



***FACTORES CAUSANTES DE DETERIORO DEL LAGO DE TOTA, ASOCIADOS  
CON ACTIVIDAD AGROINDUSTRIAL. UNA REVISION BIBLIOGRAFICA.***

**UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD  
PROGRAMA DE BACTERIOLOGÍA Y LABORATORIO CLÍNICO  
TRABAJO DE GRADO  
BOGOTÁ D.C 2019**



***FACTORES CAUSANTES DE DETERIORO DEL LAGO DE TOTA, ASOCIADOS  
CON ACTIVIDAD AGROINDUSTRIAL. UNA REVISION BIBLIOGRAFICA.***

**Monografía requisito para optar por el título de Bacteriólogo y  
Laboratorista Clínico**

**LUISA MARIA SANABRIA COMBARIZA**

**ASESOR:**

**EDGAR HERNÁN BELTRÁN CRUZ**

**UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD  
PROGRAMA DE BACTERIOLOGÍA Y LABORATORIO CLÍNICO  
TRABAJO DE GRADO  
BOGOTÁ D.C 2019**

## DEDICATORIA

*A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado paciencia,  
sabiduría y salud para lograr mis aspiraciones.*

*A mis abuelos Felipe y Carlina quienes hicieron parte de mi formación académica, por  
los valores inculcados, motivación y consejos brindados en el recorrido de mi vida.*

*A mi tía Gladys por el valor mostrado para salir adelante y por su amor incondicional.*

*A mis amigos y familiares presentes en esta etapa de mi vida que contribuyeron en la  
trayectoria de mi carrera.*

*A mis maestros quienes fueron el pilar principal del conocimiento y valores para lograr  
ser excelente profesional.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios por darme la oportunidad de vivir este proceso académico lleno de experiencias gratificantes en mi vida.*

*A mis amigos por sus consejos y ayudas, porque siempre me apoyaron en mis proyectos.*

*A la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca por formarme como una profesional íntegra y competente.*

*A mi asesor Edgar Beltrán por su constante apoyo, atenta lectura y por el tiempo dedicado a fortalecer mi conocimiento, para la obtención de este trabajo.*

*A la profesora Ligia Sánchez, Mónica Estupiñán y Alejandro Castaño por guiarme en este proceso, gracias.*

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>RESUMEN</b> .....	
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	
<b>OBJETIVOS</b> .....	
<b>1. ANTECEDENTES</b> .....	1
<b>2. MARCO TEORICO</b> .....	6
2.1 Localización del lago de Tota .....	6
2.2 Eventos importantes del lago de Tota .....	7
2.3 Generalidades del lago de Tota .....	8
2.3.1 Clasificación De Zonas Del Lago de Tota .....	8
2.4 Marco legal.....	10
2.5 Practicas involucradas en el deterioro del lago de Tota .....	11
2.6 Vertimientos que impactan en el lago de Tota .....	15
2.7 Efecto de hidrocarburos en el agua (Actividad Petrolera).....	17
2.8 Uso del lago de Tota, como principal suministro poblacional.....	21
2.9 Importancia Económica Según DANE .....	15
2.10 Reducción del nivel del lago de Tota.....	23
2.11 Fitoplancton del lago de Tota .....	23
2.12 Propiedades físicas, químicas y microbiológicas del lago de Tota.....	25
2.12.1 Propiedades físicas .....	26
2.12.2 Propiedades químicas .....	27
2.12.3 Propiedades microbiológicas del lago de Tota .....	25
<b>3. DISEÑO METODOLÓGICO</b> .....	31
3.1 Tipo de investigación .....	31
3.2 Población de estudio .....	31
3.3 Recopilación de la información .....	31

3.4 Fases de desarrollo del trabajo .....	33
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
<b>5 DISCUSIÓN .....</b>	<b>43</b>
<b>6 CONCLUSIONES .....</b>	<b>52</b>
<b>7 RECOMENDACIONES.....</b>	<b>53</b>
<b>8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>53</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> Ubicación del Lago de Tota, CORPOBOYACA .....	5
<b>FIGURA 2:</b> Clasificación de zonas, CORPOBOYACA .....	8
<b>FIGURA 3.</b> Ubicación, distribución de piscicultores y producción autorizada por el municipio ..	13
<b>FIGURA 4.</b> Antes, cerró la peña .....	14
<b>FIGURA 5.</b> Después, cerró la peña.....	14
<b>FIGURA 6.</b> Vertimientos de aguas residuales domésticas. ....	15
<b>FIGURA 7.</b> Departamento de Boyacá, Bloques petroleros tipo no convencional (Fracking).....	20
<b>FIGURA 8.</b> Sistema de captación El Túnel. ....	21
<b>FIGURA 9.</b> Fases de desarrollo. ....	33
<b>FIGURA 10.</b> Selección de documentos para desarrollo del trabajo.....	34
<b>FIGURA 11.</b> Principales temáticas del lago de Tota .....	35

## INDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b> Línea del tiempo.....	6
<b>TABLA 2.</b> Microcuencas del lago de Tota.....	9
<b>TABLA 3:</b> Normatividad.....	10
<b>TABLA 4:</b> Insumos agropecuarios de mayor impacto en el lago de Tota.....	12
<b>TABLA 5.</b> Indicadores del servicio de alcantarillado en la cuenca del Lago de Tota.....	16
<b>TABLA 6.</b> Estado de trámite de permisos de vertimientos en la cuenca del Lago de Tota .....	17
<b>TABLA 7.</b> PIB de explotación agrícola (DANE) .....	22
<b>TABLA 8.</b> PIB de explotación de minas (DANE) .....	22
<b>TABLA 9.</b> Cianotoxinas producidas por cianobacterias (OMS).....	24
<b>TABLA 10.</b> Concentraciones máximas de patógenos en diferentes tipos de aguas .....	31
<b>TABLA 11.</b> Material seleccionado.....	35



**UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD**  
**PROGRAMA DE BACTERIOLOGIA**

**FACTORES CAUSANTES DE DETERIORO DEL LAGO DE TOTA, ASOCIADOS  
CON ACTIVIDAD AGROINDUSTRIAL. UNA REVISION BIBLIOGRAFICA.**

**RESUMEN**

El lago de Tota ubicado en el departamento de Boyacá, es el tercer lago más grande de Latinoamérica, se ha destacado por ser el mayor impulsador de la economía del departamento, ya que de este dependen diferentes agroindustrias e industrias, como la agricultura, ganadería y la piscicultura. Además, es una importante fuente de abastecimiento de agua para consumo humano de aproximadamente 250000 habitantes. Actualmente este lago sufre un deterioro significativo causado por la incorporación de agroquímicos y desechos provenientes de las diferentes practicas agroindustriales. El objetivo de este estudio fue realizar una investigación documental sobre los factores causantes de deterioro del lago de Tota, las principales agroindustrias implicadas agricultura, piscicultura, ganadería, la explotación minera y petrolera; finalmente, los vertimientos que inciden de manera negativa dentro del lago. Se hizo una búsqueda en revistas científicas, libros y otras fuentes sobre los temas objeto de estudio, se organizó y analizó los factores que alteran las condiciones del lago de Tota. Se encontró que el deterioro evidentemente es causado por dichas actividades. También se explica el posible impacto a nivel ambiental (eutrofización),



social, económico y los cambios implicados en la calidad del agua, como las características físico-químicas y microbiológicas, la importancia del fitoplancton por presencia de *Microcystis*, de igual manera se compara la situación del lago de Tota, con lagos de problemática similar a nivel nacional e internacional.

**PALABRAS CLAVE:** Lago, Agroindustria, Tota, Eutrofización, Agricultura

## INTRODUCCION

En Colombia el lago de Tota representa el 13,55% del agua a nivel nacional y es una de las principales cuencas hidrográficas de la región, es el segundo lago navegable a mayor altitud de América del Sur y el más grande de Colombia. El lago de Tota en la actualidad presenta un deterioro significativo comparado con años anteriores, dicho deterioro está dado por diferentes practicas inadecuadas y excesivas que generan un impacto negativo sobre este. A continuación, se nombran las prácticas involucradas: la agricultura, la cual incorpora gran cantidad de agroquímicos por escorrentía según Hidrosfera en el año 2012 <sup>1</sup>. La piscicultura que para el año 2016 genero 5063 toneladas de desechos <sup>7</sup>. La ganadería de bovinos y ovinos, se realiza principalmente con fines comerciales, siendo la ganadería bovina un sistema predominante en las zonas de páramo. La ganadería reporta 16.800 cabezas de ganado en Aquitania, en Tota y Cuítiva 2.800 cabezas por cada municipio. Es importante resaltar que esta tiene doble uso, carne y leche con una producción más de consumo local que de excedentes comercializables para mercados regionales o nacionales, de tal manera que abastece generalmente necesidades familiares, pero también propicia excretas hacia el lago por escorrentía <sup>1</sup>. La minería presente a poca distancia del lago de Tota produce lixiviados azufrados y sólidos en suspensión, que inciden sobre las condiciones fisicoquímicas del agua y del suelo. Sin embargo, no se cuenta con información para establecer el grado de afectación según (CORPOBOYACA, 2005), todo lo anterior aumenta el

enriquecimiento excesivo de nutrientes <sup>1</sup>.

