreas donde el suelo es utilizado en el desarrollo agrícola. (Mojica, L. et al., 2011)

#### **11.6.6 Descripción de la laguna de Tota**

En cuanto a una descripción más específica de la zona, en la cuenca hidrográfica se ubica la laguna de Tota, la cual, se caracteriza por ser la de mayor extensión del país y la segunda en Suramérica, tiene una superficie aproximada de 6.000 Ha y un volumen de almacenamiento de 1.900 millones de m<sup>3</sup>. Esta se encuentra a una altura de 3.015 m.s.n.m, tiene 13 Km. de largo, 8 Km. de ancho, un perímetro de 49 Km. y una profundidad máxima de 61 m. (MADS, 2013), con una cota máxima de inundación establecida en 3.015,65 m.s.n.m y 30 m de ronda hídrica de protección (Resolución 1786 de 2012, CORPOBOYACA), la que finalmente se encuentra dividida en 5 zonas de manejo especial de acuerdo a sus características hidrológicas y climáticas.

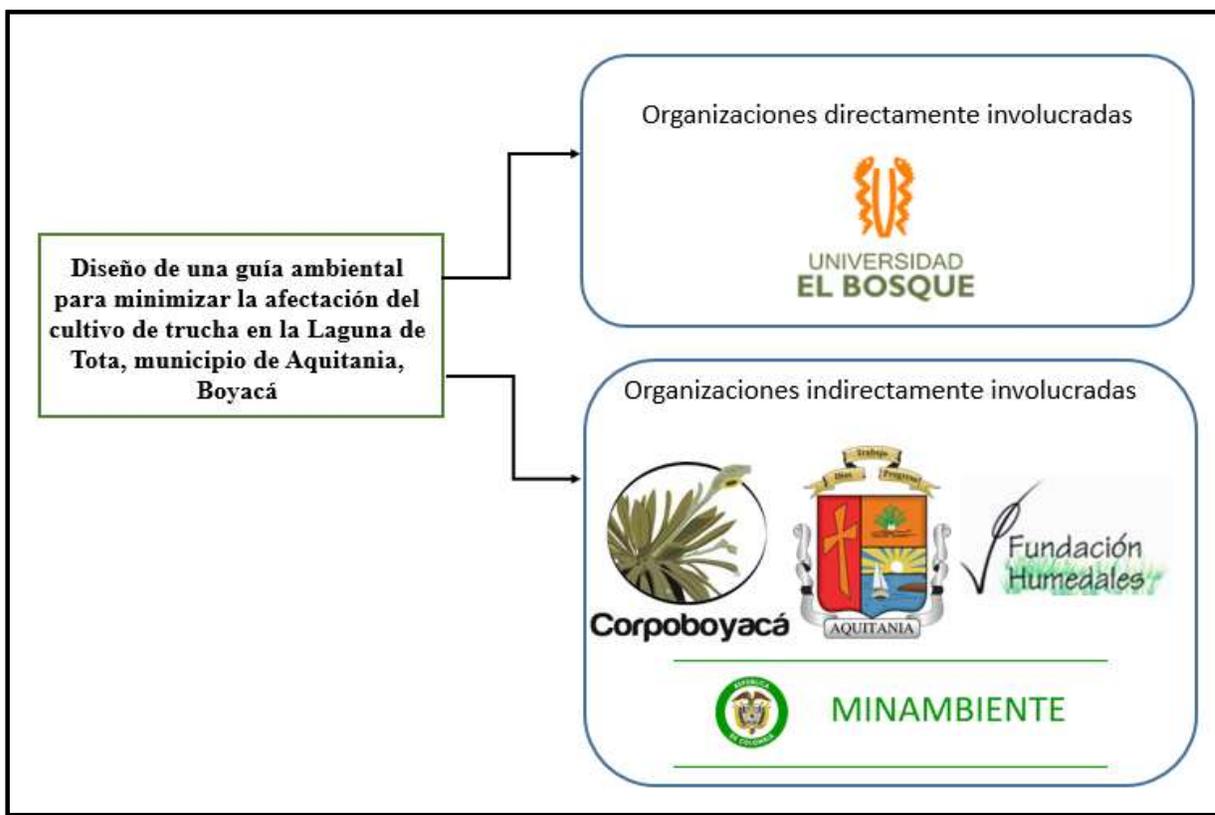
La laguna cuenta con un complejo insular compuesto por 3 islas, destacándose la isla San Pedro de 40 Ha de extensión y se encuentra rodeada por los páramos de Las Alfombras, Suse, Hirva, Tobal, Curíes, Pozos y Hatolaguna, entre otros. La laguna de Tota es la reserva del 13,55% del agua a nivel nacional y es una de las principales cuencas hidrográficas en la región; sus características constituyen un valor ambiental y económico a nivel regional y nacional, pues representa el abastecimiento de agua para consumo humano de 300.000 habitantes de los municipios de Sogamoso, Nobsa, Aquitania, Tota, Cuítiva, Iza, Firavitoba y Tibasosa (Mojica, L. et al., 2011), aproximadamente el 20% del total de la población. Así mismo, se indica que en sus aguas abunda la trucha arcoíris y en sus alrededores, concerniente a Aquitania, la mayor producción de cebolla. Los

sembradíos de cebolla larga cubren el 95% del área plana cultivable de la cuenca de la laguna de Tota en el municipio, repartido en 5.239 predios con una producción de 180.000 toneladas.

### **11.7 Marco institucional**

Existen diferentes entidades u órganos, que cumplen la función de participar en el proceso de decisión y control de su organización, como en este caso, la laguna de Tota, zona de estudio, la cual, involucra instituciones encargadas de velar por los objetivos orientados al ambiente, agua y al buen desarrollo social y económico de la población, y para ello, tienen en cuenta las normas y políticas de acuerdo con el Estado. Estas instituciones se muestran en la figura 14.

*Figura 14. Organigrama de las instituciones involucradas en el proyecto*



Fuente: (Autora, 2021)

## 12. Metodología

### 12.1 Diseño Metodológico

Para llevar a cabo este proyecto, se abarcaron los siguientes componentes:

**12.1.1 Enfoque Cualitativo (E):** La presente investigación tiene un énfasis en análisis de información recolectada, además, se centra en las percepciones de la comunidad y propuestas de intervención e implementación a nivel del recurso hídrico. Este enfoque se empleará en su mayoría respecto a la formulación de estrategias de planificación en la laguna de Tota.

**12.1.2 Alcance descriptivo y correlacional (A):** Este proyecto se realiza con base en una investigación descriptiva comprendida por tres fases. La primera, su descripción central, se fundamenta en el desarrollo de una caracterización de la problemática actual y los impactos causados en el territorio, la segunda, comprende la identificación de los actores, procesos y actividades que se involucran directamente y en la tercera, el

alcance es correlacional, debido a que relaciona toda la información recolectada concretando cada sección fundamental para el diseño completo de la guía ambiental.

**12.1.3 Unidad de análisis (U):** La investigación se centra en el territorio de la cuenca de la laguna de Tota perteneciente al municipio de Aquitania, Boyacá.

**12.1.4 Técnica (S):** Para el desarrollo del objetivo general del proyecto, se llevarán a cabo diferentes técnicas, entre las cuales están: Observación en campo, revisión y análisis de datos recolectados, diagramas de representación de datos, modelo DPSIR de planificación ambiental, entre otras.

**12.1.5 Instrumento (S):** Para llevar a cabo el trabajo documental se emplearán diferentes instrumentos como: organigramas y diagramas de flujo, bitácoras de campo, matriz DPSIR, sistemas de información geográfica (SIG).

Figura 15. Definición de alcance, unidad, enfoque, técnica e instrumentos de la investigación



Fuente: (Autora, 2021)

Considerando que **la técnica** hace referencia a un conjunto de procedimientos y actividades que le permiten al investigador obtener la información necesaria para dar respuesta a la pregunta de investigación (Hurtado, 2008), las actividades seleccionadas y los procedimientos detallados para desarrollar el presente proyecto se encuentran a continuación:

- Selección y recolección de información sobre el cultivo de trucha en la zona

Figura 16. Definición de procedimientos para el desarrollo de la actividad



Fuente: (Autora, 2021)

- Obtención de datos actuales en la laguna

Figura 17. Definición de procedimientos para el desarrollo de la actividad



Fuente: (Autora, 2021)

- Técnica de diagramas de representación y organigramas

Figura 18. Definición de procedimientos para el desarrollo de la actividad



Fuente: (Autora, 2021)

Todos los procedimientos que se enumeran anteriormente en las figuras presentadas, y en relación con la técnica, se utiliza el método de revisión y análisis documental con un enfoque cualitativo, debido a que es pertinente hacer una correlación entre lo encontrado en bases de datos, como una investigación netamente teórica, y la información

recolectada de los contactos con agencias ubicada en la zona del municipio de estudio, como una recolección de información con bases teóricas y empíricas.

### 12.1.6 Materiales y Equipos

Dentro de los materiales y equipos que se necesitan para llevar a cabo este proyecto están:

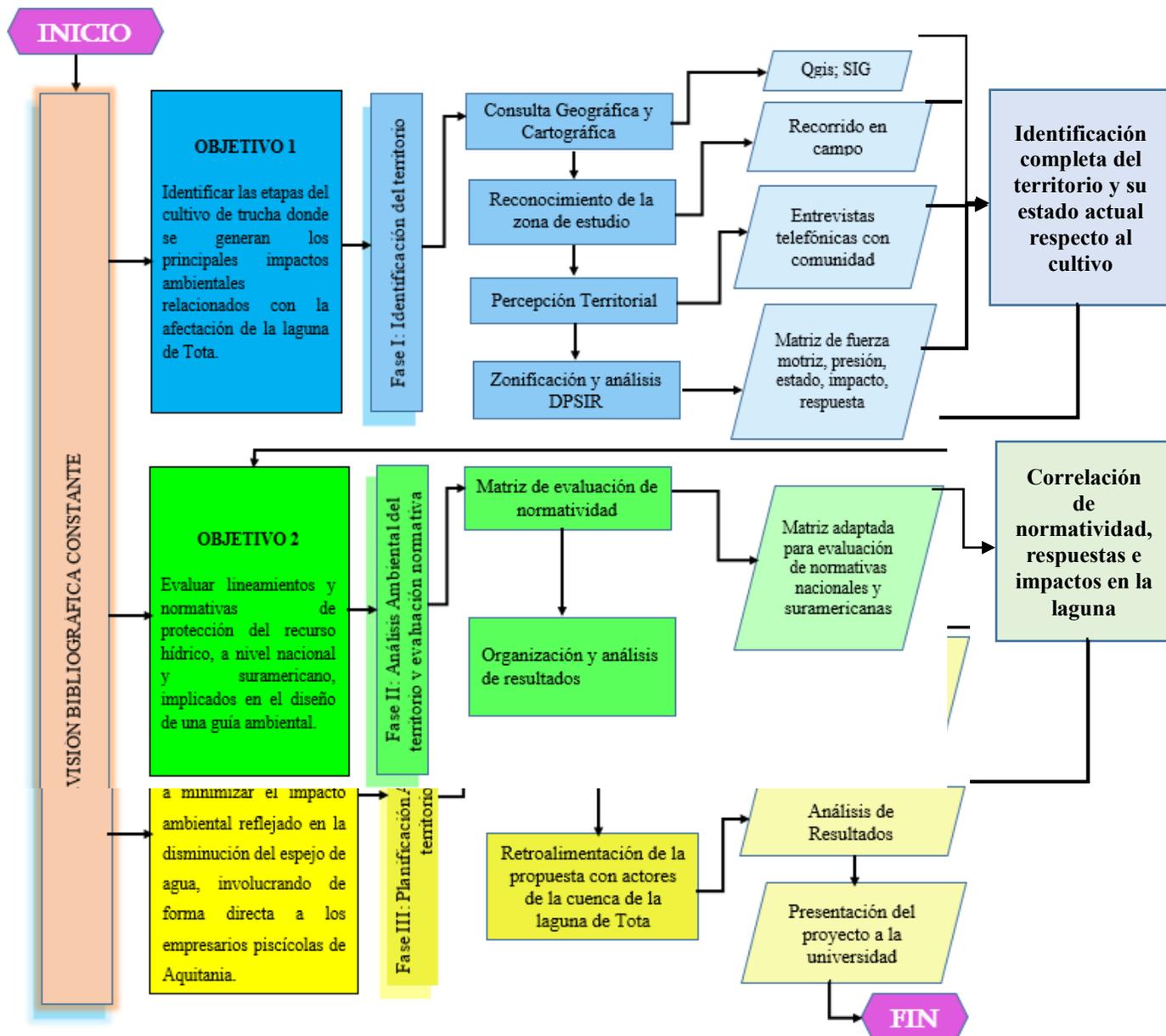
*Tabla 3. Materiales y equipos empleados para la realización del proyecto*

<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Nombre</b>
<b>Materiales</b>	Registro fotográfico
	Información bibliográfica y de campo
	Hojas
	Lapiceros
	Bitácoras de campo
<b>Equipos</b>	Cámara fotográfica
	Computador
	Software de diseño
	Teléfono
	Modem de Internet

En cuanto a materiales y equipos de laboratorio que se necesitan para llevar a cabo este proyecto, estos no son necesarios, puesto que es una investigación basada en revisión documental, y no, en toma de muestras ni estudios experimentales.

## 12.2 Esquema metodológico con objetivos

Figura 19. Esquema metodológico trazado con objetivos y actividades



Fuente: (Autora, 2021)

### **12.3 Desarrollo Metodológico**

Este proyecto de investigación está compuesto por tres fases principalmente. En la primera, como identificación del territorio es necesario realizar actividades como: consulta geográfica, la cual se aplica con ayuda de Sistemas de Información Geográfica como Qgis, cuyo software libre nos permite manejar archivos de tipo vectorial (Shapefiles) y formatos raster, permitiendo crear una visión conjunta del territorio que se va a trabajar, esto, en conjunto con el reconocimiento de la zona de estudio realizando una visita de campo y percepción territorial de la comunidad, los cuales aportan una idea integral del estado actual de la laguna de Tota, junto a una matriz de evaluación de impacto, propuesta en la tabla 4 y la matriz del modelo DPSIR, presentada en la tabla 5, comprenderá el análisis de las variables del entorno desde la fuerza motriz, presión ejercida y respuesta a las mismas, aporta una visión proyectada a un largo plazo para el manejo adecuado de las problemáticas que se presenten.

En la segunda, para un análisis ambiental y evaluación normativa, la matriz adaptada para la normatividad, evidenciada en el formato presentada en la tabla 6, permitirá evaluar que normativas vigentes y por implementar son las adecuadas para las situaciones presentadas actualmente en la zona.

Por último, en la tercera, es necesario correlacionar los resultados de las dos fases anteriores, esto con el fin de, proponer los lineamientos necesarios para el diseño total de la guía ambiental que contribuya a mitigar los problemas que se vienen presentando en la laguna de Tota.