Por otro lado, la explotación petrolera con alta demanda en el departamento de Boyacá por la empresa Maurel & Prom compañía francesa y posibles explotaciones futuras por la empresa polaca 'Geofizyka Torún', impactan de manera negativa sobre el lago <sup>19</sup>. Debido a que los hidrocarburos contaminan y afectan en forma directa los cuerpos de agua superficiales, afecta los acuíferos causando daños irreversibles como muerte en seres acuáticos, algunos productos por su movilidad y reactividad química pueden transferirse al suelo afectando drásticamente su uso.

Otro aspecto relevante es el uso excesivo del recurso por industrias como: Acerías Paz del Rio, Industria militar (Indumil), Cementos Argos, la captación de agua para el abastecimiento de aproximadamente 8 municipios (Aquitania, Iza, Tota, Tibasosa, Nobsa, Firavitoba, Cuitiva y Sogamoso) ocasionan una disminución del nivel del lago, permitiendo que los agricultores no respeten la cota máxima para siembra, de esta manera cuando el lago toma de nuevo su nivel arrastra consigo cultivos, incrementando su deterioro<sup>1</sup>.

Adicionalmente, existen vertimientos asociados a actividades domésticas debido a que algunos municipios carecen de sistemas de alcantarillado, según PDA (Plan departamental de agua de Boyacá) en el 2013, Cuitiva y Tota no cuentan con plan de alcantarillado, aumentando así los vertimientos sobre el lago. La flora y fauna se ven afectadas por la expansión ilegal de cultivos agrícolas de cebolla (*Allium fistulosum*), papa (*Solanum tuberosum*), papa criolla (*Solanum phureja*), habas (*vicia faba*), arveja (*Pisum sativum*) y zanahoria (*Daucus carota*) <sup>1</sup>.

El departamento de Boyacá tiene una economía autosuficiente por las practicas agroindustriales e industriales que se practican en el departamento, las cuales dependen directamente del estado del lago de Tota como principal cuenca de abastecimiento, según DANE el Producto interno bruto PIB para el año 2017 en Boyacá, tuvo como resultado anual 2.306 miles de millones de pesos para la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca, teniendo una economía estable y autosuficiente <sup>23</sup>. Es importante mencionar que el lago de Tota permite el desarrollo económico del departamento, pero si persiste su deterioro impactara la economía.

El deterioro del lago de Tota tiene un impacto negativo a largo plazo, originando el fenómeno de eutrofización por exceso de nutrientes principalmente nitratos y fosfatos, este fenómeno causa pérdida del espejo de agua, exterminio de seres acuáticos, altera las propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua, interviene en la economía de las diferentes industrias mencionadas anteriormente como la agrícola, ocasionando un déficit de alimentos en el departamento, según Caracol para el año 2012 Boyacá produce anualmente 989 mil toneladas de papa, 164 mil toneladas de caña panelera, 148 mil toneladas de cebolla cabezona, 90 mil toneladas de tomate de invernadero y 89 mil toneladas de cebolla larga, siendo estos los productos que más se cosechan en el departamento. La suma total de todo lo que produce Boyacá llega a un millón 865 mil 452 toneladas de productos agrícolas<sup>14</sup>. Gracias a esta demanda Boyacá es uno de los más importantes productores agrícolas del país, pero se puede afectar directamente por la contaminación del lago. Sumado a esto, la eutrofización puede afectar la salud de la población que reside cerca al lago, ocasionando problemas de salud como metahemoglobinemia en humanos y animales<sup>13</sup>.

Este trabajo de revisión bibliográfica, pretende evidenciar los efectos negativos que tienen las actividades agroindustriales ya mencionadas sobre el lago de Tota y su impacto, considerando el eje ambiental, económico y la salud de la población circundante. Es importante conocer la problemática del lago de Tota para comprender la magnitud del problema.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Realizar un estudio documental a partir de la búsqueda de factores causantes de deterioro del lago de Tota en la actualidad y su impacto con el medio ambiente, la economía y la sociedad.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Realizar una revisión de fuentes bibliográficas sobre las prácticas agroindustriales (agricultura, ganadería, piscicultura), la actividad petrolera y minera, involucradas en el deterioro del lago de Tota y su efecto a largo plazo (eutrofización).
- Revisar el impacto a nivel económico del lago de Tota en el departamento de Boyacá.
- Establecer que las características físico-químicas y microbiológicas del lago de Tota, se pueden ver afectadas por su deterioro.

## 1. ANTECEDENTES

Acerca del deterioro del lago de Tota se encuentran los siguientes estudios e investigaciones:

Según la Revista colombiana de Química redalib.org (2005), en su artículo Determinación Espacio- Temporal De La Concentración De Fosforo En El Lago De Tota dice:

El fosforo es un nutriente esencial en todo ecosistema y ser vivo, pero su exceso podría originar un efecto negativo sobre el agua, ya que hay microorganismos como algas que requieren de este elemento para su crecimiento, por lo anterior hay que tener un equilibrio para no originar un daño al ecosistema, de allí la importancia de conocer su concentración en el medio, para determinar su grado de productividad biológica. Desde el punto de vista ecológico, el crecimiento de las algas y macrófitos acuáticos, tanto en los lagos como en las ciénagas, depende fundamentalmente de la cantidad de fósforo disponible. Es importante notar que concentraciones altas de fósforo, en forma de fosfatos en la fase soluble propician el proceso de eutrofización, lo cual lleva a la proliferación de organismos fitoplanctónicos, especialmente algunos géneros de los grupos de las cianofíceas y clorofíceas. Se sostiene que un lago eutrofizado es un cuerpo de agua muy enriquecido donde las plantas proliferan de manera excesiva. Este estudio nos confirma que en épocas de lluvia se incrementa la determinación de fosforo en el lago de Tota<sup>2</sup>.

Según Paeres Ana, ecóloga de Corpoboyaca, en el año 2005 evaluó la relación de altitud con el uso del suelo adyacente al lago de Tota, Este estudio indica que la problemática referida a la calidad del agua está estrechamente ligada con la altitud, pues la cebolla predomina en el rango 3.100 a 3.400, la papa a 3.300-3.400 y los pastos por encima de 3.500 msnm. Tal como se expresa en el capítulo VI, la cebolla es el cultivo que requiere mayor cantidad de agua a la vez que emplea grandes cantidades de gallinaza fresca y seca como abono; por demás, su representación es mayor en las zonas A y B que, adicionalmente, concentran la mayor cantidad de

población. Adicionalmente, las observaciones de campo indican que la tierra se trabaja todo el año (dos a tres cosechas al año) en tanto exista la cantidad de agua requerida por el cultivo (cada cuatro días durante 3 horas); vale notar que no se observó riego por goteo en ningún cultivo <sup>24</sup>.

En el año 2010, el director de Corpoboyacá, Miguel Rodríguez, explicó que en 1973 el Inderena dio una concesión de las aguas del lago de Tota, entre otros a la empresa Acerías Paz del Río."En la resolución no quedó claramente establecido el tiempo de vigencia de esa concesión, pero en los decretos 1381 y 1382 se establece que el tiempo máximo para dar una concesión era de 20 años. Quiere decir esto que en 1993 feneció esa concesión de aguas". Por tanto es necesario que Acerías Paz del Río, los municipios y los beneficiarios de las acequias retomen la parte legal y obtengan la concesión de aguas <sup>60</sup>.

La Universidad Nacional de Colombia en el año 2012, llevo a cabo un estudio llamado: Contribución de un afluente tributario a la eutrofización del Lago de Tota. Los resultados obtenidos en este estudio, principalmente en los niveles de nitratos encontrados, se puede concluir que la actividad agrícola desarrollada en la cuenca del lago de Tota, incide en el aporte de nutrientes hacia la corriente Las Cintas, que desemboca a su vez en el propio lago, representando un potencial riesgo de eutrofización. Las altas cantidades de fósforo hidrolizable encontradas el tercer día del muestreo evidencian la presencia de detergentes sintéticos en las muestras de agua colectadas en todos los puntos de muestreo, indicando contaminación no solo por las actividades agrícolas, sino también por vertidos de tipo doméstico <sup>3</sup>.

Según Andrea Mojica, Jairo A. Guerrero del Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas. Departamento de Química. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C., Colombia (2013) dice: En el Lago de Tota, la frecuencia de fumigación es cada ocho días en época de lluvia y cada quince días en época seca. Las principales enfermedades que atacan a los cultivos de cebolla son causadas por hongos, por lo que la mayoría de plaguicidas que se aplican son fungicidas. Esta información permite

identificar los plaguicidas que se emplean en mayor dosificación y aquellos que se emplean con más frecuencia en los cultivos de cebolla de la región. Se encontró la presencia de plaguicidas malatión, difenoconazol, tebuconazol y clorotalonilo en aguas superficiales de la cuenca del Lago de Tota, en la mayoría de las muestras analizadas las concentraciones se encontraron por debajo del límite de cuantificación. A pesar de las bajas concentraciones de los plaguicidas encontrados en aguas superficiales, el flujo permanente de la corriente hacia el lago puede arrastrar cantidades de plaguicidas que serían representativas en los sedimentos del lago. El transporte de difenoconazol y tebuconazol hacia aguas superficiales se podría explicar por el arrastre de partículas de suelo y por la erosión de los terrenos <sup>4</sup>.

Jairo Valderrama en el año 2013 en su tesis, cambios institucionales para preservar la cantidad y la calidad del agua del lago de Tota, de la universidad javeriana concluye que la causa más importante de esa reducción del recurso hídrico es la expansión de la frontera agrícola en los páramos donde nacen y discurren los afluentes del lago. Ganaderías y cultivos destruyen la vegetación paramuna reduciendo la capacidad del ecosistema para almacenar agua, recargar los acuíferos y alimentar los afluentes del lago de Tota. La contaminación del agua de la cuenca se ha incrementado por el drenaje hacia los cuerpos hídricos de un exceso de nutrientes provenientes de los fertilizantes y agroquímicos que se utilizan en el cultivo cebollero, del alimento y los excrementos de las truchiculturas y de vertimientos de aguas servidas, siendo la actividad de mayor impacto la del cultivo cebollero. <sup>63</sup>.

En el año 2015 la UPTC, en su estudio efecto de variabilidad climática de un ciclo anual sobre flujo de nutrientes (C, N Y P), fuentes y biocaptación en el lago de Tota, concluyo que el incremento en el nivel del lago es asociado a mayores caudales de entrada, trae consigo la incorporación de nutrientes al lago, especialmente formas de nitrógeno. En contraste se daría un efecto dilutivo en las formas de fósforo, lo que indica que la fuente principal de este recurso está en el interior del sistema (en circulación más aporte de truchifactorias). Se debe señalar que una fuente constante de nitrógeno y fósforo es el agua residual del municipio de Aquitania. También, se identificaron puntos

y momentos en Lago Chico y Lago Grande que llegaron a expresar condición eutrófica, especialmente por la alta concentración de fósforo <sup>43</sup>.

La facultad de ingeniería de la Universidad de Antioquia en el año 2017, realizó un estudio denominado: Evaluación comparativa de algunas características limnológicas de seis ambientes lenticos de Colombia. En este estudio se realiza una comparación de dos lagos de los Andes, el lago Tota y la laguna Fúquene, son considerados extensiones de agua acumuladas en el interior de los continentes, factor en el que difieren primordialmente de los lagos de inundación. Debido a su ubicación en pisos térmicos frío y páramo, las aguas de estos ambientes son frías y en ocasiones con niveles saturados de oxígeno, concentraciones elevadas en carbonatos, conductividad eléctrica, materia orgánica e hierro. Con respecto a las menores concentraciones de  $\text{NO}^{-3}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{-3}$  y  $\text{SiO}_2$  registradas en el lago Tota y la laguna Fúquene, se ha reportado que los lagos andinos libres de contaminación están relacionados con bajas concentraciones de formas inorgánicas de nitrógeno, mientras que valores superiores a  $3\mu\text{mol/l}$  de fósforo total pueden llegar a ser registrados, debido a la fracción inorgánica particulada procedente de rocas volcánicas y sedimentos aluviales de los Andes. Tanto el lago Tota como la laguna Fúquene se encuentran influenciados por aportes de cenizas volcánicas y debido a su ubicación en zonas de alta pendiente, también son influenciados por procesos erosivos y sustratos rocosos que aportan altas concentraciones de fósforo, lo que promueve el uso agrícola de estas zonas. Se podría decir que Tota y Fúquene presentaron tendencias a menores concentraciones de nitratos, amonio y sílice, menor temperatura y precipitación. En contraste, estos ambientes están influenciados por una mayor radiación incidente y transparencia en sus aguas, especialmente el lago Tota <sup>6</sup>.

En el año 2017, Corpoica realiza un estudio denominado: Estimación de los desperdicios generados por la producción de trucha arcoíris en el Lago de Tota-Colombia este dice: Los desechos originados por la piscicultura realizada en el lago, se muestran en toneladas/año de desechos, de nitrógeno y de fósforo aportados al lago de Tota, calculados del 2016 y proyectados a 2020. Se estima que han ingresado, por



la producción de trucha en jaulas en los últimos diez años, más de 5.000 t (toneladas) de desechos. Estos sedimentos incrementan la disminución de profundidad del lago y generan disminución del oxígeno disuelto, asimismo aumentan el fósforo total, la demanda química, bioquímica de oxígeno y los sólidos suspendidos totales. La intervención en el lago de Tota por el desarrollo de actividades económicas, en especial por la acuicultura, viene generando un conflicto entre la naturaleza y los usuarios. La contaminación del lago por desechos procedentes del proceso de cultivo intensivo de trucha arcoíris es inminente. Se necesitan estudios especializados, al detalle, de la columna de agua del lago y de las posibles sedimentaciones, con el fin de conocer la “capacidad de carga” que puede soportar el sistema <sup>7</sup>.

La universidad militar nueva granada en el año 2018, publico su estudio denominado, análisis multitemporal del espejo de agua del lago de Tota desde 1989 hasta 2001, tomando las actividades antrópicas, vertimientos de aguas residuales, agricultura piscícola, utilización de agroquímicos en cultivos y las 35 industrias que se abastecen del lago. Se observa una disminución de 2,65% del cuerpo lagunar atreves de los años y las zonas más bajas del lago de tota están ubicadas en el municipio de Aquitania, por ende la disminución del espejo de agua se ve afectada en estas zonas <sup>31</sup>.