Tabla 4. Matriz propuesta para la evaluación e identificación de impactos

<b>ETAPAS</b>	<b>ACTIVIDADES</b>	<b>Hídrico</b>	<b>Atmosférico</b>		<b>Suelo</b>		<b>Flora</b>		<b>Económico</b>	<b>Social</b>
		<i>Cambios en la calidad</i>	<i>Calidad del aire</i>	<i>Niveles de ruido</i>	<i>Capa fértil</i>	<i>Uso actual</i>	<i>Alteración cobertura</i>	<i>Afectación de especies</i>	<i>Generación de empleo</i>	<i>Conflictos con comunidades</i>
<i>Introducción de alevinos</i>										
<i>Disposición de desechos</i>										

Fuente: (Autora, 2021)

Tabla 5. Matriz propuesta del modelo DPSIR

<b>Fuerza Motriz (D)</b>	<b>Presiones (P)</b>	<b>Situación del espacio ocupado (S)</b>	<b>Impacto Ambiental (I)</b>	<b>Respuesta (R1)</b>	<b>Respuesta (R2)</b>	<b>Respuesta (R3)</b>
<i>Acuicultura</i>						

--	--	--	--	--	--	--

Fuente: (Autora, 2021)

Tabla 6. Matriz propuesta para la evaluación de normativa

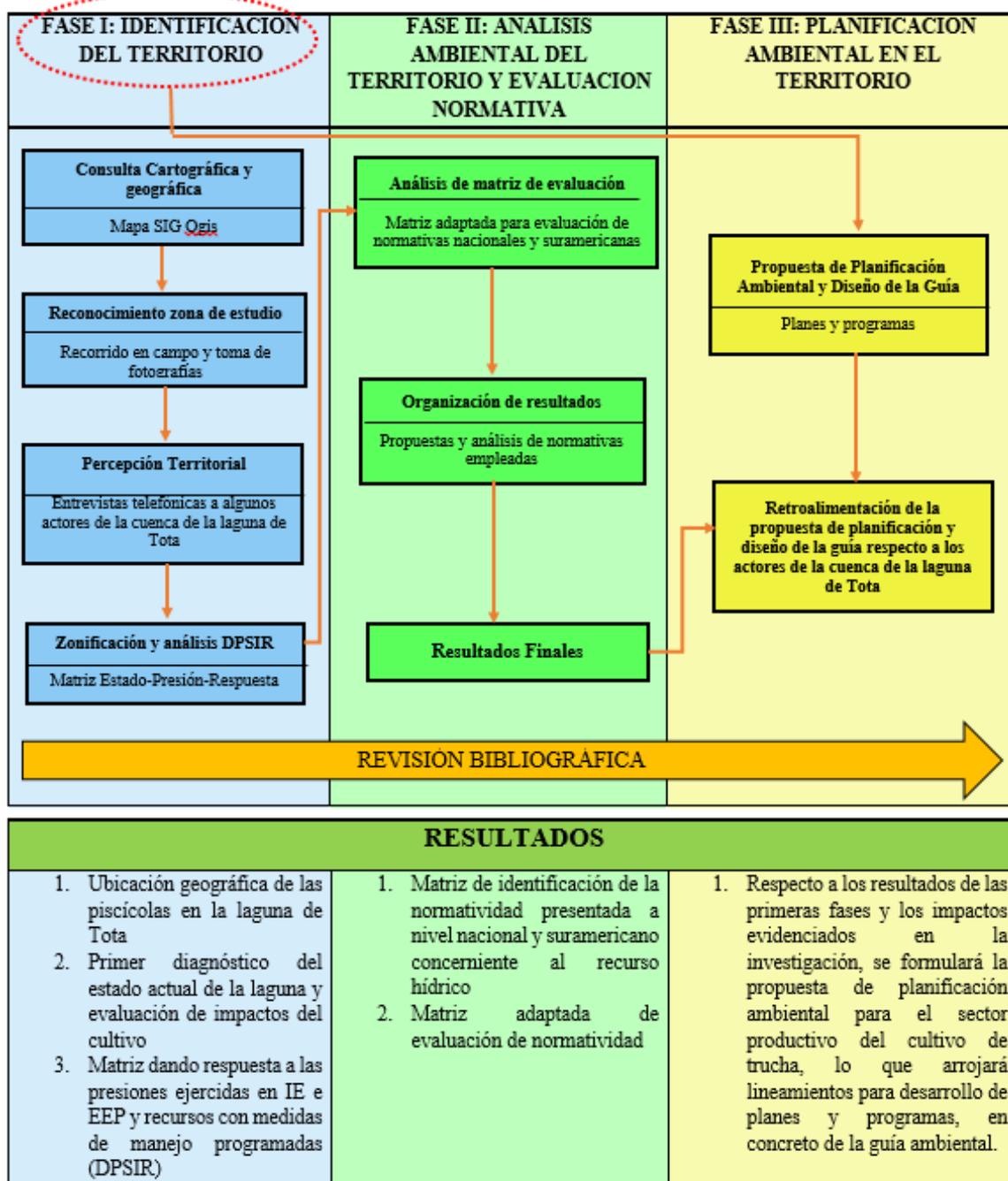
Normas Criterios	Dec. 1076 de 2015	Dec. 1640 de 2012	Dec. 0303 de 2012	Dec. 1575 de 2007	Dec. 1324 de 2007	Dec. 4742 de 2005	Dec. 1541 de 1978	Ley 373 de 1993	Res. 955 de 2012	Res. 941 de 2009	Res. 104 de 2003
¿Cumple con la priorización de cuencas?											
¿Está estipulado el manejo agropecuario?											
¿Cumple con reglamentos piscícolas?											
¿Se muestran sanciones para quien contamine el recurso?											
¿Propone alternativas para las actividades existentes?											
¿Evidencia los permisos y licencias ambientales para operar en el sector piscícola?											
Porcentaje de cumplimiento											

Fuente: (Autora, 2021)

### 13. Plan de trabajo establecido

#### 13.1 Plan de Trabajo

Figura 20. Plan de trabajo trazado en conjunto con las fases del proyecto



Fuente: (Autora, 2021)

### 13.2 Presupuesto Projectado

A continuación en la tabla 14, se relaciona el presupuesto proyectado que se propone para el alcance y la realización de este proyecto, incluyendo como unidades considerables los gastos por parte del estudiante y gastos varios.

Tabla 7. Presupuesto proyectado para la realización del proyecto

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Estudiante	Número de horas dedicadas a la investigación bibliográfica	14 meses (5 horas por semana)	\$4.254 Hora	\$1'191.120
Gastos Varios	Viajes al lugar de estudio	1 viaje por semestre (2 periodos)	\$150.000	\$300.000

TOTAL PRESUPUESTO PROYECTADO  $\longrightarrow$  \$1'491.544

Fuente: (Autora, 2021)

### 13.3 Cronograma del Proyecto

Tabla 8. Cronograma de realización del proyecto

Actividades	VIII Semestre																IX Semestre																X Semestre									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Realización de revisión bibliográfica	REALIZADO																																									
Definición de la pregunta problema	REALIZADO																																									
Definición de la población y muestra									REALIZADO																																	
Definición del alcance, carácter ingenieril y potencial																	REALIZADO																									
Corrección total de objetivos																																	REALIZADO									
Ejecución del primer objetivo																																	REALIZADO									
Presentación resultados																																	EN PROCESO									

 REALIZADO

 EN PROCESO

 PENDIENTE

Fuente: (Autora, 2021)

## 14. Aspectos Éticos

Para la realización de este proyecto no se consideran los aspectos éticos, debido a que no existirá una interacción fuera del aspecto académico.

## 15. Resultados

### 15.1 Resultado Objetivo Específico 1. *Identificar las etapas del cultivo de trucha donde se generan los principales impactos ambientales relacionados*

En el desarrollo de la revisión documental realizada, se encontraron diferentes aspectos e impactos relacionados con cada una de las subetapas del cultivo de trucha arcoíris en la laguna de Tota como se evidencia en la matriz de identificación de impactos presentada en la tabla 9.

Tabla 9. Matriz de identificación de impactos ambientales

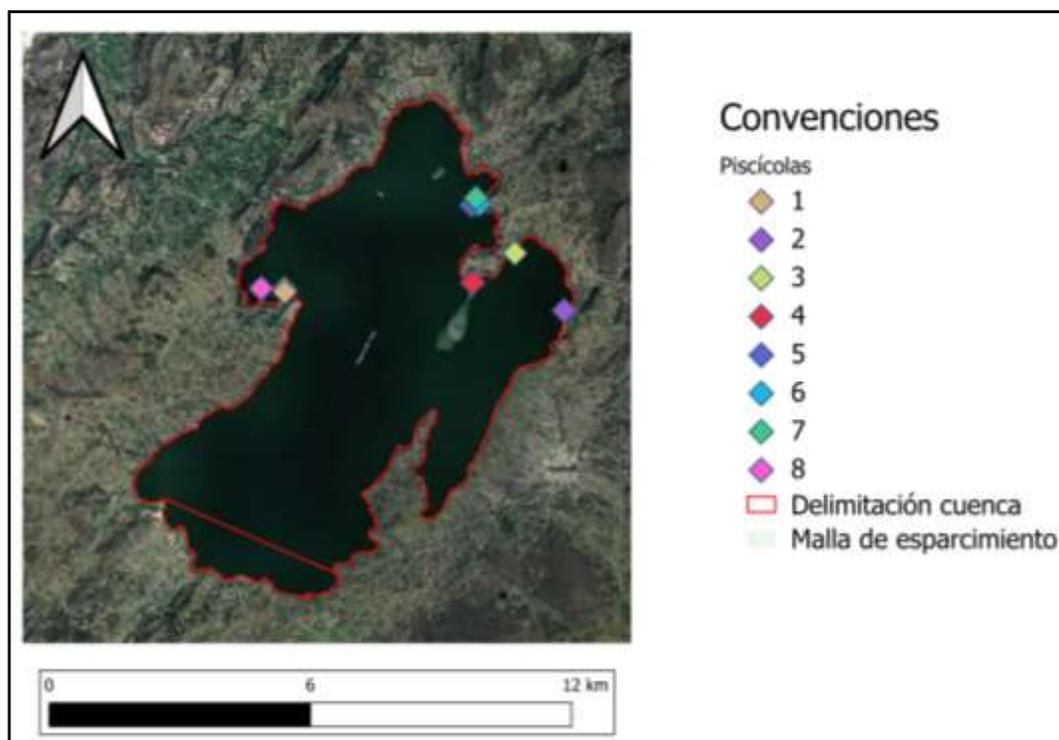
ETAPAS Y SUBETAPAS		ACTIVIDADES	Hídrico	Atmosférico	Suelo	Paisaje	Flora	Económico	Social	
			Cambios en la calidad del agua	Alteraciones en la calidad del aire	Cambio en los niveles de ruido	Desgaste del recurso y la capa fértil	Alteraciones en el uso actual del suelo	Alteración de la configuración espacial natural y pérdida de biodiversidad	Alteración de cobertura vegetal	Afectación especies endémicas y amenazadas
Introducción de Alevinos y cría de la especie	Siembra	Construcción de jaulas sumergidas			X		X		X	

		Siembra de Alevinos de trucha							X			X		
	Utilización de medicamentos	Introducción de antibióticos	X									X		
	Alimentación y engorde	Alimentación de las truchas	X							X				
		Residuos de alimento en el medio	X							X		X		
Disposición de animales y desechos	Disposición de especies muertas	Entierro de especies muertas en los alrededores			X		X	X			X		X	
	Excretas	Materia fecal de la trucha	X								X			
	Desechos solubles	Aporte de fósforo por excretas de respiración	X							X		X		X
		Aporte de Nitrógeno por excretas de respiración	X							X		X		X

Una vez identificados los impactos a nivel de los recursos de agua, flora, suelos, paisaje, entre otros, es concerniente demostrar las ubicaciones de las piscifactorías dentro de la laguna de Tota, así como la malla de esparcimiento de los nutrientes que se generan en todo el proceso productivo de las truchas, debido a que en un proceso a mediano o largo plazo de fitorremediación esta información es crucial en la ubicación de las plantas que se emplearan, así como el conocimiento del radio de impacto que tendría cada empresa piscícola. Esta información se presenta en la

figura 21, la cual fue diseñada con los componentes y demás complementos del software Qgis.

Figura 21. Delimitación e identificación de la cuenca de la laguna y las piscifactorías



Fuente: (Autora, 2021)

Como justificación del empleo de este software en el desarrollo de este objetivo, tuvo relevancia para conocer en que jurisdicción se encontraban ubicadas la mayoría de las piscifactorías para realizar correctamente el planteamiento de la Guía. Para poder implementar nuevas actividades y tecnologías en el cultivo y lograr un desarrollo sostenible de la acuicultura en la laguna, se deben conocer a profundidad los impactos ambientales que esta práctica puede provocar en el cuerpo de agua con el fin de minimizarlos. Por eso, es necesario el uso de herramientas de planificación ambiental, que permitan una visión general de las presiones causadas, el estado actual del ecosistema, los impactos y las fuerzas motrices que los generan.

De este modo, interconectando cada variable de este sistema, la visión completa aporta iniciativas en cuanto a las medidas que se deben adoptar en la producción, encaminando decisiones que permitan un mayor control en los aspectos para no degradar el medioambiente y que a su vez sean técnicamente apropiadas, económicamente viables y socialmente aceptadas, planteamiento que se evidencia

en el desarrollo base de la guía ambiental. Teniendo en cuenta lo anterior, en el desarrollo de este objetivo se implementó una matriz DPSIR (véase Tabla 10), analizando cada presión ejercida en el ecosistema de la laguna de Tota por la actividad piscícola.

Tabla 10. Matriz DPSIR de reconocimiento de impactos en la laguna

Fuerza Motriz (D)	Presiones (P)	Situación del espacio ocupado (S)	Impacto ambiental (I)	R1	R2	R3
Acuicultura	Uso del agua	Uso del recurso hídrico para actividades diarias y nuevos cultivos	Contaminación del recurso hídrico	Desarrollar programas de ahorro y uso eficiente del agua.	Publicar normas y sanciones sobre el cuidado y uso del recurso	Concertación con las autoridades ambientales sobre programas dirigidos principalmente a acuicultores para un mejor aprovechamiento del recurso agua
	Introducción de especies	Pérdida de familias endémicas	Pérdida de fauna y flora	Implementar planes de restricción en introducción constante a ecosistemas estratégicos	Fomentar planes de mayor eficiencia en las áreas ya predispuestas	Implementar un cambio gradual de actividades piscícolas a otras relacionadas con ecoturismo
			Desequilibrio ecosistémico			
			Degradación del paisaje			
	Cultivo no controlado	Mayor producción debido a alta demanda del producto	Contaminación al recurso hídrico	Implementar un PORH en los municipios involucrados en la actividad, con el fin de dar una adecuada disposición respecto al recurso y a las especies cultivadas	Campañas de sensibilización para la comunidad de acuicultores y pobladores con el fin de disminuir la alta demanda e introducción descontrolada de la especie	Limitar el número de truchas en relación a las jaulas destinadas a dicha actividad
			Alteración e incremento de materia orgánica			
	Alimento para truchas	Nutrientes esparcidos por la laguna	Incremento en niveles de nitrógeno y fósforo	Estudiar los componentes del alimento y proponer alternativas para los alimentos	Implementar un modelo de sistema de purificación en cada jaula flotante respecto a los residuos de	
Aumento incontrolado de eutrofización						

		Disminución del espejo de agua de la laguna	(elementos que aceleran la eutrofización)	alimentos			
		Incremento de comunidades de fitoplancton					
		Residuos solubles y no solubles	Cambios en la composición fisicoquímica del cuerpo hídrico	Disminución de Oxígeno Disuelto (OD)		Proponer normativas o lineamientos de planificación ambiental para el manejo de desechos	Implementar diseños previstos de mallas recolectoras para las heces de las truchas
				Alteración de parámetros fisicoquímicos			
		Contaminación visible de la laguna					

Fuente: (Autora, 2021)

En este sentido, aunque la acuicultura trae consigo beneficios económicos y sociales para la región donde se realiza la actividad, también existen ciertos aspectos plenamente identificados, como se evidencia en la figura 22, que pueden producir a largo plazo una baja calidad del agua, contemplando así problemáticas de otra índole.

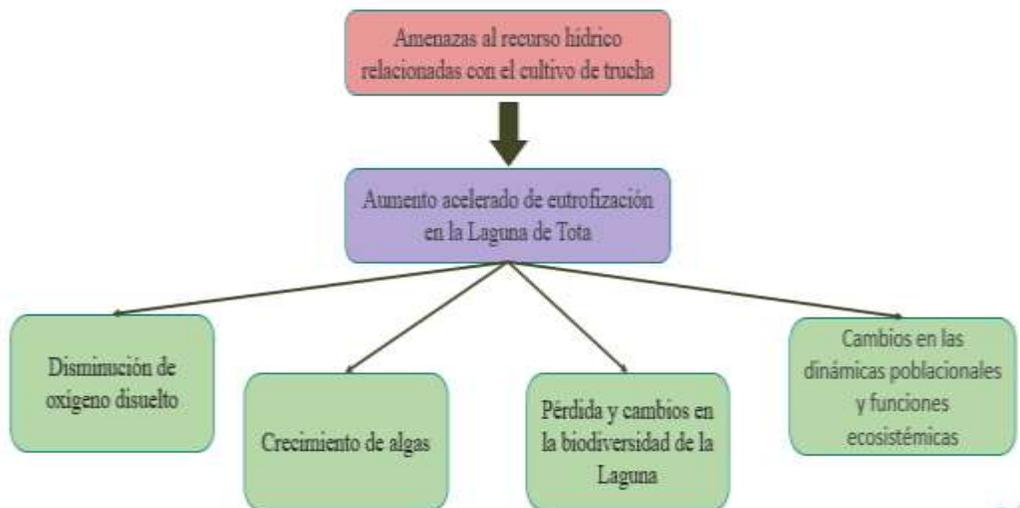
Figura 22. Causas identificadas de la problemática del cultivo de trucha en la laguna de Tota



Fuente: (Autora, 2021)

Uno de los principales aportes de esta rama de la acuicultura en los impactos ambientales están relacionados con los desechos, tanto orgánicos como inorgánicos, de las piscifactorías, lo cuales causan un enriquecimiento en nutrientes, acelerando la eutrofización en el medio, además de, una considerable disminución del oxígeno disuelto y cambios en las dinámicas poblacionales, tal como se evidencia en la figura 23.