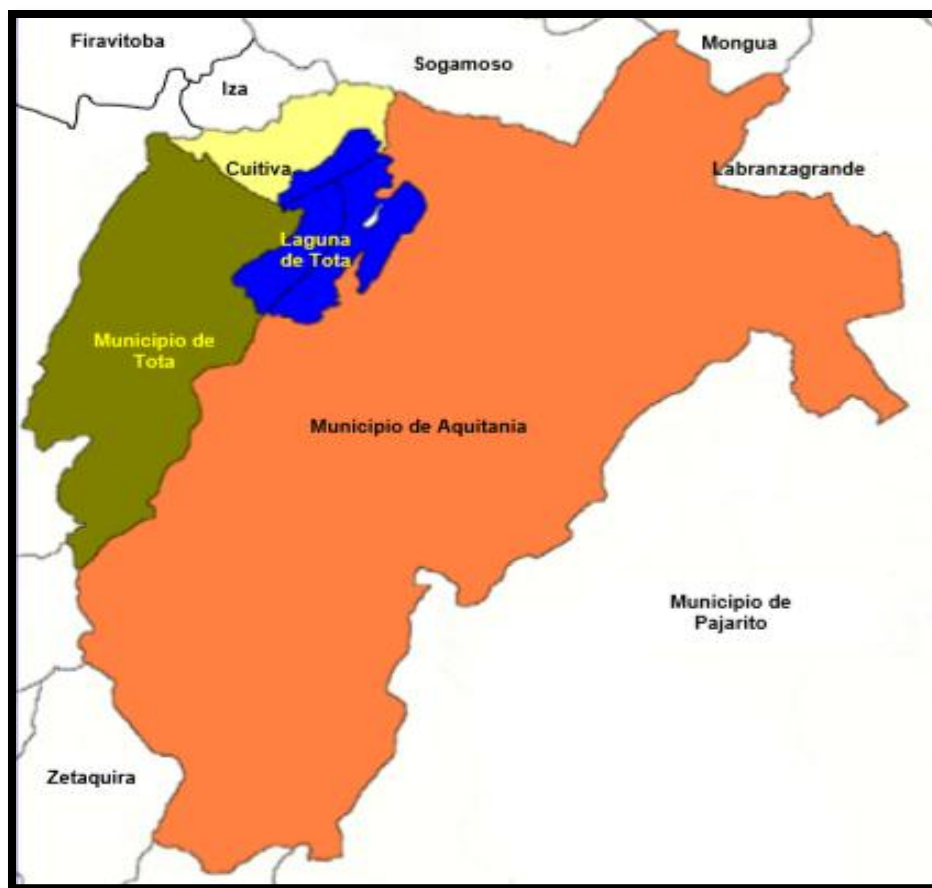
El 6 de agosto del 2018, la revista Aquatic Sciences acepta el artículo fuentes de nutrientes detrás de la reciente eutrofización del Lago de Tota, un lago de alta montaña Andina. Este estudio concluye: “A pesar de su importancia regional y nacional como una fuente de los recursos hídricos, el foco de las actividades económicas en la agricultura la cultura, la acuicultura y el turismo, casi no hay información disponible sobre el estado del Lago de Tota o su trayectoria a través del tiempo. Este estudio es el primero en mostrar alteración humana de los ciclos de nutrientes del lago y su cuenca, los datos plantean preocupación por el riesgo potencial de pérdida catastrófica de los recursos hídricos en esta región de montaña. Los estudios de los posibles mecanismos de retención de nutrientes y tratamiento de aguas residuales para controlar el escurrimiento de granjas y pueblos de la cuenca, son muy necesarios para asegurar que el Lago de Tota no sufre transición a un estado eutrófico degradado. Tal pérdida de

los recursos hídricos podría ser severamente económica y socialmente costoso en una región en desarrollo que es vulnerable al agua y la inseguridad alimentaria”<sup>67</sup>.

## **2. MARCO TEORICO**

### **2.1 Localización del lago de Tota**

Este lago se encuentra ubicado entre los municipios de Tota, Aquitania y Cuitiva como se ilustra en la figura 1, con una altura de 3.015 m.s.n.m, 13 Km de largo, 8 Km de ancho, un perímetro de 49 Km y una profundidad máxima de 61 m. con una cota máxima de inundación establecida en 3.015,65 m.s.n.m. El Lago cuenta con un complejo insular compuesto por 3 islas destacándose la isla San Pedro y se encuentra en medio de montañas que albergan los páramos de La Sarna, Ogontá o Toquilla, los Curíes, Hirva, Suse, y Las Alfombras entre otros. A este lago lo alimentan el rio Tobal y el rio Hato Laguna y allí nace el rio Upia con 290 afluentes<sup>8</sup>.



**FIGURA 1:** Ubicación del Lago de Tota, CORPOBOYACA (Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca), 2004 <sup>8</sup>.

## 2.2 Eventos importantes del lago de Tota

Es importante conocer la trazabilidad del lago a través del tiempo, por tanto, se realiza una línea de tiempo desde 1850 hasta 2018 con los aspectos más relevantes sobre el lago de Tota que han marcado en la historia de este recurso, ilustrado en la tabla 1.

**TABLA 1.** Línea del tiempo. Autora (2019)

AÑO	EVENTO IMPORTANTE
1850 Y 1859	Primera expedición científica a las aguas del Lago de Tota por coronel Agustino Codazzi.
1928	Primer túnel de desviación de aguas con destino a La Hacienda, La Compañía en Iza y Firavitoba.

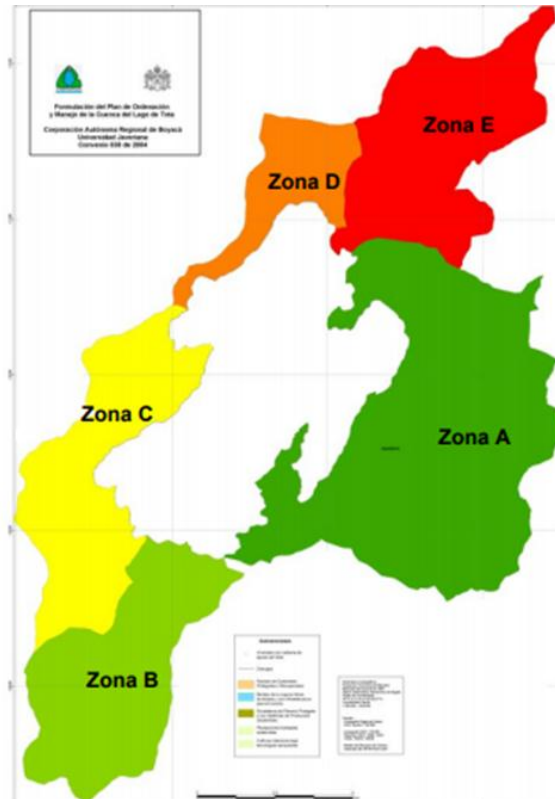
<b>1939</b>	Se introduce en el lago la trucha arcoíris.
<b>1950</b>	Construcción del Túnel por la Empresa Siderúrgica Acerías Paz del Río.
<b>1952</b>	Empresa Siderúrgica Paz del Río mediante decreto de gobierno recibe atribuciones especiales para el uso de aguas de este lago.
<b>1953</b>	Descenso de las aguas del lago, generado una ampliación de tierras cultivables.
<b>1957 y 1977</b>	Diálogos de cota normal de operación del lago fue de 3.015 msnm, alcanzando como nivel máximo los 3.015,65 msnm por efecto de crecientes.
<b>1960</b>	Acerías Paz del Río construyó obras para desviar aguas del río Olarte al lago y para contener la salida de caudales en el nacimiento del río Upía, buscando mantener un nivel que garantizara la extracción de agua que hacía en aquel entonces, cercana a los 1.500 l/s.
<b>1962</b>	Acerías Paz del Río abre las compuertas que llevan buena parte del caudal del río Olarte al lago, produciendo una elevación artificial de la cota hasta los 3.015,50 msnm y la inundación de extensas zonas agropecuarias ribeñas.
<b>1965</b>	La justicia falló a favor de los productores y éstos recibieron una indemnización equivalente al precio de las 4.000 toneladas de papa que dejaron de producir, cuyo valor se equiparó también al de 70 fanegadas de tierra de la época.
<b>1973</b>	INDERENA da concesión de aguas ha Acerías Paz del Río según decreto 1381 y 1382 los cuales estipulan la concesión a 20 años de uso de agua, con termino en 1993.
<b>1975</b>	Deja de funcionar INDERENA Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente toma el manejo la Corporación Autónoma de Regional de las Cuencas de los Ríos Bogotá, Ubaté y Suárez (CAR).
<b>1993</b>	Termina concesión de aguas por la Empresa Siderúrgica Paz del Río
<b>2004</b>	Presencia de inundaciones en áreas aledañas al lago.
<b>2005, 2006 y 2007</b>	Convenio entre Ministerio del Medio Ambiente, CORPOBOYACÁ y Alcaldía de Aquitania, se efectuaron reuniones mensuales para llegar a un acuerdo sobre la prohibición de cultivar en la zona de ronda de 30 metros después de la cota, señalada en el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente de 1974 y reglamentada mediante decreto de 1977

<b>2009</b>	Diagnóstico de la problemática en cada micro cuenca, se precisan los caudales autorizados y los que se deben autorizar en cada una de las concesiones existentes. Petrolera Maurel & Prom comenzó la exploración en una zona que abarca 250 kilómetros cuadrados y hoy tiene presencia en seis municipios: Pesca, Tota, Cuitiva, Iza, Firavitoba y Aquitania.
<b>2012</b>	Corpoboyaca, mediante Resolución N° 1786, declaró que la cota natural máxima del lago se encuentra a 3.015.65 msnm no afectando así predios.
<b>2018</b>	Lugar turístico más visitado en el departamento de Boyacá y nominado como el tercer destino verde más atractivo de las Américas, otorgada por el ITB de Berlín

## **2.3 Generalidades del lago de Tota**

### **2.3.1 Clasificación De Zonas Del Lago de Tota**

El lago de Tota se encuentra dividido en 5 zonas de manejo especial de acuerdo a sus características hidrológicas y climáticas, según lo establecido por HIDROESTUDIOS (Estudio de conservación y manejo del lago de Tota) <sup>8</sup>. En la figura 2 se muestra la división correspondiente.