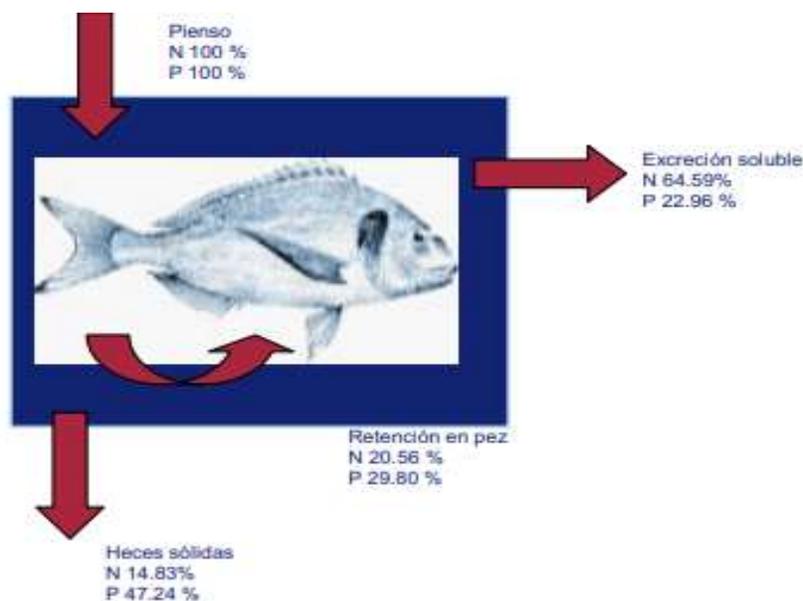
Figura 23. Amenazas identificadas al recurso debido a la problemática del cultivo de trucha en la laguna de Tota



Fuente: (Autora, 2021)

Respecto al porcentaje de estos impactos en el medio, cerca del 85 % de Fósforo, un 80-88% de Carbono y un 52-95% de Nitrógeno introducido en las jaulas pueden pasar al medio marino a través de los desechos de la comida, las excreciones de los peces, la producción de heces y la respiración. En la figura 24 se puede observar un ejemplo del ciclo de Nitrógeno y el Fósforo en una jaula de cultivo de Doradas en Melenara Gran Canaria (adaptado de Molina, L. 2004).

Figura 24. Ejemplo del ciclo del nitrógeno (N) y fósforo (P) en los peces



Fuente: (Molina, 2004)

Respecto al radio que pueden alcanzar estos nutrientes excretados, se han llevado a cabo estudios en piscifactorías que han demostrado que en ciertas ocasiones se puede detectar un impacto significativo en un rango de un kilómetro alrededor de las jaulas de cultivo, siendo éste mayor en el fondo, donde se puede observar, entre otros efectos: un incremento en la demanda de oxígeno y en la producción de sedimentos anóxicos y de gases tóxicos; cambios en las comunidades; alteraciones en la biodiversidad; desarrollo de especies resistentes a la contaminación que pueden resultar dañinas para las especies cultivadas, y blooms de fitoplancton (Borja, A. 2002).

Algunos de los efectos más visibles que se pueden atribuir a la contaminación en general, y a la eutrofización e hipertrofización en particular, como en el caso de la laguna de Tota, son cambios en la vegetación del ecosistema acuático. Los cambios específicos y los efectos secundarios conectados con el aumento de la eutrofización son:

- Aumento del nivel de nutrientes
- Fenómenos de blooms de fitoplancton
- Disminución o desaparición de comunidades de plantas perennes por otras de crecimiento rápido (algas verdes foliáceas o filamentosas)
- Reducción de la diversidad en la flora y la fauna asociada

## 15.2 Resultado Objetivo Específico 2. *Evaluar normativas de protección del recurso hídrico, a nivel nacional y suramericano, implicados en*

*alternativas sostenibles para las actividades del cultivo con mayor impacto ambiental*

Analizando los resultados de la revisión documental, los mayores impactos ambientales que se generan con los cultivos de trucha, se dan en las actividades relacionadas con la alimentación, generación de desechos e introducción masiva de especies por jaula.

Concerniente a esta identificación, es preciso hacer una revisión en lo referente a las normativas y lineamientos vigentes para la protección del recurso hídrico, a nivel nacional y suramericano, relacionado principalmente a estas actividades, cuyos aspectos generan más problemáticas ambientales respecto a la acuicultura.

A nivel nacional se encuentra un compendio de Leyes, Decretos y Resoluciones, y tal y como se expresa en la tabla 11, la autoría principal de estas, se direcciona al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, procurando una participación baja de otros Ministerios en Colombia.

Por otra parte, cabe resaltar que de las leyes y normativas en Colombia que se expresan a continuación, todas presentan un enfoque general respecto al recurso hídrico, debido a que abarcan temas habituales sobre sus usos y no presentan soluciones más específicas para cada actividad que implique a fondo el uso de dicho recurso, como en el caso específico de las actividades de la acuicultura. La normativa que se encuentra para procesos piscícolas, se dirigen hacia los procedimientos respecto a los permisos, concesiones y demás trámites que se deben iniciar al concretar una piscifactoría, además de indicar otras regulaciones relacionando el tipo de productor y la cantidad de producción respecto al espejo de agua utilizado, más no incluyen ordenamientos acerca de los impactos ambientales que esta actividad económica genera en el recurso y su posterior recuperación.

*Tabla 11. Normativas a nivel nacional relacionadas con el recurso agua*

<b>Normativa</b>	<b>Autor</b>	<b>Propósito</b>
Decreto 1076 de 2015	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible
Decreto 1640 de 2012	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones

Decreto 0303 de 2012	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por el cual se reglamenta parcialmente el artículo 64 del Decreto – Ley 2811 de 1974 en relación con el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico y se dictan otras disposiciones
Decreto 1575 de 2007	Ministerio de la Protección Social	Por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para Consumo Humano
Decreto 1324 de 2007	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Por el cual se crea el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico y se dictan otras disposiciones
Decreto 4742 de 2005	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Por el cual se modifica el artículo 12 del decreto 155 de 2004 mediante el cual se reglamenta el artículo 43 de la ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas
Decreto 1541 de 1978	Ministerio de Agricultura	Por el cual se reglamenta la parte III del libro II del Decreto – Ley 2811 de 1974: “De las aguas no marítimas” y parcialmente la ley 23 de 1973
Ley 373 de 1993	Congreso de la República	Por la cual se establece el programa de ahorro y uso eficiente del agua
Resolución 955 de 2012	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se adopta el formato con su respectivo instructivo para el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico
Resolución 941 de 2009	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Por la cual se crea el Subsistema de Información sobre Uso de Recursos Naturales Renovables – SIUR y se adopta el Registro Único Ambiental – RUA
Resolución 104 de 2003	IDEAM	Por la que se establecen los criterios y parámetros para la clasificación y priorización de las cuencas hidrográficas

Ahora, analizando las normativas que se presentan en Suramérica, estas se direccionan hacia dos puntos importantes respecto a esta actividad económica: el primero, al igual que la normativa nacional, se abarcan temas generales en cuanto al recurso agua, y el segundo, depende de las regulaciones concretas de cada país suramericano, comprende unos términos más particulares para el sector piscícola.

En este sentido, tal como se observa en la Tabla 12, países como Argentina, Chile y Perú, aportan una visión un poco más centrada en la problemática de la actividad acuícola, contribuyendo con legislación que especifica tanto lineamientos como sanciones al respecto, no solo de esta actividad, sino en relación a actividades agropecuarias, que al igual que los cultivos de peces, causan gran impacto en el ecosistema.

*Tabla 12. Normativas a nivel suramericano relacionadas con el recurso agua*

<b>País</b>	<b>Normativa</b>	<b>Autor</b>	<b>Propósito</b>
Argentina	Ley 25.668/ 2002	Ministerio de Justicia y Derechos Humanos	Establecen los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional. Utilización de las aguas. Cuenca hídrica superficial. Comités de cuencas hídricas.
Argentina	Ley No 7616/10.VII. 1970	Legislación provincial de Buenos Aires	Libro III. Por medio del cual norman el uso agropecuario y piscícola del agua
Argentina	Ley N° 6916/ 02.IV.1973	Legislación provincial de Santa fe	Por medio de la cual se imponen medidas protectoras del agua contra la contaminación
Argentina	Ley N° 1503/ 27.VI.1977	Legislación provincial de Chubut	Por medio de la cual se imponen medidas para la protección del agua
Brasil	Lei No. 2312 /03.IX.1954	Código Nacional de Salud	Legisla todas las aguas en materia de contaminación
Brasil	Decreto No. 49,974-A /21.I.1961	Código Nacional de Salud	Legisla todas las aguas en materia de contaminación
Brasil	Lei No. 9.443/1997 Lei das Aguas	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)	Establece instrumentos para el manejo de los recursos hídricos en el dominio federal (aquellos que atraviesan más de un estado o frontera) y se crea el Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos (SINGREH).
Brasil	Decreto-Lei No. 195-A / 19.II.1970	Provincial del estado de Sao Paulo	Impone medidas protectoras para mantener óptima la calidad del agua

Chile	Ley No. 9006 de 1948	Ministerio de Agricultura	Prohíbe el vertimiento de productos o residuos en el agua cuando ello perjudique a la salud, a los vegetales y al suelo
Ecuador	Ley de aguas No. 369 /18.V.1972	Asamblea Nacional	Norma, específicamente, todo lo relacionado al agua
Ecuador	El Reglamento para la conservación de lagos, presas y embalses, Acuerdo No 81 de 1978	Ministro de Agricultura y Ganadería	Delimita las zonas de protección de las aguas, establece las medidas necesarias para evitar su contaminación, y aquellas destinadas a prevenir y sancionar a las personas que por cualquier circunstancia contaminan el agua en perjuicio de la salud humana y el desarrollo de la flora o de la fauna
Perú	Ley No. 4868 / 11.I.1924	Congreso de la república	Reprime la contaminación del agua potencialmente potable
Perú	Ley No, 17716 / 24.VI.1969	Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego	Contiene normas especiales relativas a uso del agua para actividades agropecuarias

Una vez expuestas las principales normativas tanto a nivel nacional como a nivel suramericano, se puede proceder a realizar una evaluación completa de estas regulaciones, para esto, es necesario tener en cuenta un número determinado de ítems, los cuales se especifican en la matriz evaluativa presentada en la tabla 13 para las regulaciones nacionales y en la tabla 14 para las suramericanas.

Tabla 13. Matriz de evaluación de normativas a nivel nacional

Normas	Dec. 1076 de 2015	Dec. 1640 de 2012	Dec. 0303 de 2012	Dec. 1575 de 2007	Dec. 1324 de 2007	Dec. 4742 de 2005	Dec. 1541 de 1978	Ley 373 de 1993	Res. 941 de 2009	Res. 104 de 2003
	Criterios									

¿Cumple con la priorización de cuencas?	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	SI
¿Está estipulado el manejo agropecuario?	SI	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI
¿Cumple con reglamentos piscícolas?	NO									
¿Se muestran sanciones para quien contamine el recurso?	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
¿Propone alternativas para las actividades existentes?	NO									
¿Evidencia los permisos y licencias ambientales para operar en el sector piscícola?	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI
Porcentaje de cumplimiento	49.8%	33.2%	16.6%	16.6%	16.6%	49.8%	16.6%	49.8%	33.2%	66.4%

Fuente: (Autora, 2021)

Tabla 14. Matriz de evaluación de normativas a nivel suramericano

Normas	Ley 25.668 de 2002	Ley 7616 de 1970	Ley 6916 de 1973	Dec. 49,974 de 1961	Ley 9006 de 1948	Ley 369 de 1972	Ac. 81 de 1978	Lei 9.443 de 1997	Ley 4868 de 1924	Ley 17716 de 1969
--------	--------------------	------------------	------------------	---------------------	------------------	-----------------	----------------	-------------------	------------------	-------------------

<i>Crterios</i>										
<i>¿Cumple con la priorización de cuencas?</i>	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO
<i>¿Está estipulado el manejo agropecuario?</i>	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NOX	SI
<i>¿Cumple con reglamentos piscícolas?</i>	NO	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	NO	SI
<i>¿Se muestran sanciones para quien contamine el recurso?</i>	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
<i>¿Propone alternativas para las actividades existentes?</i>	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<i>¿Evidencia los permisos y licencias ambientales para operar en el sector piscícola?</i>	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI
Porcentaje de cumplimiento	66.4%	83%	49.8%	33.2%	49.8%	49.8%	66.4%	49.8%	33.2%	66.4%

Fuente: (Autora, 2021)

En primer lugar, se evidencia que la legislación en Colombia, aunque abarca muchos temas específicos, carece de regulaciones, tanto de carácter preventivo como sancionatorio, respecto a los impactos que ciertas actividades económicas, como el cultivo de trucha en la laguna de Tota, causan en los cuerpos de agua. Para ser más concreto, es necesario que se detalle en las normativas y que se delibere más allá de lo actual, y que se considere los daños a largo plazo, y como estos pueden disminuir el recurso, desestabilizando todo el ecosistema.

Paralelamente, se encuentra lo concerniente con las normas presentadas por algunos países de Suramérica, las cuales involucran decretos, leyes y resoluciones especiales

referentes a contaminación causada por diversas actividades económicas, así como manejos habituales del recurso hídrico. Estas legislaciones, a diferencia de las presentadas a nivel nacional, involucran manuales de procedimientos para su correcta realización sin causar un impacto considerable, así como posibles sanciones, que van desde multas hasta la suspensión de las licencias otorgadas a los productores, esto con el fin de, evitar un desequilibrio mayor tanto en los parámetros fisicoquímicos como en la biodiversidad del área protegida. Además, para mantener el orden en lo concerniente a estas regulaciones, algunos de estos países cuentan con tribunales especializados en estos órdenes para llevar a cabo estas actividades de carácter correctivo, delegando así la responsabilidad del cuidado de los ecosistemas, y no solo manteniéndolo en ciertas entidades.

Finalmente, luego de presentar el análisis respectivo para cada matriz, y evaluando los porcentajes finales de cumplimiento para cada norma, se evidencia que la Resolución 104 de 2003 a nivel nacional y la Ley 7116 de 1970 (Argentina) a nivel suramericano, debido a sus altos porcentajes de cumplimiento (60.4% y 83% respectivamente), otorgan los lineamientos suficientes para la formulación de la guía ambiental base para el sector de la acuicultura en la laguna de Tota.

**15.3 Resultado Objetivo Específico 3.** *Definir los apartados claves de la guía ambiental que contribuya a minimizar el impacto ambiental reflejado en la disminución del espejo de agua, involucrando de forma directa a los empresarios piscícolas de Aquitania.*

Como se ha presentado durante cada apartado de este trabajo de grado, la acuicultura de la laguna de Tota, se muestra como una actividad económica direccionada específicamente a la siembra y cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). En cuanto al éxito de esta actividad, se depende de un buen manejo tanto del recurso agua como de las especies, una alimentación correcta, apropiados métodos de conservación, entre otros.

Con el fin de aportar mejoras en la producción de la especie tanto a modo de incentivo económico en la región así como en la mitigación de los impactos generados en el ecosistema, el sector piscícola en Colombia, en una escala general, cuenta desde el 2014 con un Protocolo de Manejo Ambiental para plantas de procesamiento de carne de pescado, que ha servido de guía para pequeños, medianos y grandes productores.

Para complementar este Protocolo Ambiental para las plantas de procesamiento, se propone el diseño de una Guía Ambiental que tendrá como enfoque principal la inclusión de los piscicultores de la laguna de Tota, ubicados en la jurisdicción de Aquitania, en el desarrollo de actividades y procesos para incrementar el porcentaje de mitigación de los impactos del cultivo y la posible recuperación del recurso a

largo plazo. La propuesta de esta Guía está orientada a brindar a los productores, a las autoridades ambientales y a la población en general, una herramienta de consulta, la cual, contendrá los lineamientos necesarios para hacer sostenible las actividades del subsector de trucha arcoiris.

En la tabla 15 que se presenta a continuación, se definen, en la tabla de contenido, los apartados claves para la formulación y posterior implementación de la Guía Ambiental concerniente a mejorar la producción y mitigar los impactos de este cultivo

*Tabla 15. Tabla de contenido de la Guía Ambiental propuesta para la mitigación de los impactos por el cultivo de trucha arcoiris*

<b>TABLA DE CONTENIDO</b>	
1.	INTRODUCCIÓN
2.	DIAGNÓSTICO DEL SECTOR PISCÍCOLA EN LA LAGUNA
2.1.	Generalidades
3.	GESTIÓN AMBIENTAL
3.1.	Gestión y cumplimiento legal
4.	DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS PISCÍCOLAS
4.1.	Introducción
4.1.1.	<i>Cadena productiva de la Trucha</i>
4.2.	Instalaciones de producción de Alevinos
4.2.1.	<i>Producción de Alevinos de Trucha</i>
5.	MANEJO AMBIENTAL
5.1.	Impactos ambientales del sector piscícola en la laguna de Tota
5.1.1.	Producción
5.1.1.1.	<i>Conflictos con la comunidad por el uso de agua para su funcionamiento</i>
5.1.1.2.	<i>Alteración de la calidad del recurso hídrico por residuos del proceso</i>
5.1.1.3.	<i>Eutrofización del cuerpo de agua por aporte de nutrientes</i>
5.2.	Valoración de impactos ambientales
5.3.	Medidas de manejo ambiental
5.3.1.	Planificación y localización de piscifactorías
5.3.1.1.	<i>Criterios para selección del predio</i>
5.3.1.2.	<i>Sistemas de producción primaria</i>
5.3.1.2.1.	<i>Recirculación de agua – RAS</i>
5.3.1.2.2.	<i>Sistema Bio Floc</i>

5.3.1.2.3. <i>Acuaponía</i>
6. EVALUACIÓN, SEGUIMIENTO Y MONITOREO
6.1. Formulación y seguimiento de indicadores
6.1.1. Unidades de producción piscícola
6.2. Gestión de permisos ambientales
6.2.1. Permiso de concesión
6.2.1.1. <i>Permiso de concesión de aguas superficiales</i>
6.2.1.2. <i>Permiso de ocupación de cauce</i>
6.3. Informes de gestión
7. BIBLIOGRAFÍA
8. ANEXOS

*Fuente: (Autora, 2021)*

Una vez establecidos todos los componentes de la Guía Ambiental referente al sector piscícola constituido en la laguna de Tota, es preciso la formulación total de la guía relativa a cada uno de estos apartados.

## **GUÍA DE MANEJO AMBIENTAL PARA EL SUBSECTOR DE LA PISCICULTURA EN LA LAGUNA DE TOTA**

### **1. INTRODUCCIÓN**

En los últimos años el sector de la piscicultura en Colombia, ha aumentado su producción debido a la gran demanda de mercados nacionales y de mercados internacionales. Con este repunte en la productividad y las exigencias crecientes de estos mercados surge la necesidad del uso y aplicabilidad de tecnología de punta, de la implementación de procesos productivos donde se garantice el bienestar animal y diseños sanitarios en la producción primaria, además vienen otras exigencias y responsabilidades que desde la empresa se deben generar como es el uso racional y conservación de los recursos naturales con la firme intención de generar un sentido de pertenencia hacia la sostenibilidad ambiental de la piscicultura continental colombiana.

La presente Guía Ambiental complementa el Protocolo de Manejo Ambiental, desarrollado por FEDEACUA en el 2014, que hasta el momento ha servido como guía para los pequeños, medianos y grandes productores. Además, contempla todos los elementos técnicos de las guías ambientales que han sido publicadas recientemente con el visto bueno del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS, lo cual deja al sector piscícola de la laguna de Tota en el mismo grado de avance en el desarrollo de instrumentos

de gestión ambiental que tienen los sectores de avicultura y porcicultura, que cuentan con Guías Ambientales aprobadas por el organismo rector de la política ambiental en Colombia.

La Guía está orientada a brindar a los productores y procesadores del sector piscicultura de la laguna, autoridades ambientales y al público en general, una herramienta de consulta y de apoyo técnico que contenga los lineamientos para hacer ambientalmente sostenible las actividades del subsector acuícola de trucha en Tota.

## **2. DIAGNÓSTICO DE LA PISCICULTURA**

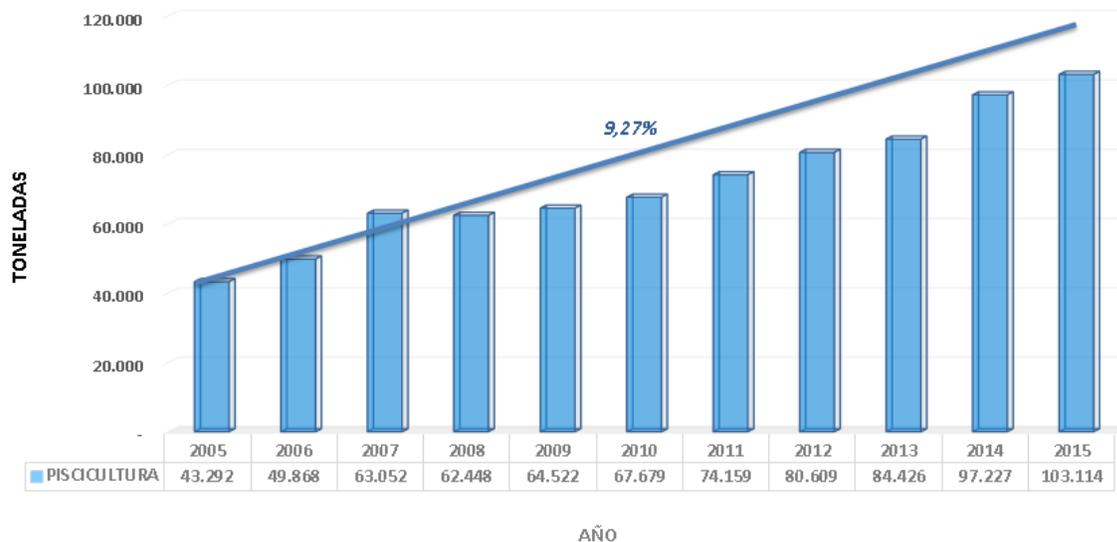
### **2.1 GENERALIDADES**

En la actualidad el Ministerio de Agricultura ha venido direccionando varios programas y proyectos los cuales pretenden impulsar el sector piscícola continental colombiano generando un ambiente de innovación y que a su vez favorece la consecución de valor agregado que aumentará el número de productores y procesadores certificados para poder alcanzar más mercados en el exterior. Actualmente, la laguna de Tota es uno de los principales pilares de la exportación de trucha a nivel nacional, ocasionando un aumento en los sistemas de producción, convirtiendo el cultivo de trucha en actividad intensiva para abastecer las necesidades de oferta y demanda de la población.

La problemática ambiental del exceso de nutrientes en la laguna de Tota, se centra principalmente en el inadecuado manejo intensivo de las técnicas de cultivo de trucha, estos excesos de nutrientes en el agua, principalmente nitrógeno y fósforo (Mariano et al. 2010), es causante de la eutrofización, la cual, se define como el proceso de contaminación más importante de las aguas en lagos, lagunas, balsas, etc. (Mariano et al. 2010). En el caso particular de los cultivos piscícolas en Tota, se evidencia que se debe en gran medida a las prácticas inadecuadas que se realizan en la inclusión de los jaulones de trucha así como en las diferentes etapas y subetapas de la producción, afectando así la calidad del agua, la disminución del oxígeno disuelto ( $O_2$ ) y propagando el crecimiento de organismos que aportan cada vez más materia orgánica a la laguna, causando así el deterioro de la cuenca y fuente hídrica más importante de la región (CORPOBOYACÁ).

En cuanto a los niveles de exportación que se mencionan, no solo a nivel del territorio, y de acuerdo con los registros de FEDEACUA, el sector piscícola en Colombia ha crecido su producción en la década 2005 – 2015 a un ritmo medio del 9,27% anual, pasando de una producción de 43.292 toneladas en el año 2005 a 103.114 en el año 2015, tal como se muestra en Figura 1.

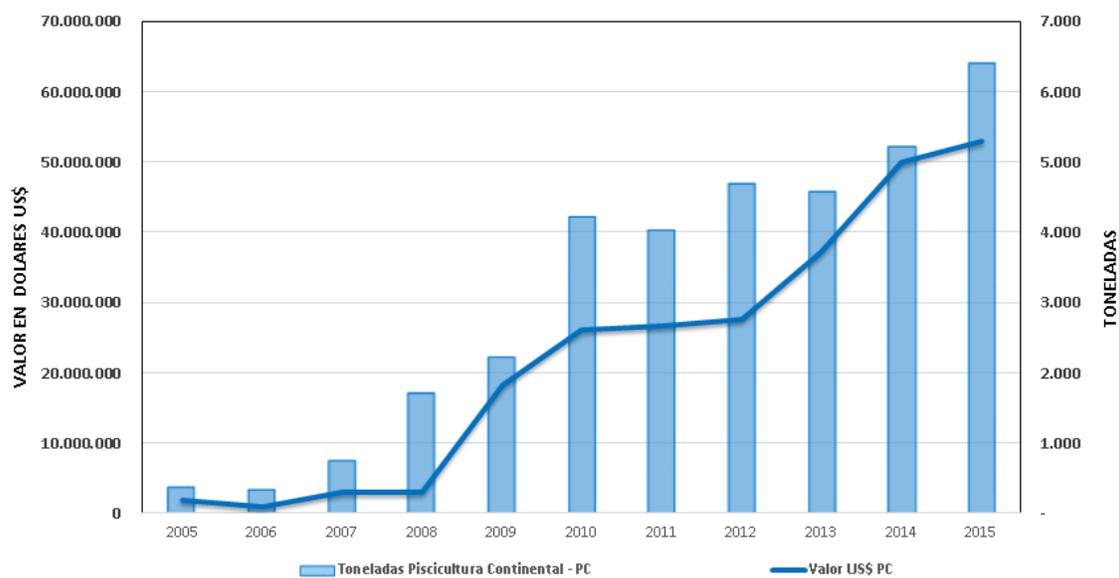
*Figura 1. Producción de la piscicultura en Colombia 2005-2015 (Toneladas)*



Fuente: (MADR, Cadena de la acuicultura, 2016)

Los registros de FEDEACUA también indican que las exportaciones del sector piscícola continental colombiano han crecido significativamente en los últimos años, pasando de aproximadamente 500 toneladas en el año 2005, a aproximadamente 6.400 toneladas en el año 2015. Esto ha significado un incremento significativo en la generación de divisas para el país por parte de este sector, al pasar de aproximadamente US\$2.5 millones en el año 2005 a aproximadamente US\$52 millones en el año 2015 (ver Figura 2).

Figura 2. Exportaciones de la piscicultura colombiana 2005 – 2015  
(Valor en dólares US\$ y Toneladas)



Fuente: (USDA, DANE, PTP, Análisis FEDEACUA, 2016)

### **3. GESTIÓN AMBIENTAL**

#### **3.1 GESTIÓN**

La planeación ambiental de los proyectos piscícolas, busca prevenir y mitigar los impactos negativos de la actividad en el entorno. Esta planeación por lo general se desarrolla cuando en la producción primaria se inicia una nueva etapa productiva con un lote nuevo de ovas y alevinos, y abarca todos los procesos y etapas del desarrollo incluyendo el levante, el engorde, y el proceso de transformación en las plantas de proceso, para la obtención de los diferentes productos demandados por el mercado como pescado entero, eviscerado, filetes, etc.

En todas estas etapas se busca realizar y desarrollar prácticas ambientalmente sostenibles, que incluyan el ahorro y uso racional de recursos tales como el agua, suelo, aire y recursos energéticos que son necesarios para las granjas de producción primaria.

Para tales efectos en esta Guía, la gestión ambiental se referirá a los procesos, mecanismos, acciones y medidas de control que se deberán ejecutar en cada etapa con los propósitos de desarrollo sostenible propuestos en los objetivos.

### **4. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS PISCÍCOLAS**

#### **4.1 INTRODUCCIÓN**

Contempla la descripción de los principales procesos de la producción primaria piscícola continental y de las plantas de procesamiento de carne de pescado, con el fin de conocer los recursos naturales demandados en el proceso y las actividades que puedan generar impactos ambientales.

Con respecto al uso del agua para la actividad piscícola en el país, se destaca que según el Estudios Nacional del Agua 2014 (ENA 2014), publicado por el IDEAM, se estima que ésta asciende a 35.877 millones de metros cúbicos (Mm<sup>3</sup>) al año, siendo el mayor uso el agrícola, seguido por el de energía, doméstico, acuícola, pecuario, industria y servicios, respectivamente, tal como se muestra en la Tabla 1.

Al respecto se destaca que el uso del agua que se hace por parte del sector piscícola es de tipo **NO CONSUNTIVO**, es decir, que no existe pérdida de agua, ya que el agua es el medio de vida de los peces, y por lo tanto la cantidad que entra a los sistemas productivos es la misma o aproximadamente la misma que sale, en razón a que el agua que se utiliza es devuelta posteriormente a la fuente de agua de la cual ha sido extraída, aunque no necesariamente en el mismo lugar. No obstante, el agua devuelta al medio natural presenta diversas alteraciones fisicoquímicas y biológicas, que principalmente se materializan en un

menor contenido de oxígeno disuelto, mayor contenido de materia orgánica por la presencia de heces de los pescados de cultivo, residuos de comida y otros residuos que son típicos de la actividad como se detallará más adelante.

Tabla 1. Demanda Hídrica Nacional (millones de metros cúbicos al año)

Usos del agua	Uso Total de agua 2012	Participación porcentual	Flujos de retorno	Pérdidas
	Mm <sup>3</sup>		Mm <sup>3</sup>	Mm <sup>3</sup>
Doméstico	2.963,4	8,2%	1670,5	921,6
Agrícola	16.760,3	46,6%	s.i.	s.i.
Pecuario	3.049,4	8,5%	s.i.	563,4
Acuícola	1.654,1	4,6%	1654,1	s.i.
Industria	2.106,0	5,9%	2000,7	493,5
Energía	7.738,6	21,5%	1273,6	364,4
Hidrocarburos	592,8	1,6%	s.i.	s.i.
Minería	640,6	1,8%	s.i.	s.i.
Servicios	481,8	1,3%	433,6	137,7
<b>Total Nacional</b>	<b>35.987,0</b>	<b>100,0%</b>	<b>7.032,5</b>	<b>2.480,6</b>

s.i = sin información

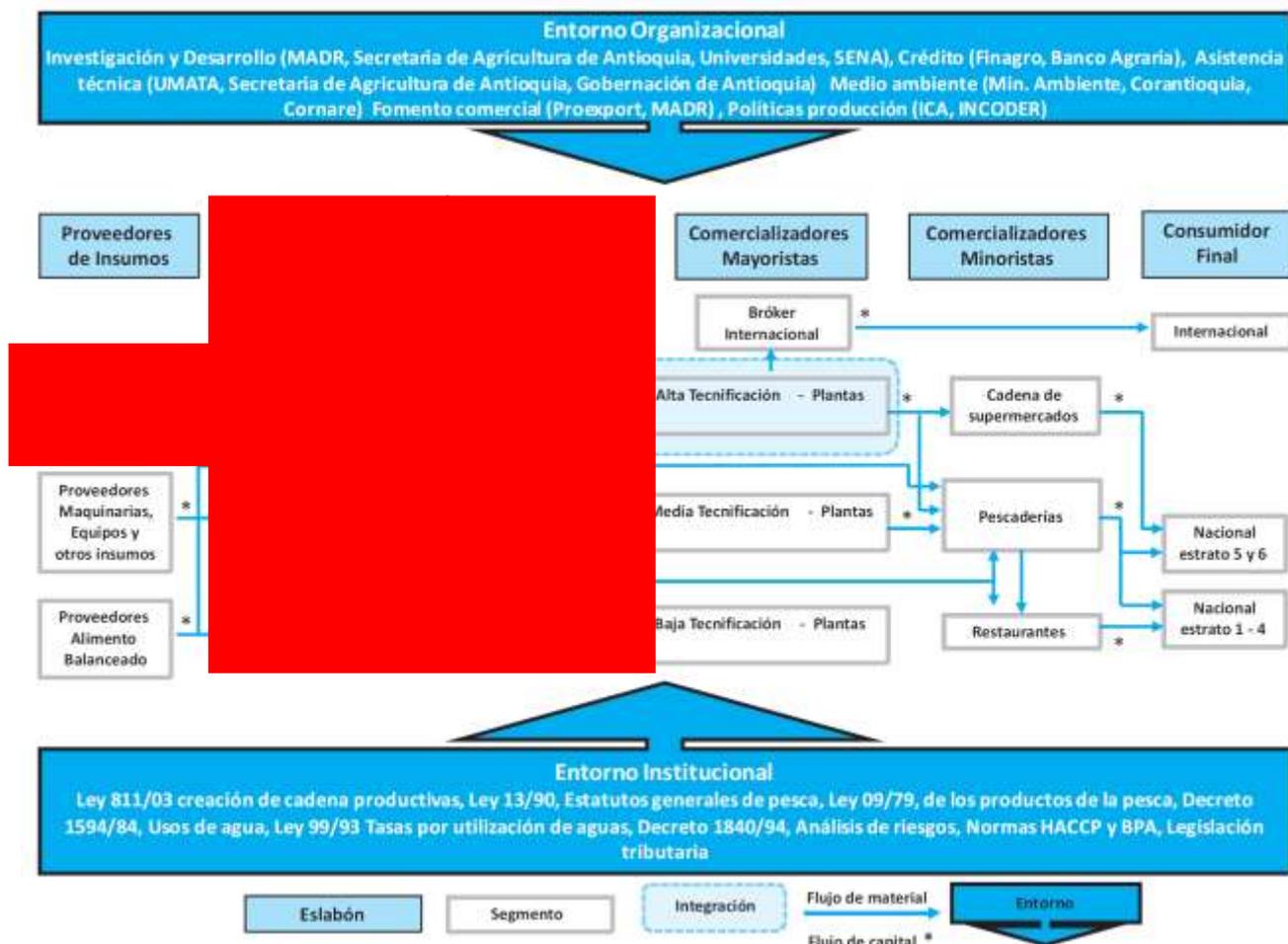
Fuente: (Fuente: IDEAM. Estudio Nacional del Agua, 2014)

Para el análisis de los posibles impactos ambientales que genera la actividad piscícola en la laguna de Tota, a continuación se describen los principales procesos que se realizan en las Unidades productivas piscícolas de producción de semilla, unidades productivas piscícolas de levante y engorde, y finalmente, disposición y excreción de residuos.

#### 4.1.1. CADENA PRODUCTIVA DE LA TRUCHA

En Colombia la producción de trucha arcoíris es una actividad que se desarrolla en gran medida en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cundinamarca, Nariño, Santander, Norte de Santander, Cauca, y Quindío. En cuanto a su producción, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural definió el Modelo de la cadena productiva de la Trucha, en el cual se observan los 5 eslabones que la componen: Proveedor de insumos, Productor de carne, Procesamiento agroindustrial, Comercialización mayorista y minorista, y Consumidor final (Calderón & Bayona, 2017), evidenciados en la figura 3. Además, se observa que del eslabón de Proveedores de insumos, solamente se incluye el alevinaje, lo cual se denota en la presente guía como producción de semilla.