**FIGURA 2:** Clasificación de zonas, CORPOBOYACA (Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca), 2004 <sup>8</sup>.

**ZONA A:** Contiene la mayoría de cultivos de cebolla larga de 40%, pastura 40% y papa 20% por lo tanto es un área con alta demanda de agua.

**ZONA B:** La sub-cuenca del Río Olarte es la más representativa de esta zona, ya que comprende casi el 80% del área total de la zona C. Hace más de 30 años se construyó un canal de desviación para cumplir con los requerimientos de niveles necesarios para el abastecimiento del acueducto de Sogamoso y para la industria Acerías Paz del Río. Actualmente el sistema se encuentra deteriorado y las compuertas son operadas manualmente.

**ZONA C y D:** Se encuentra ubicada la derivación del lago que surte los acueductos de municipios que no pertenecen a la cuenca y también a Acerías Paz de Río. En las 5 zonas se cultiva cebolla, habas, papa y arveja.

**ZONA E:** Está conformada por la cuenca del Río Hato laguna, la cual presenta una

problemática especial en lo que se refiere a escasez de agua en periodos secos.

Actualmente el lago de Tota, cuenta con 23 micro-cuencas mostradas a continuación en la tabla 2. Según IDEAM en el año 2014, en el informe de Batimetría. El lago de Tota cuenta con varias microcuencas (Las Cintas, Olarte y Los Pozos), los aportes promedios de caudal por cada una de ellas no superan 1 m<sup>3</sup>/s, son aportes significativos hacia el lago <sup>5</sup>.

**TABLA 2.** Microcuencas del lago de Tota, CORPOBOYACA (Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca), 2004 <sup>8</sup>.

<b>DISTRIBUCION DE MICROCUENCAS</b>	
<b>ID</b>	<b>CORRIENTE CUENCA</b>
1	R. Hato Laguna
2	Q. Los Corrales
3	Q. Los Pozos
4	R. Tobal
5	Q. La mugre
6	Q. Aguas Blancas
7	Q. Ajies
8	R. Olarte
9	Q. Hato Viejo
10	Q. Guayachal
11	Q. Arrayanes
12	Q. Donsiquiera

<b>ID</b>	<b>NOMBRE CUENCA</b>
13	Q. Casasia
14	Q. Guaquira
15	Q. Salitre
16	Q. Mojan
17	Q. Savia
18	Cañada Sarna
19	Q. Intermedia
20	Cañada Lemus
21	Q. El manzano
22	Q. San Antonio
23	Q. Zapatero

## 2.4 Marco Legal

A continuación, se identificó algunos decretos y leyes que se basan en el aprovechamiento y cuidado del recurso, la tabla 3 muestra las disposiciones legales promulgadas actualmente que aplican para este recurso.

**TABLA 3:** Normatividad. Autora (2019)

NORMATIVA	DISPOSICIÓN LEGAL
Constitución Política de Colombia	Capítulo 3, Artículo 79: El estado protegerá la diversidad e integridad del ambiente, conservará las áreas de especial importancia ecológica y fomentará la educación para el logro de estos fines. Artículo 80: El estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.
Ley 9 de 1979 “Código Sanitario Nacional”.	Artículo 58: Ordena el cumplimiento de la vigilancia sanitaria del agua para consumo humano con el objeto de prevenir o impedir la ocurrencia de un hecho o la existencia de una situación que atente contra la salud de la comunidad.
Ley 685 de 2001	Artículo 14: Código de Minas: Título minero. A partir de la vigencia de este Código, únicamente se podrá constituir, declarar y probar el derecho a explorar y explotar minas de propiedad estatal, mediante el contrato de concesión minera, debidamente otorgado e inscrito en el Registro Minero Nacional.
Decreto 2256 de 1991, ley de pesca.	Artículo 1: Con el fin de asegurar el manejo integral de la actividad pesquera y acuícola, así como el fomento de la explotación racional de los recursos pesqueros.
Ley 13 de 1990	Ley de Pesca. Estatuto general de pesca.
Ley 373/97	Artículo 1: Ahorro y uso eficiente del agua: Todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
Decreto 1729 del 2002	Artículo 4: Comisiones conjuntas cuencas hidrográficas, planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca.
Decreto 3930 de 2010	Se relacionan usos de agua, disposición de residuos líquidos en cuanto al ordenamiento, vertimientos al recurso hídrico, al suelo y alcantarillado.
Resolución 0631 de 2015	Establece parámetros y valores máximos de contaminantes permitidos en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y alcantarillado público, provenientes de los sectores agroindustria, ganadería, minería, hidrocarburos, entre otros.
Decreto 2858 de 1981	Aprovechamiento de aguas y proyectos de riego, permisos especiales por INDERENA. Artículo 1: El Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente (INDERENA), determinará los paisajes que merezcan protección
Decreto 1541/78, 1594/84, 2858/81 y 2105 de 1983	Reglamenta las normas relacionadas con el recurso agua en todos sus estados, y comprende los siguientes aspectos. Capítulo II Dominio De Los Cauces Y Riberas, Capítulo III Extensión de dominio privado de las aguas.
Decreto 1337 de 1978 y 1743/94	Educación Ambiental, componentes sobre ecología, preservación ambiental y recursos naturales renovables.
Decreto 1594 de 1984	Usos de agua y residuos líquidos, sustancias de interés sanitario, criterios de calidad para destinación del recurso, concesiones, vertimientos.



## 2.5 Practicas involucradas en el deterioro del lago de Tota

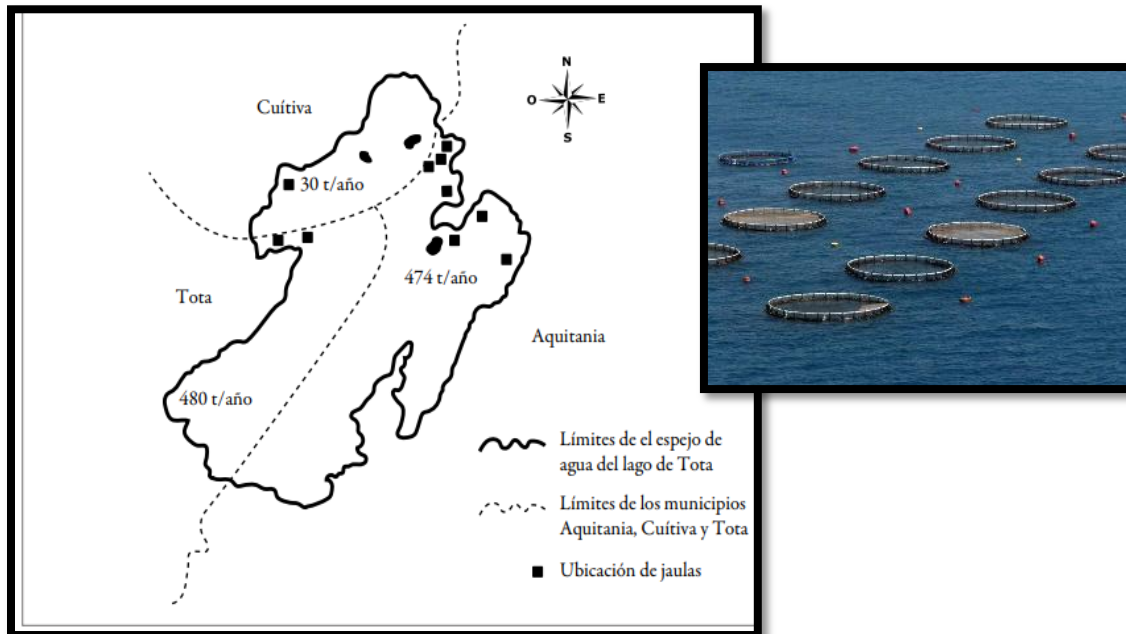
Los factores causantes de contaminación al lago de Tota en su mayoría son prácticas agroindustriales, dentro de las cuales se destacan: La agricultura, un amplio sector practicado en un 95% de área plana cultivable en el lago. En la zona de Aquitania se encuentran 5.239 predios, con una cosecha anual aproximada de 180.000 toneladas de cebolla larga del género (*Allium fistulosum*), papa (*Solanum tuberosum*), papa criolla (*Solanum phureja*), habas (*Vicia faba*), arveja (*Pisum sativum*) zanahoria (*Daucus carota*). En estos cultivos anualmente se empelan cerca de 430 toneladas de plaguicidas y 63.450 toneladas de gallinaza, sin control alguno sobre la dosificación y la frecuencia de aplicación. Esto representa un riesgo potencial de contaminación para las aguas del lago, afirma María José Martínez, profesora asociada del Departamento de Química de la U.N <sup>6</sup>.