Figura 3. Eslabones y segmentos de la cadena productiva de Trucha cobijados por los análisis de la Guía Ambiental



Fuente: (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colciencias, “Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la trucha arcoíris en el departamento de Antioquia”, 2010.)

## 4.2 INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN DE ALEVINOS

### 4.2.1 PRODUCCIÓN DE ALEVINOS DE TRUCHA

Teniendo en cuenta que en Colombia está limitada la producción certificada de ovas de Trucha, normalmente estas son traídas de países como Estados Unidos y eventualmente de Dinamarca, las cuales están autorizadas a nivel nacional para su importación (Calderón & Bayona, 2017). Las principales actividades que se realizan en la producción de alevinos (Semilla) de trucha y que son clave para el análisis ambiental de la presente Guía, son los siguientes:

- *Obtención de Ovas:* Una vez las ovas llegan a las unidades productivas, se realiza el conteo y una medición de parámetros de calidad de agua en las incubadoras (temperatura, concentración y saturación de oxígeno) para garantizar que son

adecuados y dar inicio del proceso de incubación. Posteriormente se procede a realizar la incubación, para lo cual se requiere un flujo continuo de agua (entre 8 a 12°C), que le permita mantener las concentraciones de oxígeno adecuados para evitar mortalidades. Las ovas empiezan a eclosionar 6 a 7 días después iniciar el proceso de incubación. Una vez eclosionan, tardan de 10 a 14 días para empezar a nadar y consumir alimento comercial. Durante el proceso, es importante la remoción continua de residuos (lodos y mortalidad) para evitar la proliferación de hongos u otros factores que puedan afectar el normal desarrollo del proceso o la contaminación del medio (Calderón & Bayona, 2017).

## 5. MANEJO AMBIENTAL

El objetivo de este capítulo es apoyar el mejoramiento continuo de la gestión y desempeño ambiental del sector piscícola de Tota mediante la identificación y descripción de los principales impactos ambientales que se generan en la producción primaria piscícola.

### 5.1 IMPACTOS AMBIENTALES DEL SECTOR PISCÍCOLA

#### 5.1.1 PRODUCCIÓN

Los impactos ambientales típicos generados en el eslabón de la producción de carne de pescado, se agrupan para las actividades principales que se presentan en la tabla 2 como una matriz de identificación de impactos.

Tabla 2. Matriz de evaluación de impactos para el sector piscícola de la laguna de Tota

ETAPAS Y SUBETAPAS	ACTIVIDADES	Hídrico	Atmosférico	Suelo	Paisaje	Flora	Económico	Social	
		Cambios en la calidad del agua	Alteraciones en la calidad del aire	Cambio en los niveles de ruido	Desgaste del recurso y la capa fértil	Alteraciones en el uso actual del suelo	Alteración de la configuración espacial natural y pérdida de biodiversidad	Alteración de cobertura vegetal	Afectación especies endémicas y amenazadas



### **5.1.1.1 CONFLICTOS CON LA COMUNIDAD POR EL USO DE AGUA PARA SU FUNCIONAMIENTO**

La localización de una instalación de producción primaria piscícola, es probablemente el factor más importante en la determinación de su impacto ambiental y de potenciales conflictos con las comunidades vecinas y con otros usuarios del agua, cuando la instalación está ubicada:

- a) En una zona donde el uso del suelo que no es compatible con la actividad según los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), o en zonas no aptas según los Planes de Ordenación y Manejo de cuencas (POMCA),
- b) Dentro o en un sitio cercano a zonas ambientalmente sensibles, tal como páramos, nacimientos de agua, rondas hídricas, humedales, o en lagunas, ciénagas, o lagos naturales, parques naturales nacionales, zonas declaradas como ambientalmente protegidas, zonas de interés cultural o arqueológico, e incluso embalses donde la actividad no está permitida;
- c) En un sitio susceptible de inundación, de deslizamiento de tierras o cerca de una falla geológica activa.

Así mismo, pueden surgir conflictos con otros usuarios del agua o con otros productores piscícolas, cuando las instalaciones están ubicadas dentro de un mismo espejo de agua y hay competencia por el uso del recurso, por la superficie de agua o por ambos, y no han sido tenidas en cuenta las restricciones o condiciones técnicas que la autoridad ambiental establezca en la concesión de aguas o en la reglamentación del cuerpo de agua, o sobre la capacidad de producción. Adicionalmente pueden surgir conflictos en el caso de embalses, cuando los usuarios no han tenido en cuenta las restricciones que la autoridad ambiental ha establecido dentro del reglamento operativo del embalse para la localización de las instalaciones de producción primaria o actividades complementarias (Calderón & Bayona, 2017).

### **5.1.1.2 ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO POR RESIDUOS DEL PROCESO**

Las principales fuentes de residuos de la piscicultura continental son el alimento no consumido por los peces, la excreta de los organismos cultivados, y los peces muertos que aparecen normalmente en cada etapa del proceso productivo.

Otros importantes contaminantes que pueden ser producidos en las instalaciones piscícolas son los productos químicos para el mantenimiento y limpieza de las instalaciones y los medicamentos utilizados para el control de enfermedades de los peces. Estos contaminantes son generalmente esporádicos y la mejor manera de minimizar los impactos adversos generados por su uso procurar comprar productos con certificación de biodegradabilidad, seguir las instrucciones del fabricante y mantener en las instalaciones, visibles y accesibles a los operarios, los procedimientos de manejo para su buen uso. (Calderón & Bayona, 2017).

Con respecto al alimento no consumido, las principales causas son principalmente la mala técnica o descuido en el suministro de la alimentación, o el suministro en exceso de alimento. En cualquier caso, el mal manejo afecta la rentabilidad del negocio y por lo tanto las medidas preventivas se deben realizar al interior de la empresa piscícola, mediante el suministro de equipos y herramientas adecuadas que minimicen el desperdicio de alimento, así como, mediante el entrenamiento de los operarios encargados de la actividad.

En cuanto a la fracción no digerida del alimento esta es eliminada por los peces en forma de heces sólidas, mientras que aquéllos nutrientes absorbidos en exceso son excretados junto a los productos finales del catabolismo de las proteínas en forma de amonio y urea disueltos, a través de las branquias.

En líneas generales, alrededor de 1/4 de los nutrientes aportados vía alimentación de peces son incorporados a la carne de éstos, mientras que 3/4 partes permanecerán en el medio (62 % del nitrógeno y 11 % del fósforo en forma disuelta; 13 % del nitrógeno y 66 % del fósforo en forma de sedimentos sólidos). (Calderón & Bayona, 2017).

Otra fuente importante de contaminación del agua, proviene de las heces de los peces ya que su descomposición consume oxígeno y genera en casos severos la muerte de los peces del cultivo por anoxia. Por esta razón es necesario controlar la densidad de peces (número de peces por metro cúbico ( $m^3$ ) de agua), y en algunos casos es necesario incorporar oxígeno al agua a través de sistemas de aireación u oxigenación y en casos extremos extraer las heces sedimentadas del fondo del cuerpo de agua para evitar el avance en los procesos de acumulación de nutrientes. (Calderón & Bayona, 2017).

La descomposición de peces muertos no retirados oportunamente del cuerpo de agua es otra fuente importante de contaminación hídrica, en razón a que su descomposición también consume oxígeno, por esta razón, es necesario implementar una buena práctica del retiro a diario de los peces muertos.

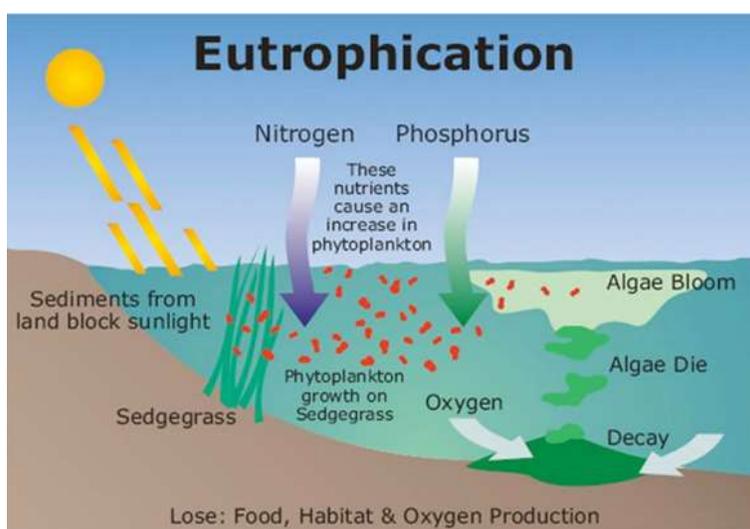
### **5.1.1.3 EUTROFIZACIÓN DEL CUERPO DE AGUA POR APORTE DE NUTRIENTES**

Los desechos, tanto orgánicos como inorgánicos, de las piscifactorías pueden causar un enriquecimiento en nutrientes e incluso eutrofización en el caso de que las zonas destinadas al cultivo sean semi-confinadas o se realice la actividad en cuerpo de agua lénticos. Las tasas de asimilación del alimento para los peces alcanzan un rango entre el 70 y 75 %, indicando que entre el 25 y 30 % de los constituyentes del alimento son expulsados en las heces; para el nitrógeno la tasa de asimilación es del 30 al 50 % y para el fósforo es del 80%; es así como los sólidos sedimentables pueden contener de un 30 a un 80% de nitrógeno y 15-32% de fósforo total. (Calderón & Bayona, 2017).

En el proceso de Eutrofización, el agua pierde sus propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y organolépticas por la acumulación de material orgánico y nutrientes

minerales principalmente nitrógeno (N), fósforo (P), incrementando la actividad biológica y microbiológica, que se verá reflejado en una disminución del oxígeno disuelto, además de un aumento considerable de la biomasa biológicamente oxidable; subsiguiente se presentará otro signo de eutrofización que se caracteriza porque en la superficie se presenta un aumento descontrolado de plantas acuáticas que no permitirán el paso de luz y de oxígeno a la fuente de agua creando un ambiente anaerobio, oscuro, con malos olores, por la formación de gases como el metano y ácido sulfhídrico entre otros, al final la acumulación de la biomasa es tal que impide el desarrollo de la vida aerobia en el cuerpo de agua. (Ver Figura 4).

Figura 4. Proceso de eutrofización



Fuente: (Imágenes de Google, 2021)

Algunos de los efectos más visibles que se pueden atribuir a la contaminación en general, y a la eutrofización e hipertrofización en particular, son cambios en la vegetación del bentos, compuesto por microalgas, macroalgas y plantas vasculares. Los cambios específicos y los efectos secundarios conectados con el aumento de la eutrofización son: Aumento del nivel de nutrientes; Fenómenos de blooms de fitoplancton; Disminución o desaparición de comunidades de plantas perennes por otras de crecimiento rápido (algas verdes foliáceas o filamentosas); Reducción de la diversidad en la flora y la fauna asociada.

## 5.2 VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Para que las instalaciones piscícolas cobijadas en la presente Guía, hagan su propia valoración de sus impactos ambientales, se sugiere utilizar una metodología cualitativa de valoración de impactos, la cual se calificará con los puntajes que se presentan a continuación:

- Naturaleza (NA): Determina si el impacto es benéfico o positivo para el entorno ambiental, en cuyo caso se valora con el signo más (+); o si es perjudicial o negativo, en cuyo caso se valora con el signo menos (-).
- Intensidad (IN): Se refiere al grado de modificación del componente ambiental afectado por el impacto y se califica con un valor máximo de 10 unidades, distribuidas de la siguiente manera:
  - Baja = 3 (cuando la magnitud de la modificación del componente ambiental afectado es apenas perceptible).
  - Media = 5 (cuando la magnitud de la modificación del componente ambiental afectado es perceptible).
  - Alta = 7 (cuando la magnitud de la modificación del componente ambiental afectado es fuerte).
  - Total = 10 (cuando la magnitud de la modificación del componente ambiental afectado es total y hace que los servicios ambientales que brinda el componente ambiental afectado se pierden definitivamente).
- Extensión (EX): Se refiere al área afectado por el impacto en relación con al área del predio de las instalaciones piscícolas y se califica con un valor máximo de 10 unidades distribuidas de la siguiente manera:
  - Puntual = 2
  - Área de producción u operativa de la piscícola = 5
  - Predio de la instalación piscícola = 7
  - Excede el área del predio piscícola = 10
- Duración (DU): Se refiere al tiempo que teóricamente permanecerá el impacto desde su aparición. Se califica con un valor máximo de 10 unidades. Distribuidas de la siguiente manera:
  - Fugaz = 2
  - Temporal = 6
  - Permanente = 10
- Probabilidad (PR): Se refiere a la posibilidad de ocurrencia del impacto y se califica con un valor máximo de 1 unidad, distribuida de la siguiente manera:
  - Baja=0.3
  - Media=0.5
  - Alta=0.7
  - Hecho cierto=1.0

En la Tabla 3 se presenta una propuesta de matriz de valoración de impactos diseñada por Calderón y Bayona, para que los productores piscícolas, dependiendo el tipo de sistema que tengan y en consecuencia de los impactos que generan (los sistemas de ciclo cerrado generan mucho menos impactos que los de jaulas), hagan su valoración de impactos.

Tabla 3. Matriz de valoración de impactos para Plantas de Producción Primaria

	COMPO NENTE	POSIBLE IMPACTO AMBIENTAL	CARACTERISTI CAS IMPACTO					VALO R DEL IMPAC TO
			N A	I N	E X	D U	P R	
ETAP A	Agua	Aumento de concentración de sólidos en el agua por las excavaciones para la construcción de estanques o estructuras de captación						
	Suelo	Cambio de uso del suelo para la actividad piscícola						
		Pérdida de cobertura y capa vegetal						
		Cambio en el patrón de drenaje por la construcción de estanques.						
	Fauna	Disminución de hábitats y ahuyentamiento de especies naturales locales existentes						
	Flora	Pérdida de vegetación natural						
	Paisaje	Modificación del paisaje natural en cuanto a forma y escala cromática por construcción de estanques o instalación de jaulones						
	Social	Posibles conflictos con la comunidad o con otros productores por la construcción de las instalaciones						
	Económic o	Generación de expectativas de empleo por la construcción de instalaciones						
		Aumento de ingresos al municipio por pago de impuestos						
		Aumento de ingresos para la economía local por suministro de materiales, equipos e insumos						
	Agua	Uso no consuntivo de agua cruda para proceso productivo, que puede reducir la disponibilidad de agua para otros usos.						
		Contaminación de agua con residuos de membranas, ovas, comida, heces y peces muertos.						
Posible eutrofización del cuerpo de agua por aporte de nutrientes producto de la descomposición de residuos de comida,								

ETAP A	COMPO NENTE	POSIBLE IMPACTO AMBIENTAL	CARACTERISTI CAS IMPACTO					VALO R DEL IMPAC TO
			N A	I N	E X	D U	P R	
		heces y peces muertos						
		Contaminación del agua con lodos y aguas residuales del lavado y mantenimiento de los estanques						
		Contaminación del agua con residuos de hidrocarburos de los motores de las embarcaciones empleadas en el proceso						
	Suelo	Contaminación del suelo por la disposición ambientalmente inadecuada de residuos de sustancias químicas usadas en el proceso (productos de control veterinario, control de plagas)						
		Contaminación del suelo por la disposición ambientalmente inadecuada de residuos sólidos del proceso (empaques, lonas, residuos de alimentos vencidos o de consumo humano, etc.)						
		Contaminación del suelo por disposición ambientalmente inadecuada de peces muertos						
	Fauna	Afectación de especies nativas con enfermedades de especies en cautiverio						
		Perturbación de comunidades acuáticas nativas por fuga accidental de especies en cautiverio						
	Flora	Alteración o cambio de flora natural por procesos de eutrofización						
	Social	Posibles conflictos con comunidades generados por falta de conciencia ambiental de los operarios						
	Económic o	Generación de expectativas de empleo por la operación de la unidad productiva						
		Aumento de ingresos al municipio por pago de impuestos						
		Aumento de ingresos para la economía local y nacional por suministro de materiales e insumos						

Fuente: (Calderón & Bayona, 2017)

### **5.3 MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL**

Para prevenir, mitigar o compensar los impactos ambientales adversos identificados en las instalaciones de Producción Primaria piscícola continental, a continuación se listan los programas y proyectos que contienen las medidas de manejo ambiental que se recomienda implementar para su construcción y operación ambientalmente sostenible

- Planificación y localización de las instalaciones de Producción Primaria en embalses
- Protección de fauna, de ecosistemas sensibles y manejo paisajístico
- Información y comunicación a la comunidad
- Ahorro y uso eficiente del agua
- Implementación de sistemas de producción primaria de ciclo cerrado (recirculación del agua)
- Minimización de la contaminación del agua en la producción primaria piscícola en lagos, lagunas o embalses
- Aprovechamiento de la mortalidad de peces, de residuos de pescado, o de lodos de estanques
- Manejo integral de residuos sólidos ordinarios
- Mejoras en el manejo de productos químicos y residuos especiales
- Prevención de afectación a especies nativas en el cuerpo de agua
- Concientización y educación ambiental del personal operativo
- Formalización de la actividad piscícola

#### **5.3.1 PLANIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE PISCIFACTORÍAS**

##### **5.3.1.1 CRITERIOS PARA SELECCIÓN DEL PREDIO**

A continuación, se listan los criterios necesarios para la selección del predio de cultivo de trucha:

- Contar con la respectiva legalización del predio. Certificado de tradición y libertad del predio.