Indiscutiblemente el uso de insumos como fungicidas, fertilizantes e insecticidas (agroquímicos) en la agricultura es alto. De acuerdo con los vendedores de los almacenes, los productos con mayor rotación son fungicidas ya que los cultivos se ven afectados principalmente por hongos. Los fungicidas destacados son: (Dithae, Antracol, Fitoraz, Forum, Score 250, Tebuluq), Insecticidas (Curater, Furadan). Fertilizantes (Produmag, crecer 500, kadostim), es importante resaltar que en la región se cuenta con almacenes de insumos agropecuarios los cuales venden fertilizantes y plaguicidas con formula o sin ella, lo cual dificulta su control <sup>8</sup>. En la tabla 4, se observa que la mayoría de agroquímicos usados a las riveras del lago de Tota, son compuestos derivados de carbamatos, organofosforados y excretas de animales, los cuales son de interés sanitario por ser un vertimiento no puntual proveniente de escorrentía de agroquímicos según decreto 1594 de 1984 <sup>9</sup>.

**TABLA 4:** Insumos agropecuarios de mayor impacto en el lago de Tota. Autora (2019).

<b>INSUMOS AGROPECUARIOS MAS UTILIZADOS POR CULTIVADORES</b>		
<b>FUNGICIDA</b>	<b>GRUPO QUIMICO</b>	<b>IMPACTO</b>
<b>Dithae ( Mancozeb)</b>	Etilenbisditiocarbamatos y Ditiocarbamato	ECOTOXICOLOGIA: Trucha arco iris (Salmo gairdneri), 48 Horas CL50: 1.9 mg/l.
<b>Antracol</b>	Ditiocarbamato	Ligeramente móvil en suelos. Toxicidad; CE50 (Raphidocelis subcapitata (alga verde de agua dulce)) 17,7 mg/l en 72 horas
<b>Fitoraz</b>	Ditiocarbamato	Toxicidad: Oncorhynchus mykiss(T. arcoiris) CL50: 0.4 mg/l en 96 h y Pulga acuática (Daphnia magna) CE50: 4.7 mg/l 48 h
<b>Forum</b>	Dimetomorf:	Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos. La valoración ha sido calculada a partir de las propiedades de sus componentes individuales. Peces 6,8 mg/l.
<b>Score 250</b>	Difenoconazol, azoles	Toxicidad: CL50 Oncorhynchus mykiss (Trucha) 3,2 mg/l en 96 h. CE50 Daphnia magna (Pulga de mar grande), 3,3 mg/l , 48 h.CE50b Desmodesmus subspicatus, 0,15 mg/l , 72 h. Presenta movilidad en suelo
<b>Tebuluq</b>	Tebuconazol	Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.
<b>INSECTICIDAS</b>	<b>GRUPO QUIMICO</b>	<b>IMPACTO</b>
<b>Curater</b>	Carbamatos	Es extremadamente tóxico para insectos (abejas y las especies benéficas), zooplancton, crustáceos, peces y aves.
<b>Furadan</b>	Carbofuram	Evite contaminar estanques, corrientes de agua o abrevaderos, ya sea por aplicación directa o por lavado de equipo. Este producto es tóxico a peces, crustáceos y animales
<b>Malatión</b>	Organofosforado Sintético	Actividad por contacto, ingestión e inhalación, es volátil contamina alimentos, suelos, ropa y diferentes superficies.
<b>FERTILIZANTES</b>	<b>PRINCIPIO ACTIVO</b>	<b>IMPACTO</b>
<b>Produmag</b>	Potasio, Magnesio y Azufre	Potasio Soluble en agua (K2O), CONCENTRACION DE 25%
<b>Crecer 500</b>	N, P y K	Alto contenido de Nitrógeno(N) y balance con Fósforo(P), Potasio(K)
<b>Kadostim</b>	Mezcla de compuestos	Nitrógeno orgánico y K2O soluble en agua.
<b>Gallinaza y Pollinaza</b>	Mezcla de excretas de gallinas o aves de engorde con alimento y plumas.	Rico en nitrógeno, fosforo, calcio y potasio. Soluble en agua.

La pesca y acuicultura son otro factor predominante en el lago, actualmente hay cerca de 222 jaulas instaladas, autorizadas por CORPOBOYACA de 21.302 m<sup>2</sup>. En la figura 3, se evidencia la ubicación de las jaulas y producción autorizada de trucha hasta el año 2016 por cada municipio <sup>7</sup>.



**FIGURA 3.** Ubicación, distribución de piscicultores y producción autorizada por el municipio, datos de Aunap (2016) <sup>7</sup>.

La acuicultura y piscicultura se caracterizan principalmente por la cría y comercialización de trucha arcoíris, la cual ha generado 984 t/año, se estima que para el 2020 se genere 1005 toneladas de trucha y 8712 toneladas de desechos, esta relación se origina porque por 1 kg de trucha se necesita 1,4 kg de alimento del cual 25% es carne y el 75% restante se vuelve nitrógeno, fósforo, carbono y pérdidas como (alimento no capturado), como fecas no digeridas y otros productos de excreción. Según proyección de desechos mostrada en este artículo para 2016 se generaron 5063

toneladas de desechos, de las cuales 196 toneladas son nitrógeno y 35 toneladas de fosforo vertido al lago. Estos desechos podrían ocasionar en el lago disminución de oxígeno disuelto, aumento de fosforo total, DQO y DBO y solidos suspendidos totales, afectando directamente el lago incentivando la eutrofización en el lago <sup>7</sup>.

De acuerdo con los datos aportados por la Agencia Nacional de Minería, en esta zona existe un total de seis (6) títulos mineros, los minerales que allí se explotan son: Carbón (4 títulos), Materiales de construcción (1 Título) y Roca fosfórica (1 Título) <sup>1</sup>.

La minería ilegal juega otro papel muy importante en la actualidad ya que la explotación minera incontrolable y sin vigilancia alguna ha dejado grandes consecuencias y huecos en algunas áreas como el cerro “la peña” muy cercano a la laguna. Al parecer el alcalde de Aquitania no ha tomado las medidas respectivas contra esto y como se ve en el video mostrado por noticias caracol ¿Prevención o explotación? <sup>14</sup>. La explotación minera seguirá evidenciándose y afectará de manera directa el lago.



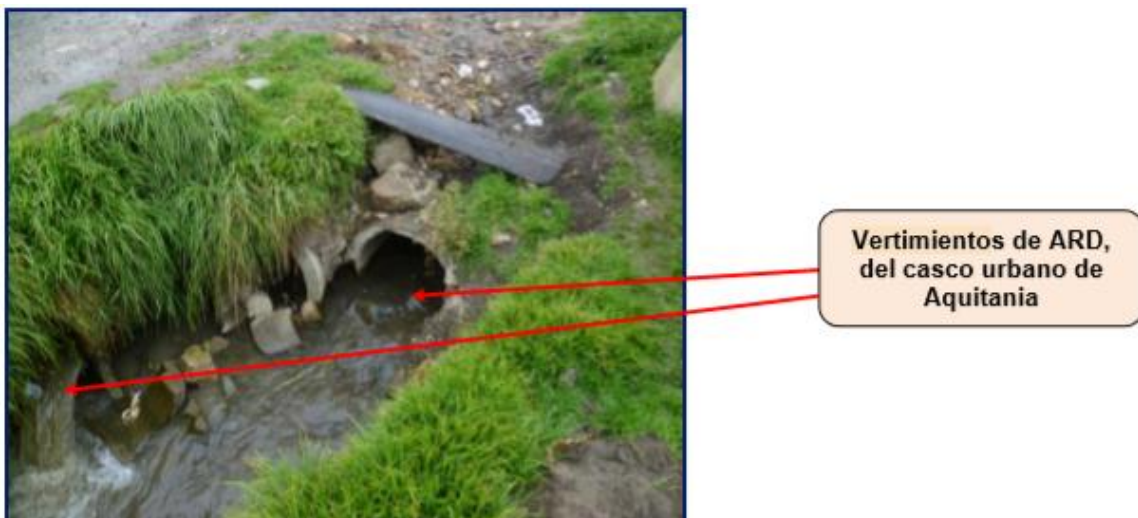
**FIGURA 4.** Antes, cerró la peña <sup>14</sup>.