Garantizar que la actividad se encuentre permitida y autorizada por el plan de ordenamiento territorial del municipio (Aquitania, Tota, Cútiva) mediante el respectivo permiso de uso de suelo.

- Garantizar que la topografía favorezca los diseños estructurales y productivos del proyecto.
- En lo posible no localizar el proyecto aguas abajo o en cercanías de actividades mineras, actividades de hidrocarburos, zonas francas, o actividades agropecuarias de cría o sacrificio de cerdos, pollos y bovinos; debido al alto riesgo en la contaminación del recurso hídrico. Si se llegase a presentar un posible predio aguas abajo de dichas actividades, se deberá garantizar una distancia considerable de dichas actividades con el ánimo de que la corriente tenga el suficiente tiempo y distancia para depurar y asimilar las cargas contaminantes vertidas.
- Tener en cuenta el aval de la comunidad y de las autoridades locales, además del aval de la autoridad ambiental CORPOBOYACÁ, con el ánimo de prever futuras complicaciones en el desarrollo del proyecto. Se recomienda tener acercamiento con los pobladores aledaños, Juntas de acción Comunal, Secretarías de planeación y agricultura del municipio, y los demás actores clave que el ejecutor considere pertinentes.

### **5.3.1.2 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PRIMARIA ECO-EFICIENTES**

#### **5.3.1.2.1 RECIRCULACIÓN DE AGUA – RAS**

El sistema RAS es una tecnología que está creciendo rápidamente en el sector piscícola, y se fundamenta en la reutilización del agua en los estanques de producción piscícola, para lo cual usa filtros mecánicos y biológicos, en los que se trata el agua continuamente para eliminar los productos de desecho excretados por los peces y añadir oxígeno para mantener vivo el pescado. Un sistema de recirculación es de hecho muy simple; desde estanque el agua fluye a un filtro mecánico y más adelante a un filtro biológico antes de ser aireado y despojado de dióxido de carbono y devuelto a los estanques con peces. En sistemas RAS se agregan otros procesos, como la oxigenación con oxígeno puro, luz ultravioleta o desinfección de ozono, regulación automática del pH, intercambio de calor, desnitrificación, etc.

#### **5.3.1.2.2 SISTEMA BIO FLOC**

Un sistema BIOFLOC, o BFT por sus siglas en inglés (Bioflocs Technology), es un sistema de producción piscícola súper-intensivo que se sustenta en aprovechar la acumulación de residuos de los alimentos, materia orgánica y compuestos inorgánicos tóxicos a través de microorganismos presentes en los medios acuáticos, dando condiciones de dominancia a

comunidades autótrofas y heterótrofas, resolviendo sustancialmente los problemas de saturación de nutrientes a partir de su reciclaje

### **5.3.1.2.3 ACUAPONÍA**

Un sistema acuapónico es la integración de un sistema de recirculación en acuicultura con hidroponía en un sólo sistema de producción. En un sistema acuapónico, los efluentes de la acuicultura no se liberan en el medio ambiente, sino que se redirigen a las raíces de las plantas, al mismo tiempo que los nutrientes suministrados a las plantas provienen de una fuente sostenible, rentable y no química.

## **6. EVALUACIÓN, SEGUIMIENTO Y MONITOREO**

Una parte clave de la gestión ambiental es la evaluación por parte de las empresas de producción primaria piscícola continental o de procesamiento de carne de pescado, acerca de la efectividad de las medidas ambientales implementadas, con el propósito de demostrar su cumplimiento en el uso racional de los recursos naturales y en disminución de sus impactos ambientales.

### **6.1 FORMULACIÓN Y SEGUIMIENTO DE INDICADORES**

Es responsabilidad del grupo de gestión ambiental de cada empresa formular, ejecutar, y analizar los indicadores ambientales para propender por la óptima y eficiente gestión ambiental. Estos deben arrojar resultados sobre el manejo sostenible de los recursos naturales para identificar las conformidades e inconformidades que se presentan. Con base en esta información, se tomarán medidas que permitan el mejoramiento continuo en la gestión ambiental de la empresa.

Los indicadores de gestión son un conjunto de expresiones numéricas que representan los aspectos que son susceptibles de variar en el tiempo, permiten analizar la evolución, el cumplimiento de las metas propuestas en el manejo ambiental y medir su desempeño en términos cuantitativos. Para ello, es necesario definir con antelación aspectos tales como: qué es lo que se va a medir, quién va a realizar la medición, cuáles son los mecanismos de medición que se van a utilizar y para qué sirven los resultados. (Universidad Pontificia Bolivariana - Área metropolitana del Valle de Aburrá, 2008).

Cabe resaltar que el sector encargado de realizar la gestión ambiental en cada piscifactoría que se ubique en la laguna, debe proponer sus propios indicadores de gestión ambiental. A continuación se propone uno de los más relevantes para este propósito.

#### **6.1.1 UNIDADES DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA**

A continuación se presentan los indicadores de gestión ambiental que deben ser tenidos en cuenta en la construcción y operación de las unidades de producción piscícola continental; no obstante, vale aclarar que el grupo de gestión ambiental de cada una de las UPP deberá formular otros indicadores que permitan evidenciar el avance en la gestión ambiental de la empresa: en este contexto en la tabla 4, propuesta por los autores Calderón y Bayona, se muestran los indicadores recomendados para la producción en jaulas, como es el caso de la laguna de Tota.

Tabla 4. Indicadores de gestión ambiental para granjas piscícolas en jaulas

MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL			SEGUIMIENTO Y MONITOREO		
PROGRAMA	No.	FICHA DE MANEJO AMBIENTAL	META	INDICADOR	FRECUENCIA
<b>ETAPA DE CONSTRUCCIÓN</b>					
1. COMPONENTE SUELO	1.2	Planificación y localización de las instalaciones de Producción Primaria en embalses	Mayor 80%	$Iqlip = \left\{ \frac{5 - NQLEP}{5} \right\} * 100$ Donde: • Iqlip = Indicador de quejas por la localización de la instalación piscícola. • NQLEP = Número de quejas por la localización de la instalación piscícola	Una vez durante la planificación y construcción
2. COMPONENTE FLORA, FAUNA Y PAISAJE	2.1	Protección de fauna, de ecosistemas sensibles y manejo paisajístico	Mayor 60%	$Isac = \left\{ \frac{3 - NPSA}{3} \right\} * 100$ Donde: • Isac = Índice de procesos sancionatorios ambientales abiertos por impactos en construcción NPSA = Número de procesos sancionatorio abiertos por la autoridad ambiental (máximo 3)	
3. COMPONENTE SOCIOECONÓMICO	3.1	Información y comunicación a la comunidad			
	3.2	Concientización y capacitación ambiental del personal de la obra			
	3.3	Contratación de mano de obra local			

MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL			SEGUIMIENTO Y MONITOREO		
PROGRAMA	No.	FICHA DE MANEJO AMBIENTAL	META	INDICADOR	FRECUENCIA
	3.4	Compras locales			
<b>ETAPA DE OPERACIÓN</b>					
1. COMPONENTE AIRE	1.1	Control de emisiones atmosféricas	Mayor 80%	$I_{ceatm} = \left\{ \frac{5 - NQRO}{5} \right\} * 100$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>I_{ceatm}</math> = Indicador de control de emisiones atmosféricas</li> <li>• <math>NQRO</math> = Número de quejas por ruidos u olores</li> </ul>	Anual
2. COMPONENTE AGUA	2.1	Ahorro y uso eficiente del agua	Mayor 80%	$I_{ueaa} = \left\{ \frac{VAPAN - VAPAC}{VAPAN} + 0.8 \right\} * 100$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>I_{ueaa}</math> = Indicador de uso eficiente y ahorro de agua.</li> <li>• <math>VAPAN</math>: Volumen de agua por lote del periodo anterior (m3) por tonelada de producto</li> <li>• <math>VAPAC</math> = Volumen de agua por lote del periodo actual (m3) por tonelada de producto (<math>0,2 * VAPAN &lt; VAPAC &lt; 1,8 * VAPAN</math>)</li> </ul>	Mensual
	2.3	Medidas de adaptación al cambio climático en la piscicultura continental		$I_{macc} = \left\{ \frac{MAAI + MAAS + MAAIT}{3} \right\} * 100$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>I_{macc}</math> = Indicador de medidas de adaptación al cambio climático.</li> <li>• <math>MAAI</math>: Medidas de adaptación contra inundaciones (se califica con 1 si tiene una o más medidas adoptadas)</li> <li>• <math>MAAS</math>: Medidas de adaptación contra sequía (se califica con 1 si tiene una o más medidas adoptadas)</li> </ul>	Anual

MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL			SEGUIMIENTO Y MONITOREO		
PROGRAMA	No.	FICHA DE MANEJO AMBIENTAL	META	INDICADOR	FRECUENCIA
				<ul style="list-style-type: none"> <li>•MAAI: Medidas de adaptación contra aumento de temperatura (se califica con 1 si tiene una o más medidas adoptadas).</li> </ul>	
	2.4	Minimización de la contaminación del agua en la producción primaria piscícola en lagos, lagunas o embalses	Mayor 80%	$IPCA = \left\{ \frac{\left( \frac{10\%}{\%PMPL} + \frac{CPOD}{CSOD} + \frac{6}{DPHM} \right)}{4} \right\} * 100$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• IPCA: Índice de potencial de contaminación del agua por la actividad de producción primaria piscícola.</li> <li>• %PMP: Porcentaje Promedio de Mortalidad de Peces por Lote.</li> <li>• CPOD: Concentración promedio de oxígeno disuelto en el agua.</li> <li>• CSOD: Concentración de saturación de oxígeno en el agua</li> <li>• DPHM: Diferencia del PH promedio en el agua respecto al PH neutro.</li> <li>• TAP: Toneladas de alimento programado.</li> <li>• TARS: Toneladas de alimento realmente suministrado al cultivo</li> </ul>	Mensual

MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL			SEGUIMIENTO Y MONITOREO		
PROGRAMA	No.	FICHA DE MANEJO AMBIENTAL	META	INDICADOR	FRECUENCIA
3. COMPONENTE SUELO	3.3	Manejo integral de residuos sólidos ordinarios	Mayor del 80%	$Idfarso = \left\{ \frac{KRSODA}{KRSOG} \right\} * 100$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Idfarso: Índice disposición final adecuada de residuos de residuos sólidos ordinarios.</li> <li>• KRSODA: Kilos de residuos sólidos ordinarios dispuestos adecuadamente según normas ambientales vigentes.</li> <li>• KRSOG: Kilos de residuos sólidos ordinarios generados en la planta de producción primaria.</li> </ul>	Mensual
	3.4	Manejo de productos químicos y residuos especiales	Mayor del 80%	$Idsqp = \left\{ \frac{KDSQP}{KUSQP} \right\} * 100$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Idsqp: Índice de derrames de sustancias químicas o peligrosas.</li> <li>• KDSQP: Kilos derramados de sustancias químicas o peligrosas.</li> <li>• KUSQP: Kilos usados de sustancias químicas o peligrosas.</li> </ul>	Mensual
	3.5	Manejo de plagas			
4. COMPONENTE FAUNA Y FLORA	4.1	Prevención de afectación de especies nativas en cuerpos de agua	Mayor del 90%	$Ifppc = \left\{ \frac{TPERJ}{TPPJDM} \right\} * 100$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ifppc: Índice de fuga probable de peces en cautiverio.</li> <li>• TPERJ: Toneladas de peces efectivamente retirados de la jaula, por lote.</li> <li>• TPPJDM: Toneladas de peces proyectado en las jaulas</li> </ul>	Anual

MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL			SEGUIMIENTO Y MONITOREO		
PROGRAMA	No.	FICHA DE MANEJO AMBIENTAL	META	INDICADOR	FRECUENCIA
				descontando la mortalidad.	
5. COMPONENTE ENERGÍA	5.1	Uso eficiente y ahorro de las fuentes de energía usadas en la granja	Mayor del 90%	$I_{ueafe} = \left\{ \frac{KwCMAL}{KwCMVC} + \frac{VCCMVTPC}{VCCMAPC} \right\} * 50$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Iueafe: Índice de uso eficiente y ahorro de fuentes de energía.</li> <li>• KwCMAL: Toneladas de peces efectivamente retirados de la jaula, por lote.</li> <li>• KwECMVC: Toneladas de peces proyectado en las jaulas descontando la mortalidad.</li> <li>• VCCMVTPC: Volumen de combustible consumido en mes vigente por toneladas de pescado en proceso de cultivo.</li> <li>• VCCMAPC: Volumen de combustible consumido en el mismo mes de los tres años anteriores, por toneladas de pescado en proceso de cultivo.</li> </ul>	Mensual
6. COMPONENTE SOCIAL	6.1	Concientización y educación ambiental del personal operativo	Mayor 90%	$I_{camb} = \left\{ \frac{NCRPO}{NCPPO} \right\} * 100$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Icamb: Índice de capacitación ambiental del personal de la planta.</li> <li>• NCRPO: Número de capacitaciones al año</li> </ul>	Anual

MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL			SEGUIMIENTO Y MONITOREO		
PROGRAMA	No.	FICHA DE MANEJO AMBIENTAL	META	INDICADOR	FRECUENCIA
				realizadas al personal de operativo. • NCPPO: Número de capacitaciones programadas al año.	
	6.2	Formalización de la actividad piscícola	Mayor del 80%	$Ifamb = \left\{ \frac{NPAOP}{NPAR} + \frac{NRPAC}{NTRPA} \right\} * 100$ Donde: • Ifamb: Índice de formalización ambiental de la planta. • NPAOP: Número de permisos ambientales o en trámite de la planta. • NPAR: Número de permisos ambientales requeridos para la planta. • NRPAC: Número de requerimientos de permisos ambientales cumplidos • NTRPA: Número total de los requerimientos de permisos ambientales para la planta.	Anual
	6.3	Atención de peticiones, quejas o reclamaciones	Mayor del 80%	$Iapqr = \left\{ \frac{NPQRA}{NPQRP} \right\} * 100$ Donde: • Iapqr: Índice de atención de peticiones, quejas, reclamaciones. • NPQRA: Número de peticiones, quejas, reclamaciones debidamente atendidas según procedimiento. • NPQRP: Número de peticiones, quejas,	Mensual

MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL			SEGUIMIENTO Y MONITOREO		
PROGRAMA	No.	FICHA DE MANEJO AMBIENTAL	META	INDICADOR	FRECUENCIA
				reclamaciones presentadas.	
7. COMPONENTE ECONÓMICO	7.1	Contratación de mano de obra local	Mayor del 60%	$I_{cmol} = \left\{ \frac{NEAIP}{NETP} \right\} * 100$ Donde: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Icmol: Índice de contratación de mano de obra local.</li> <li>• NEAIP: Número de empleados del área de influencia del proyecto.</li> <li>• NETP: Número de empleados totales de la planta.</li> </ul>	Mensual
	7.2	Prioridad de compras locales	Mayor del 30%	$I_{pclo} = \left\{ \frac{VCL}{VCT} \right\} * 100$ Donde: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ipclo: Índice de priorización de las compras locales.</li> <li>• VCL: Valor mensual de las compras locales de insumos y suministros para la planta.</li> <li>• VCT: Valor mensual de las compras totales de insumos y suministros para la planta.</li> </ul>	Mensual

Fuente: (Calderón & Bayona, 2017)

## 6.2 GESTIÓN DE PERMISOS AMBIENTALES

Con el fin de preservar y hacer uso razonable del recurso hídrico se deben otorgar permisos para la captación de aguas superficiales y subterráneas que indiquen la cantidad y calidad de agua necesaria de la captación, esto ayuda a conservar el caudal ecológico del cauce, así

como brindar disponibilidad de agua a poblaciones después de la captación; para evitar el deterioro del recurso una vez se hallan utilizado las aguas en el proceso productivo, se debe contar con un permiso de ocupación de cauce a fin de evitar daños al cuerpo hídrico.

## **6.2.1 PERMISO DE CONCESIÓN**

Concesión de Agua: Es el permiso que otorga la autoridad ambiental para hacer uso y aprovechamiento óptimo del agua para ser utilizada en actividades domésticas, pecuarias, industriales, agrícolas, entre otras. Se clasifican en: aguas superficiales y subterráneas.

### **6.2.1.1 PERMISO DE CONCESIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES**

La concesión de aguas superficiales, consiste en obtener el derecho al aprovechamiento de las aguas superficiales para cualquier proyecto, obra o actividad que requiera de uso de agua. (Calderón & Bayona, 2017)

*Marco Normativo:* El actual marco regulatorio para la expedición del permiso de concesión de aguas superficial se especifica a continuación:

- Decreto 1541 de 1978. Por el cual se fijan los procedimientos para otorgar concesiones, exploración de aguas superficiales, entre otras disposiciones.
- Ley 373 del 1997. Por el cual se establece el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua.