**FIGURA 5.** Después, cerró la peña <sup>14</sup>.

## 2.6 Vertimientos Que Impactan El Lago De Tota

Los vertimientos son otros contaminantes fuertes que se generan hacia el lago, las descargas de agua residual domestica que provienen del casco urbano del municipio de Aquitania, las cuales deberían ser tratadas en la planta de tratamiento de aguas residuales, pero en la actualidad no funciona por recursos económicos. Estos vertimientos son productos de sacrificios de animales, hoteles y desechos domésticos, que llegan al lago por diferentes micro-cuencas presentes alrededor de este, las cuales son contaminadas por la población adyacente <sup>8</sup>. La figura 6 muestra un vertimiento del casco urbano de Aquitania.



**FIGURA 6.** Vertimientos de aguas residuales domésticas, SESALUD <sup>8</sup>.

Las aguas residuales contienen solidos disueltos, sólidos en suspensión, diversos gases de diferentes concentraciones como ácido sulfhídrico y el anhídrido carbónico. La temperatura oscila de 10 a 20°C, lo cual facilita el desarrollo de fauna bacteriana y una flora autóctona. El olor característico de este tipo de aguas es dado por la presencia de ácido sulfhídrico, indol, mercaptanos y otras sustancias volátiles <sup>15</sup>. Los vertimientos más importantes son Q. Los pozos, El Tobal, Q. La mugre, Hato laguna y El túnel a los que se le atribuyen la llegada de sustancias indeseadas hacia el lago <sup>8</sup>.

Por otro lado, el Lago de Tota se ve afectado por diferentes sustancias de origen antrópico, por la aplicación de agroquímicos y fertilizantes como carbamatos, organofosforados, Difenil policlorados, fosfatos, carbono orgánico, nitritos y nitratos. En cuanto a los vertimientos de agua residual doméstica y provenientes de hoteles pueden estar presentes sustancias como carbono orgánico total, nitratos, nitritos, sulfatos, fosfatos, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos, concentraciones de DBO, DQO y OD, nitrógeno amoniacal, carbono orgánico total, detergentes, grasas y aceites, calcio, sodio, fósforo, aluminio, magnesio, manganeso entre otros. Además de aportar metales pesados como Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Mercurio, Níquel, Plomo, Zinc y Bario <sup>14</sup>. Como se observa los vertimientos tienen un impacto importante sobre el lago.

El alcantarillado rural en Aquitania tiene una cobertura menor del 50% como se evidencia en la tabla 5, lo cual genera que aumenten los vertimientos no tratados hacia el lago. Algunos municipios como Aquitania, Cuitiva, Sogamoso y Tota no cuentan con el permiso de vertimientos como se observa en la tabla 6, lo que hace difícil determinar que residuos llegan al lago sin permiso por las diferentes quebradas <sup>1</sup>. Según estudio de la universidad UPTC y CORBOYACA del 2015, sobre flujo de nutrientes, la fuente constante de nitrógeno y fósforo hacia el lago es el agua residual del municipio de Aquitania <sup>16</sup>.

**TABLA 5.** Indicadores del servicio de alcantarillado en la cuenca del Lago de Tota, PDA 2013 <sup>1</sup>.

Municipio	Cobertura (%)		PTAR	PTAR	Plan Maestro de Alcantarillado
	Alcantarillado urbano	Alcantarillado rural		En operación	
Aquitania	72	34,82	Si	No	Si
Cuitiva	100	63,11	No		Si
Sogamoso	100	67,65	Si	Entra en operación el primer semestre de 2014	Si
Tota	80	62,74	No		Se inicia la formulación

**TABLA 6.** Estado de trámite de permisos de vertimientos en la cuenca del Lago de Tota, CORPOBOYACA 2013 <sup>1</sup>.

Municipio	No de expediente permiso de vertimiento	Empresa prestadora de alcantarillado	PSMV <sup>22</sup>	Permiso de Vertimiento	Fuente receptora
Aquitania	OOPV_0085/04	Alcaldía Municipal	Sí	No	Quebrada la Mugre
Cúitiva	OOPV-0014/04	Empresa de Servicios Públicos del Municipio de Cúitiva S.A. ESP – EMCUITIVA S.A. E.S.P	Sí	No	Quebrada San Cayetano
Sogamoso	OOPV-0020/04	COSERVICIOS S.A. ESP	Sí	En tramite	Río Chicamocha
Tota	OOPV-0052/04	Personería municipal Tota	Sí	No	Quebrada Guima

En el decreto 1594 de 1984 en el capítulo VI VERTIMIENTO DE RESIDUOS LIQUIDOS, en su Artículo 63: “Se permite la infiltración de residuos líquidos siempre y cuando no se afecte la calidad del agua del acuífero en condiciones tales que impida los usos actuales o potenciales” y en el artículo 72, LAS NORMAS DE VERTIMIENTO <sup>9</sup>. El lago de Tota no cumple este artículo si sufre eutrofización.

## 2.7 Efecto De Hidrocarburos En El Agua (Actividad Petrolera)

El petróleo es una mezcla compleja de hidrocarburos líquidos, compuesto en mayor medida de carbono e hidrogeno, con pequeñas cantidades de oxígeno, nitrógeno y azufre. Formado por la descomposición, transformación de restos de animales y plantas enterrados durante varios siglos. En su mayoría son parafinas, naftenos y aromáticos. El crudo es insoluble, lo que lo hace difícil de manejar y limpiar en cualquier superficie. Cuando tiene contacto con fuentes de agua ocasiona la muerte de animales como: aves, peces y todo ser vivo acuático, alterando así el equilibrio del

ecosistema. En las zonas afectadas se vuelve imposible la pesca, la navegación y el aprovechamiento del recurso. Los hidrocarburos contaminan el agua, produciendo un cambio en las características organolépticas del agua y su ingestión crea un riesgo para la salud <sup>17</sup>.

Los hidrocarburos tienen gran impacto ambiental, impiden el intercambio gaseoso con la atmosfera debido a su densidad, tienden a estar en la superficie acuática bloqueando la penetración de la luz, iniciando una serie de procesos físico-químicos simultáneos, como evaporación y penetración, que dependiendo del tipo de hidrocarburo, temperatura, humedad, textura del suelo y cantidad vertida pueden ser procesos más o menos lentos, lo que ocasiona una mayor toxicidad, generando de esta manera graves consecuencias ambientales en la flora y fauna. Dichas sustancias tienden a acumularse y a formar una capa hidrofóbica, induciendo la fragmentación de los agregados, causando reducción, inhibición de la cobertura vegetal y la modificación de poblaciones microbianas del ambiente edáfico <sup>18</sup>.