Para poder solicitar el permiso de concesión de aguas superficiales ante la autoridad ambiental es necesario tener una documentación jurídica y documentos técnicos.

#### ➤ Documentos de carácter Jurídico

1. Carta relacionando la información presentada.
2. Los documentos que acrediten la personería del solicitante. Certificado de existencia representación legal con vigencia no mayor a 90 días o certificado que acredite la representación legal de la entidad (original y copia).
3. Autorización del propietario o poseedor cuando el solicitante sea mero tenedor. Poder debidamente otorgado cuando se actúe por medio de apoderado o escritura pública cuando se actúe por apoderado general (original).
4. Certificado actualizado de Registrador de Instrumentos Públicos y Privados sobre la propiedad del inmueble, o la prueba adecuada de la posesión o tenencia. Certificado de libertad o tradición no mayor a 90 días (original y copia).
5. Cédula de ciudadanía en caso de ser ciudadano colombiano (original).
6. Cédula de extranjería o visa de residente en caso de ser extranjero (original).

7. Recibo de la consignación realizada por el pago por el concepto de la evaluación de la solicitud de la concesión (esta debe estar sellada por la caja registradora y presentada en original y copia).

➤ Documentos de carácter técnico

1. Formulario Único Nacional de Solicitud de Concesión de Aguas superficial diligenciado (original).
2. Documento con información sobre los sistemas para la captación, derivación, conducción, restitución de sobrantes, distribución y drenaje, y sobre las inversiones, cuantía de las mismas y termino en el cual se va a realizar (original).
3. Planos y cálculos del diseño del sistema de captación de agua.
4. Programa de Uso Eficiente y Ahorro de Agua (conforme con los requisitos establecidos en la Ley 373 de 1997 y la Guía de Uso Eficiente y Ahorro de Agua 2002).
5. Análisis físico, químico y bacteriológico del agua cruda.

Se debe monitorear como mínimo los siguientes parámetros:

- pH
- Temperatura
- Grasas y aceites
- Sólidos suspendidos
- Sólidos sedimentables
- Demanda biológica de oxígeno
- Demanda bioquímica de oxígeno
- Oxígeno disuelto
- Toma de caudal
- Nitrógeno en sus diferentes estados
- Fosforo en sus diferentes estados
- Cloruros
- Coliformes totales y fecales
- Metales pesados “Cromo hexavalente, arsénico, cianuro, mercurio trivalente y plomo”
- Dureza
- Microbiológicos

(Calderón & Bayona, 2017)

### **6.2.1.2 PERMISO DE OCUPACIÓN DE CAUCE**

Con el fin de evitar la erosión en las laderas del cauce de interés, evitar la pérdida de infraestructura producto de una creciente en el río, y promover la estética visual en los

cuerpos de agua, se debe contemplar la construcción de obras fijas de captación y de descarga de agua que eviten las connotaciones anteriormente planteadas.

Por otro lado, el Artículo 104 del Decreto 1541 de 1978 establece que la construcción de obras que ocupen el cauce de una corriente o depósito de agua requiere autorización, que se otorgará en las condiciones que establezca el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, INDERENA, hoy en día papel desempeñado por las Autoridades Autónomas Regionales.

Para realizar la solicitud del permiso de ocupación de cauce es necesario contar con una documentación de carácter jurídico y una documentación de carácter técnico. La documentación de carácter jurídico requerida se puede evidenciar en el permiso de concesión de aguas del presente documento. La documentación de carácter técnico se puede evidenciar a continuación:

Documento de Carácter Técnico:

- Documento con descripción detallada del proyecto a ejecutar y de las obras y actividades que requieren la ocupación del cauce. Se deberá incluir los planos y/o esquemas que se consideren necesario para la interpretación de la intervención del cauce.
- Plano (escala 1: 10000 o 1: 25000) indicando la ubicación de las obras.

(Calderón & Bayona, 2017)

### **6.3 INFORMES DE GESTIÓN**

Semestralmente, el grupo de gestión ambiental deberá consolidar un informe con las evidencias de la gestión en la empresa. En este se determinará el avance de ejecución de los programas y proyectos, y se realizará la cuantificación de los indicadores planteados. Este documento deberá ser expuesto a la junta directiva de la empresa, y comunicado al personal laboral con el fin de evaluar las metas alcanzadas, tomar decisiones y proponer nuevas medidas validadas que permitan mejorar la gestión ambiental de la empresa.

## **16. Análisis y Discusión de Resultados**

### **16.1 Discusión Primer Objetivo**

Analizando la identificación total de aspectos e impactos, y basándose en el anexo número 4, donde se evidencia la producción anual autorizada de trucha, y en conjunto con el anexo número 2 podemos relacionar que por cada kg de trucha se

necesitan aproximadamente 1,5 kg de alimento. Lo anterior como indicador de que aproximadamente el 70% de esta producción de trucha se denomina en contribución a la contaminación de la laguna convirtiéndose en nitrógeno, fósforo y más nutrientes que aceleran la eutrofización de la misma. Estos elementos que se mencionan es factible encontrarlos principalmente en los sedimentos debajo de las jaulas de cultivo, por lo que suelen ser utilizados como indicadores de contaminación (Buschmann y Fortt 2005).

Por su parte, si bien es cierto que la laguna de Tota, por su capacidad, puede soportar un desarrollo económico importante para la población dependiente del recurso hídrico para piscicultura, esta misma actividad genera una gama de problemas asociados que pueden desarrollarse más rápido que la acción preventiva y de control que puedan llevar a cabo los entes administrativos, así como los gubernamentales y no gubernamentales.

Con el fin de mitigar esta degradación, se pueden realizar algunos cambios en el sistema actual de cultivo, poniendo en práctica construcciones de estanques cerrados sumergidos con sistemas de recuperación de desechos, patentados principalmente en Canadá y Norteamérica. Esta alternativa es preciso proponerla, debido a que esta cantidad de materia orgánica en los sedimentos de la laguna, produce disminución del oxígeno disuelto, lo que conlleva a la disminución de biodiversidad endémica, poco tolerable a estos niveles de contaminación (Cornel y Whoriskey, 1993).

Si bien la concentración de contaminantes puede ser muy baja por el volumen de agua del sistema y el deterioro se manifiesta lento y pasivo al comienzo, finalmente se vuelve agresivo, irreversible y exponencial en el caso de la eutrofización (FAO 1997).

Con los indicadores y el análisis de impacto que se muestra, se alerta sobre el mal manejo que actualmente se le está dando al recurso hídrico de la laguna de Tota. Finalmente, como discusión del primer resultado es necesario entender que el método actual de cultivo de truchas puede deteriorar la calidad del agua para consumo humano, pues la carga de nutrientes y las heces favorecen la eutrofización, sin contar que el paisaje del lugar está siendo degradado rápidamente.

## **16.2 Discusión Segundo Objetivo**

En esta discusión, es preciso analizar un poco la eficacia de las normativas actuales en Colombia para la protección del recurso hídrico. La institucionalidad ambiental a nivel nacional ha sido testigo los últimos años de una nueva tendencia en materia de fallos y decretos judiciales, cuestionamiento que ocasiona así mismo, una debilidad en este ámbito así como una baja capacidad de respuesta para cada impacto que se presenta en pleno siglo XXI.

A principios de 2019, la ONU publicó el primer reporte sobre el estado del derecho ambiental a nivel mundial, mostrando los progresos y también las falencias y desafíos que implica la aplicación y cumplimiento de normas ambientales, el fortalecimiento de las instituciones y el diseño e implementación de políticas públicas. En el año 1972 apenas tres países del mundo contaban con leyes ambientales marco (Noruega, Suecia y Estados Unidos); actualmente el número de países con leyes marco ambientales ha aumentado significativamente (UNEP, 2019). El vertiginoso crecimiento del derecho ambiental promete mayores grados de protección, sin embargo persisten grandes dudas sobre la capacidad estatal para hacer efectivas estas normas (Molina, 2019)

En relación a estas dudas, muchos países actualmente cuentan con algunas políticas y normativas ambientales que no son ejecutadas correctamente, ocasionando impactos de mayor grado. En Latinoamérica, tal y como se evidencia en la tabla 12 y en la tabla 14, presentadas en el resultado del objetivo específico 2, y en virtud de su respectiva evaluación, en algunos países ya se muestran propuestas un poco más centradas a las actividades económicas, involucrando cada subsector con sus respectivos procesos, además de proponer nuevos métodos de penalización en caso de emplear de forma errónea procedimientos ya estipulados, lo que en consecuencia, permite un mejor manejo de toda la esfera ambiental en lo concerniente al desarrollo sostenible de la nación.

Teniendo en cuenta lo anterior, es preciso que en Colombia, y a nivel departamental, cada entidad realice propuestas a nivel de cada subsector de las actividades económicas, realizando estudios previos de impacto ambiental así como de los parámetros fisicoquímicos de los cuerpos de agua que se encuentren en su jurisdicción. Por su parte, es conveniente que los gobernantes se involucren en la formulación de proyectos y nuevos decretos, que permitan incrementar las formas sancionatorias para los comerciantes que, de alguna forma, contribuyan al aumento del impacto y posterior degradación de los cuerpos hídricos del país.

### **16.3 Discusión Tercer Objetivo**

Realizando el análisis respectivo de los resultados arrojados en los primeros dos objetivos específicos, y al momento de relacionar los aspectos y los impactos identificados del sector piscícola en Tota con la normatividad vigente acerca del recurso hídrico en Colombia, se proponen los apartados de la guía ambiental para este sector económico ya relacionados en la tabla 15.

La tabla de contenido que se plantea está dividida principalmente en 6 ítems, los cuales abarcan a cabalidad como es el funcionamiento del sector piscícola, específicamente en la Laguna de Tota, iniciando por la cadena productiva de la trucha (incluidos la importación de Alevinos), hasta la evaluación, seguimiento y monitoreo de los indicadores que se exponen en cuanto a medición de impactos ambientales y medidas de manejo ambiental.

Todos los temas que se abarcan en este diseño base de la Guía Ambiental, tienen una importancia marcada, debido a que aportan una visión interdisciplinar de todo el cultivo, relacionando los aspectos e impactos previamente identificados con las medidas de manejo correspondientes al sector, además de involucrar apartados que contribuyan significativamente en ramas específicas de la gestión ambiental.

Con el planteamiento de este diseño, y su implementación a corto, mediano y largo plazo, se pretende contribuir en la mitigación de los impactos causados en las fases de alimentación, cría intensiva y recolección de desechos, aportando al incremento positivo de parámetros como el oxígeno disuelto en la laguna a largo plazo, convirtiendo progresivamente los actuales procesos de la actividad piscícola en métodos sostenibles, y en consecuencia, procurando un progreso evidente en la calidad del cuerpo de agua.

### **Conclusiones**

En primer lugar, como resultado de la investigación documental realizada, se puede concluir que los sedimentos transformados que se contemplan en el desarrollo del objetivo específico 1, causados por el aporte no controlado de nutrientes, incrementan los problemas ambientales como la disminución de profundidad de la laguna, disminución del oxígeno disuelto (OD), y asimismo, aumentan la cantidad de fósforo total, además de la demanda química y bioquímica de oxígeno, provocando a su vez impactos a nivel ecológico, económico y social. Como consecuencia de lo expuesto, el desarrollo de actividades económicas, como la acuicultura, sin una guía de procedimientos sostenibles, puede generar un conflicto grave entre la naturaleza y los usuarios del recurso hídrico.

Dentro del análisis expuesto, se puede concluir que se necesitan estudios especializados de la columna de agua de la laguna de Tota y de los sedimentos, esto con el fin de, conocer a fondo la capacidad de carga que puede soportar el sistema sin percibir impactos de gran magnitud, para plantear una solución sostenible dentro del cultivo acorde a las cifras que se presenten, involucrando de forma directa a los productores de trucha.

Respecto a lo que Torres y Grandas nos exponen en su artículo Estimación de los desperdicios generados por la producción de trucha arcoíris en el Lago de Tota, y en correlación con lo que se encontró en el desarrollo del objetivo específico 1, es preciso concluir que debido al gran ingreso de desechos ingresados en el sistema de la laguna, la actividad del cultivo de trucha está generando impactos inminentes, los cuales si no se corrigen de forma apropiada con apoyo de legislaciones y conocimientos de la población aledaña implicada en el cuidado del recurso hídrico, incrementaran la disminución del espejo y por consiguiente de los servicios ecosistémicos que presta este cuerpo de agua.

En cuanto a lo abordado con anterioridad en el desarrollo del objetivo específico 2, se concluye que, la normativa vigente actualmente en Colombia relacionada con distintos

aspectos del recurso hídrico carece de cierta perspectiva concreta, por lo que, debe ponerse en marcha un enfoque de políticas y planes aterrizados a la actividad económica, como parte del nivel sub legal de la pirámide de Kelsen, aportando iniciativas acordes al uso del recurso para cada sector económico, teniendo en cuenta las características de sus subsectores y procedimientos en las fases de formulación y ejecución.

Por otra parte, a nivel de la rama judicial, se encuentra que es preciso fortalecer las comisiones existentes con actores que tengan conocimiento en materia de agua, cuya función principal sea la de ejercer los controles de las actividades económicas que requieran uso del recurso hídrico, proponiendo sanciones que eviten y/o mitiguen la contaminación de los cuerpos de agua.

De igual forma, fue posible resolver la pregunta de investigación, al definir cada uno de los lineamientos pertinentes en la construcción de la Guía Ambiental para el manejo del sector piscícola. Cabe resaltar, que al realizar esta formulación, cada capítulo aportó una relevancia concreta en cómo se puede manejar de forma sostenible el recurso hídrico de la cuenca de la laguna de Tota, involucrando de forma directa a las empresas de producción piscícola en el reconocimiento de sus actividades y posibles impactos, si dichos procesos no se realizan de forma correcta.

En cuanto a lo abordado con anterioridad, es preciso indicar que la realización de este trabajo de investigación documental permitió poner en práctica conocimientos adquiridos durante la carrera, como el manejo y formulación de matrices aprendidas en asignaturas como Evaluación y Manejo Ambiental, además de, realizar la observación de los aspectos, procesos, subprocesos e impactos como un sistema.

### **Recomendaciones**

En base a los resultados recogidos en la presente investigación y al aporte bibliográfico de este proyecto, se recomienda a las empresas piscicultoras ubicadas en esta zona optimizar los métodos y la tecnología que son utilizados en el sistema actual del cultivo, poniendo en práctica un tipo de mejoras, patentadas por otras empresas acuícolas en diferentes países. Estas condiciones se refieren principalmente a la construcción de estanques cerrados y sumergidos, implementando sistemas de recuperación de desechos mediante filtración, así como la implementación de tecnologías innovadoras en producción primaria como el sistema de Recirculación de agua (RAS).

Por otra parte, se recomienda a la autoridad ambiental competente (CORPOBOYACÁ) seguir investigando acerca de otros tipos de cultivo piscícola, que de acuerdo a las características de la cuenca hidrográfica se puedan aplicar con éxito, y en consecuencia, mitigar los impactos actuales en el cuerpo de agua.

Con respecto a la investigación teórica, se sugiere extender los estudios expuestos en este trabajo de grado, involucrando a fundaciones y autoridades ambientales encargadas de velar

por el buen manejo del recurso, para implementar a mediano plazo sistemas de fitorremediación utilizando plantas acuáticas que se alimenten de fosfatos y nitritos, para ayudar con la descontaminación gradual de la laguna.

Por último, se sugiere la implementación de herramientas como folletos y actividades de educación ambiental, que involucren de forma activa a la comunidad aledaña a la laguna de Tota, cuyo conocimiento en diversas áreas económicas que se desarrollan en su ronda generen un apoyo constante para con las autoridades ambientales y los empresarios, mejorando a largo plazo la calidad del recurso.

### Bibliografía

- *Acuicultura en América Latina: Situación actual y perspectivas.* (2017). FAO. <http://www.fao.org/3/u1780s/U1780S04.html>
- *Ávila, P. Z. (2018). LA SUSTENTABILIDAD O SOSTENIBILIDAD: UN CONCEPTO PODEROSO PARA LA HUMANIDAD.* Revista Tabula Rasa. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/396/39656104017/html/index.html>
- *Ayuntamiento de Huelva. (2018). Línea Verde Huelva. Línea Verde.* <http://www.lineaverdehuelva.com/lv/consejos-ambientales/conciencia-ambiental/Que-es-el-desarrollo-sostenible.asp>
- *Barrera, J. A., Espinosa, A. J., & Álvarez, J. P. (2019, marzo). Contaminación en el Lago de Tota, Colombia: toxicidad aguda en Daphnia magna (Cladocera: Daphniidae) e Hydra attenuata (Hydroida: Hydridae).* Revista de Biología Tropical. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442019000100011&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442019000100011&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- *Betancur, J.L., Carlos Mario Rivera, C.N., Echeverri, V., Trujillo, H.T., Taborda, C.G. 2010. Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la trucha arcoíris en el departamento de Antioquia. Aso acuícola y Min Agricultura. Bogotá. 220 p.*
- *Buschmann A, Fortt A. 2005. Efectos ambientales de la acuicultura intensiva y alternativas para un desarrollo sustentable. Ambiente y Desarrollo. 21:58-64.*
- *Calderón, C., & Bayona, M. (2017) Informe de Manejo Ambiental para el sector de la piscicultura en Colombia. Bogotá D.C.: FEDEACUA. Volumen I.*
- *Carvajal Quintero, J. D. (2014). Análisis sobre el estado del arte del conocimiento de los humedales en la cuenca del Magdalena y Bajo Cauca. Instituto de Investigación de Recurso Biológicos Alexander Von Humboldt.*

<http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9513/13-13-014-143PS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Chaux G, Caicedo JR, Fernández JE. (2013). *Tratamiento de efluentes piscícolas (tilapia roja) en lagunas con Azolla pinnata*. *Biotecnol Sector Agropecuario Agroind.* 11(2):46-56.
- Chura, R., & Mollocondo, H. (2009). *Desarrollo de la acuicultura en el lago Titicaca (Perú)*. *Aquatic*, 31.
- Conesa Fdez Vicente – Vítora, “*Guía Metodológica para la evaluación del impacto ambiental*”, Editorial Mundiprensa, 2009.
- Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. (2018, Enero). *El cultivo de trucha arcoíris en el contexto del cambio climático*. CONICET. <https://www.conicet.gov.ar/el-cultivo-de-trucha-arcoiris-en-el-contexto-del-cambio-climatico/>
- Cornel GE, Whoriskey FG. 1993. *The effects of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) cage culture on the water quality, zooplankton, benthos and sediments of Lac du Passage, Quebec*. *Aquaculture*. 109(2):101-117.
- Dourojeanni, A. *Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable*. CEPAL. División de Recursos Naturales e Infraestructura. Series Manuales, No. 10. Santiago de Chile, Chile. 2000.
- Dürr, *Visión de un mundo sustentable equitativo y apto para vivir*. En: *Cuba Verde*. En busca de un modelo para la sustentabilidad en el siglo XXI. Editorial José Martí. La Habana, Cuba. p. 29. 1999.
- ENLAZA, “*Informe de Sostenibilidad 2014*”, elaborado para FEDEACUA, publicado en febrero 2016.
- E.S.E SALUD AQUITANIA. (2013). *ANÁLISIS DE SITUACIÓN DE SALUD CON EL MODELO DE LOS DETERMINANTES SOCIALES DE SALUD*. Secretaría de Salud Aquitania. [https://www.boyaca.gov.co/secretariasalud/wp-content/uploads/sites/67/2014/05/images\\_Documentos\\_ASIS\\_2013\\_ASIS-AQUITANIA-2013.pdf](https://www.boyaca.gov.co/secretariasalud/wp-content/uploads/sites/67/2014/05/images_Documentos_ASIS_2013_ASIS-AQUITANIA-2013.pdf)
- [FAO] *Food and Agriculture Organization of the United Nation*. 1997. *Capítulo 3. Los fertilizantes, en cuanto contaminantes del agua*. FAO. <http://www.fao.org/docrep/w2598s/w2598s05.htm>.

- *FAO Pesca Visión general del sector acuícola nacional (NASO). (2005, 1 enero). FAO. [http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso\\_argentina/es](http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_argentina/es)*
- *FAO.2009. The state of world fisheries and aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Department. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. Pp. 196.*
- *FEDEACUA, Programa de Transformación Productiva - PTP, “Plan de negocios sectorial de la piscicultura colombiana”, febrero de 2015.*
- *FEDEACUA, “Protocolo de Manejo Ambiental para plantas de procesamiento de carne de pescado”, Primera Edición, diciembre 2014.*
- *Fundación Aquae. (2020, Octubre). Eutrofización: definición y consecuencias | Fundación Aquae. <https://www.fundacionaquae.org/eutrofizacion/>*
- *García A. (2011). Hidrografía de Colombia. Toda Colombia; <http://www.todacolombia.com/geografiacolombia/hidrografia-colombia.html>.*
- *Glosario: Eutrofización. (2006). GreenFacts. <https://www.greenfacts.org/es/glosario/def/eutrofizacion.htm>*
- *Gómez Villamarín, Y. (2006). “PROGRAMA PARA LA DISMINUCIÓN DE LA POBREZA Y SEGUIMIENTO AL AVANCE DE LAS METAS DEL MILENIO EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ. Secretaría de Planeación. <https://www.dapboyaca.gov.co/descargas/odm/sugamuxi/aquitania.pdf>*
- *Loria, L.; Martínez Espinosa, M. Una estrategia para el desarrollo de la acuicultura: el caso de América Latina. COPESCAL, Documento Ocasional. N6. Roma, FAO. 1990. 46p.*
- *Lotze HK, Schramm W, Schories D, Worm B. 1999. Control of macroalgal blooms at early developmental stages: *Pilayella littoralis* versus *Enteromorpha* spp. *Oecologia* 119(1):46-54*
- *Lowe S, Browne M, Boudjelas S, De Poorter M. 2004. 100 de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo. Una selección del Global Invasive Species Database. Global Invasive Species Database. <https://goo.gl/HYg8jT>*
- *Luchini, L. (2005). Dirección de Acuicultura. ANTECEDENTES SOBRE LA CALIDAD SANITARIA, EN RELACION AL CULTIVO DE SALMONIDOS: LAGO NAHUEL HUAPI, EMBALSES DE ALICURA Y PIEDRA DEL AGUILA.*

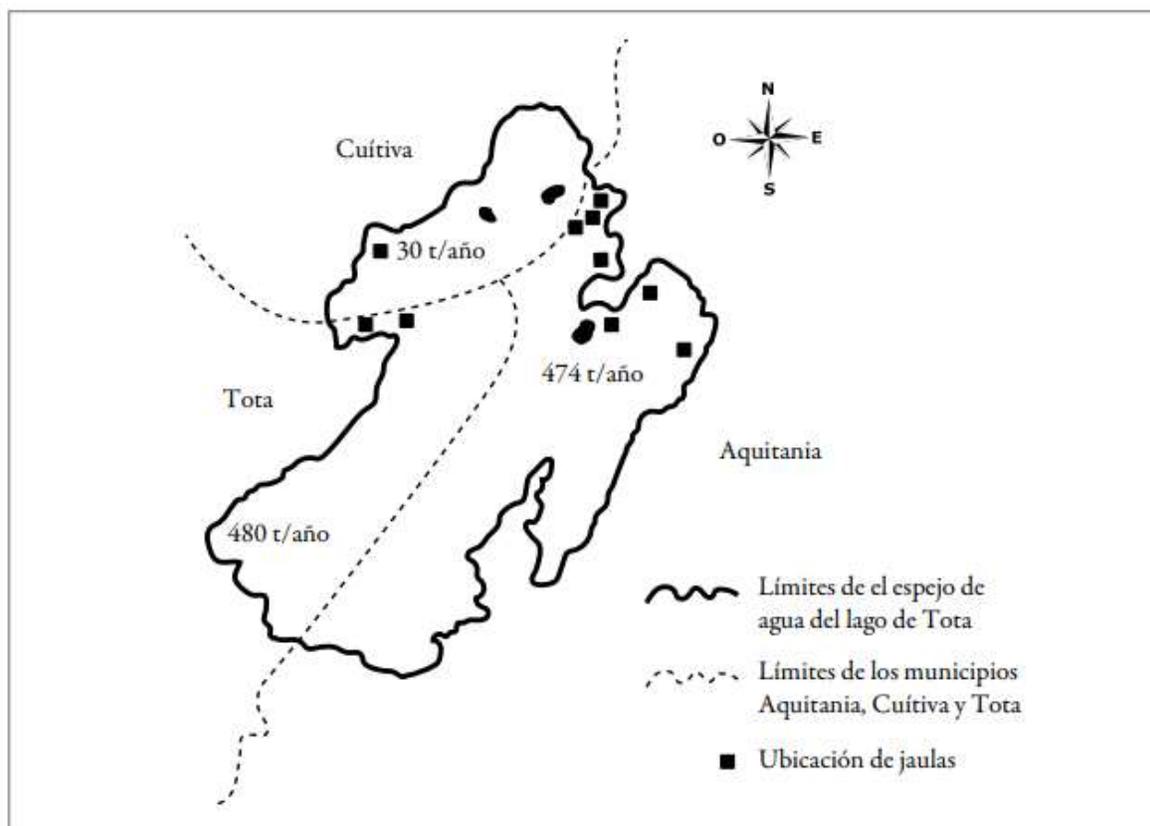
[https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/sanidad/\\_archivos//010010\\_Peces%20Salm%C3%B3nidos/000010\\_Antecedentes%20sobre%20la%20calidad%20sanitaria.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/sanidad/_archivos//010010_Peces%20Salm%C3%B3nidos/000010_Antecedentes%20sobre%20la%20calidad%20sanitaria.pdf)

- Merino MC, Bonilla SP, Bages F. 2013. Diagnóstico del estado de la acuicultura en Colombia. Aunap. <https://goo.gl/WrUARY>.
- Meynard, C. N., A. Lara, M. Pino, M. Soto, D, L. Nahuelhual, D. Nuñez, C. Echeverría, C. Jara, C. Oyarzún, M. Jiménez y F. Morey (2007). Integrando ciencia, economía y sociedad: servicios ecosistémicos en la ecoregión de los bosques lluviosos valdivianos. *Gaceta Ecológica* 84-85: 29-38.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, COLCIENCIAS, “Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la trucha arcoíris en el departamento de Antioquia”, Bogotá, D.C., 2010.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Documento CONPES 3801. Ministerio de Ambiente. <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/conpes/12-Conpes%20No.%203801-2014.pdf>
- Mojica, L. F., Romero, L. C., & Trujillo, S. M. (2011, marzo). CUENCA HIDROGRAFICA LAGO DE TOTA. SCIELO. <https://catalinaromero.blogia.com/2011/032602-cuenca-hidrografica-lago-de-tota.php>
- Molina Roa, J. (2018). Sobre la eficacia de las normas ambientales. Blog Departamento de Derecho del Medio Ambiente. <https://medioambiente.uexternado.edu.co/sobre-la-eficacia-de-las-normas-ambientales/>
- Molina, L. Impacto ambiental de un cultivo de jaulas en la Bahía de Melenara. *Informes técnicos del Instituto Canario de Ciencias Marinas*, n° 9, 2004.
- Moncaleano Niño, Á. M., & Calvachi Zambrano, B. A. (2009). Uso de la fauna silvestre del Lago de Tota. Peces, herpetos, aves y mamíferos. *Ambiente y Desarrollo*, XIII, 85. Recuperado el 14 de Enero de 2021, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4549333.pdf>
- Mooney, H. A. y P. R. Ehrlich, 1987. Ecosystem services: a fragmentary history. En: G. C. Daily (Ed.). *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D C. Pp.: 11-22.

- *MVOTMA-DINAMA. División Calidad Ambiental, Departamento de Evaluación Ambiental Integrada. (2016). Conceptos e indicadores ambientales. [https://www.dinama.gub.uy/indicadores\\_ambientales/ficha/oan-concentracion-de-fosforo-total/#:~:text=La%20concentraci%C3%B3n%20de%20f%C3%B3sforo%20total,particulada%20en%20los%20sistemas%20acu%C3%A1ticos](https://www.dinama.gub.uy/indicadores_ambientales/ficha/oan-concentracion-de-fosforo-total/#:~:text=La%20concentraci%C3%B3n%20de%20f%C3%B3sforo%20total,particulada%20en%20los%20sistemas%20acu%C3%A1ticos)*
- *Núñez, p., Somoza, G. 2010. Guía de Buenas Prácticas de Producción Acuícola para Trucha Arco-iris. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA).65 P.*
- *Pardo S, Suárez H, Soriano E. 2006. Tratamiento de efluentes: una vía para la acuicultura responsable. Rev. MVZ Córdoba. 11(1 Suppl):20-29.*
- *Pérez-Preciado A. 2014. Lago de Tota: un ejemplo de lo que no se debe hacer en materia ambiental. Bogotá, Colombia: Sociedad Geográfica de Colombia.*
- *Quétier, F., E. Tapella, G. Conti, D. Cáceres y S. Díaz. 2007. Servicios ecosistémicos y actores sociales. Aspectos conceptuales y metodológicos para un estudio interdisciplinario. Gaceta ecológica 84-85: 17-27.*
- *Quintero, L.G., Pardo, G.B., Quintero, A.M. 2011. Manual técnico para la producción de peces de consumo a pequeña escala en el departamento de Cundinamarca. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.100pg.*
- *Rabassó KM. 2006. Los impactos ambientales de la acuicultura, causas y efectos. Vector Plus Misc Cient Cultural. 28: 89-98*
- *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 16(1), 253-262. Hurtado, J. (2008). El proyecto de investigación. 6° Edición Caracas Venezuela.*
- *Ricaurte Ayala, P. (2005, diciembre). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca de Tota. CORPOBOYACÁ. <https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/diagnostico-problematika-ambiental-lago-tota.pdf>*
- *Rodríguez H. 1984. Análisis sobre los efectos causados con la introducción de especies exóticas al medio acuático de Colombia. Bogotá D. C., Colombia: Inderena, Subgerencia de pesca y fauna terrestre*

- *Sánchez, I., Revelo, D., Burbano, Á., García, R., Guerrero, C., Beltrán, D., & Benavides, L. (2016). Performance of different biofilters in a recirculating system for rainbow trout farming / Desempeño de diferentes biofiltros en un sistema de recirculación para cultivo de trucha arcoiris. MVZ Córdoba, 50-62.*
- *Soto D, Norambuena F. 2004. Evaluation of salmon farming effects on marine systems in the inner seas of southern Chile: a large-scale mensurative experiment. J Appl Ichthyol. 20(6):493-501.*
- *Souza, J. La dimensión institucional Del desarrollo sostenible: de las reglas de la vulnerabilidad a las reglas de sostenibilidad en el contexto de cambio de época. Editorial Quipus-CIESPAL. Quito, Ecuador. 105 p. 2001*
- *Souza, J; Cheaz, J. & Calderon, J. La Cuestión institucional: de la vulnerabilidad a la sostenibilidad institucional en el contexto Del cambio de época. Proyecto ISNAR "Nuevo Paradigma". San José, Costa Rica. 2005.*
- *Torres-Barrera NH, Grandas-Rincón IA. 2017. Estimación de los desperdicios generados por la producción de trucha arcoiris en el lago de Tota, Colombia. Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria. 18(2):247-255*
- *Troell M, Halling C, Nilsson A, Buschmann AH, Kautsky N, Kautsky L. 1997. Integrated marine cultivation of Gracilaria chilensis (Gracilariales, Rhodophyta) and salmon cages for reduced Enviromental impact and increased economic output. Aquaculture. 156(1-2):45-61.*
- *UNEP (2019). Enviromental Rule of Law: First Global Report. Nairobi*
- *Universidad de Pamplona. (2010). Indicadores de la Calidad del Agua. UNIPAMPLONA.  
[http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home\\_10/recursos/general/pag\\_contenido/libros/06082010/icatest\\_capitulo2.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo2.pdf)*
- *Valls, M. F. (2008). LA LESGILACIÓN DEL AGUA EN LOS PAÍSES DE AMERICA DEL SUR. FAO. <https://www.fao.org/3/ak456s/ak456s.pdf>*
- *Zárate, I., Sánchez, C., Palomino, H., Smith, C. (2018). Caracterización de la crianza de trucha arcoiris (Oncorhynchus mykiss) en la provincia de Chincheros, Apurímac, Perú. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1609-91172018000400025](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172018000400025)*

## 17. Anexos



Anexo 1. Ubicación y distribución de piscicultores en la laguna de Tota

Municipio	N.º de piscicultores	Volumen autorizado	t/año			Porcentaje de participación
			Alimento utilizado	Desperdicios que ingresan al sistema		
Tota	4	480	672	504	49%	
Aquitania	5	474	664	498	48%	
Cuítiva	1	30	42	32	3%	
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>984</b>	<b>1.378</b>	<b>1.033</b>	<b>100%</b>	

Anexo 2. Tasas de ingreso de alimento y de desechos al sistema

Año	Producción estimada	Alimento ingresado al sistema	Desperdicios que ingresan al sistema	Acumulado de desechos (t)
2005	205	286	215	215
2006	229	321	240	455
2007	256	359	269	724
2008	287	402	301	1.026
2009	321	450	338	1.363
2010	360	504	378	1.741
<b>2011</b>	<b>403</b>	<b>564</b>	<b>423</b>	<b>2.164</b>
2012	446	625	468	2.633
2013	494	691	518	3.151
2014	547	765	574	3.725
2015	605	847	635	4.360
2016	670	938	703	5.063
2017	741	1.038	778	5.842
2018	820	1.149	861	6.703
2019	908	1.271	954	7.657
2020	1.005	1.407	1.056	8.712

Anexo 3. Proyección de desechos producto de la producción de trucha en la laguna de Tota (2005-2020, año base 2011, tasa utilizada 10.69%)

Municipio	Número de propietarios autorizados	Producción autorizada (t/año)
Aquitania	5	474
Tota	4	480
Cuitiva	1	30
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>984</b>

Anexo 4. Tablas de producción anual autorizada por el municipio para los piscicultores ubicados en la laguna de Tota