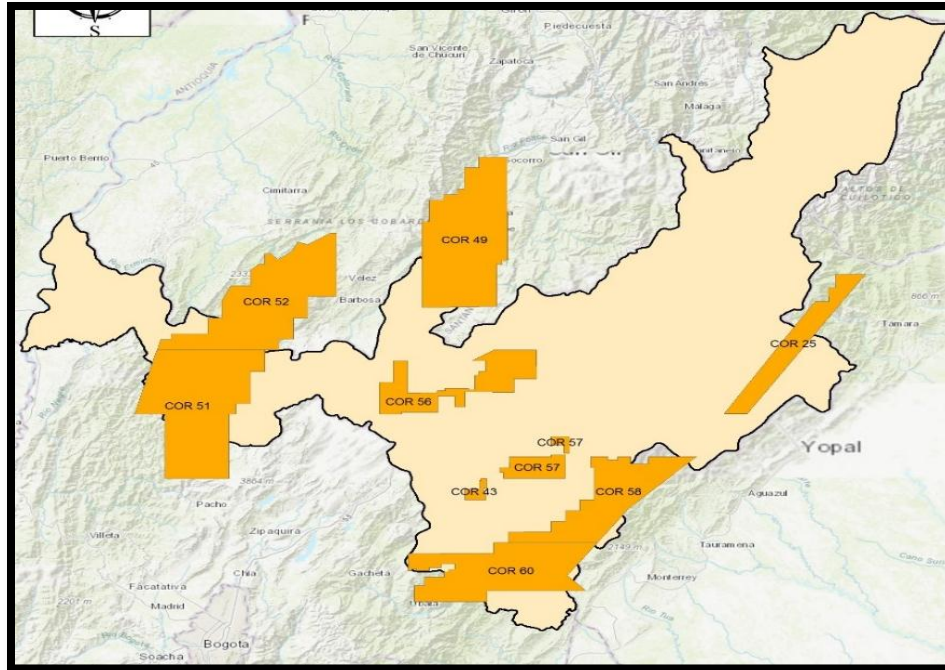
El 6 de noviembre del 2016, se realizó la segunda Audiencia Pública Ambiental en el municipio de Pesca Boyacá, con el fin de exigir la revocatoria de la licencia ambiental otorgada por la ANLA (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales) a la multinacional francesa Maurel & Prom para extraer petróleo en 8.033 hectáreas aledañas al Lago de Tota. Más de 2.000 campesinos llegaron a participar de la Audiencia, en la que también participaron organizaciones sociales, ambientales, la Gobernación de Boyacá, la Personería, la Defensoría del Pueblo y un representante de la multinacional para llegar a un mutuo acuerdo debido a que se estiman que 210 cuerpos de agua cerca al lago de Tota, desaparecieron por actividad petrolera. Patricia Corredor, revela que la empresa ha incumplido tres condiciones estipuladas por la ANLA en la licencia ambiental otorgada en el año 2009, las cuales dicen: No se permite la explotación en pendientes superiores a 45°, no se permite explotación en zonas de páramo y no se permite actividad en zonas de recargas de acuíferos, “al incumplirlas el ANLA está obligada a revocar la licencia” comenta Corredor <sup>19</sup>.



Según el experto Alfonso Avellaneda, los efectos de la actividad petrolera en sus diferentes etapas ocasiona contaminación y cambios en el uso del suelo, remoción de materiales para la construcción de vías e instalaciones y pozos, contaminación de aguas superficiales y subterráneos, modificaciones bióticas sobre hábitats naturales, modificación de patrones socio-culturales <sup>20</sup>.

La empresa Maurel and Prom propone realizar explotaciones petroleras en el área limítrofe entre Boyacá y Casanare. Esta propuesta de la multinacional gira en torno a usar el agua del lago de Tota para hacer el fracking (fracturamiento hidráulico, es una técnica para la extracción de hidrocarburos), lo cual generaría grandes problemas ambientales sobre este ecosistema, como la posible contaminación del recurso y la reducción del nivel de este, pérdida del espejo de agua y muerte de seres vivos. Si se derrama crudo por accidente ocasionaría un déficit de abastecimiento de agua sobre la población que requiere del recurso hídrico <sup>20</sup>.

A la empresa polaca 'Geofizyka Torún' el 29 de julio del 2018, la Agencia Nacional de Hidrocarburos le adjudicó "el programa sísmico cordillera 2D /2017 en Boyacá". Llegó a Boyacá con equipos de sísmica para este proyecto, que abarca 13 municipios del occidente de Boyacá y uno de Cundinamarca, pretende estudiar la geología del lugar para determinar si tiene potencial de hidrocarburos <sup>21</sup>. El resultado de estos estudios de sísmica podría ser yacimientos no convencionales (fracking) los cuales pueden contaminar el lago, en el mapa de la figura 7 se observan los yacimientos no convencionales hasta el año 2017 según el GEAM, se evidencia que en el departamento de Boyacá se pueden realizar varios yacimientos no convencionales (fracking), lo que indica que cada vez está más cerca el uso del recurso para explotaciones de este tipo y la posible contaminación del lago.



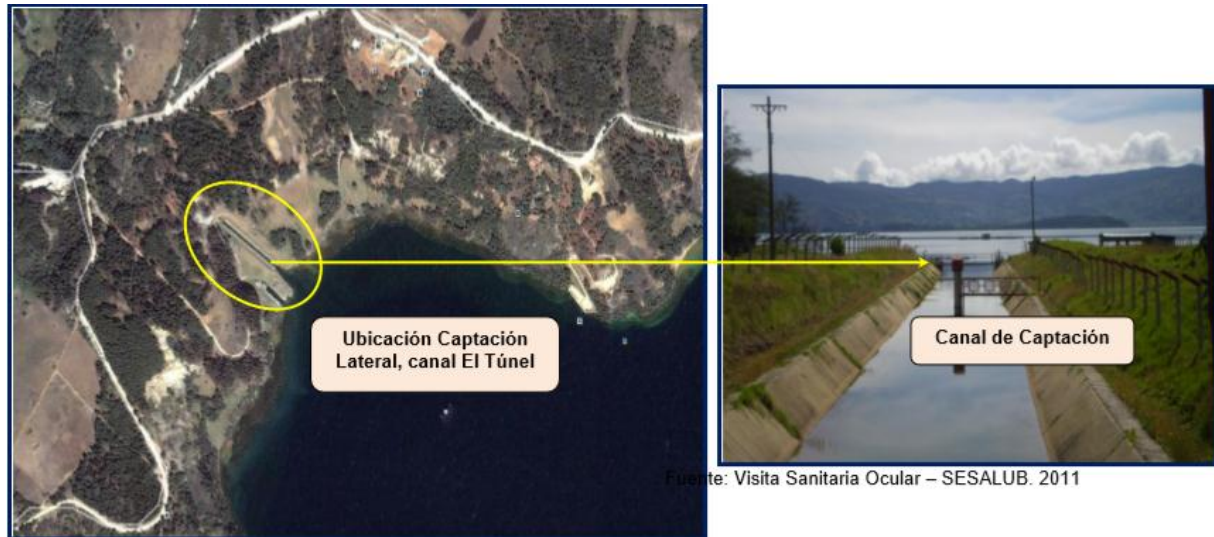
**FIGURA 7.** Departamento de Boyacá, Bloques petroleros tipo no convencional (Fracking). Tomado de GEAM <sup>20</sup>.

La petrolera francesa Maurel & Prom ha anunciado que continuará en Boyacá con un nuevo programa de exploración, esta vez en la Provincia de Valderrama. Por las altas cualidades minero energéticas con las que cuenta Boyacá, la petrolera francesa Maurel & Prom ha optado por permanecer y ejercer sus actividades en este departamento. Desde hace unos años viene realizando exploración en la región cercana del Lago de Tota y próximamente dará inicio a un nuevo proyecto. Este proyecto se realizaría en área de los municipios de Busbanzá, Betéitiva, Corrales y Tasco. Consiste en la perforación de dos pozos, para lo cual se haría una inversión cercana a los 14 millones de dólares, y podría extenderse la explotación hasta 2020 <sup>21</sup>.

## **2.8 Uso Del Lago De Tota, Como Principal Suministro Poblacional**

En la figura 8 se ilustra la captación del Túnel construida por la empresa Acerías Paz del Rio, la cual abastece las cabeceras municipales de Sogamoso, Aquitania, Iza, Belencito, Firavitoba, Tota, Cuitiva, Nobsa, la empresa Acerías Paz del Rio y cuenta con los siguientes acueductos <sup>8</sup>.

- Acueducto urbano del municipio de Cuitiva y 5 acueductos Veredales que son: Arbolocos, Macías, La Vega, Llano de Alarcón y Lagunita <sup>8</sup>.
- Acueducto urbano del municipio de Firavitoba <sup>8</sup>.



**FIGURA 8.** Sistema de captación El Túnel ubicado en el municipio de Cuitiva sobre el lago de Tota <sup>8</sup>.

El Lago de Tota es una importante reserva de agua con 13,55% 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 aproximadamente 250.000 habitantes el 20% del total de la población del departamento de Boyacá <sup>22</sup>.

El municipio de Sogamoso, se abastece de dos fuentes de aguas principalmente, el Lago de Tota y el río el Tejar. La captación del Lago de Tota es conducida por gravedad en tubería de 14 a 16 pulgadas, almacenada en tanques de concreto, localizados en la vereda La Villita Malpaso donde además es sometida a tratamiento en la planta Chacón e inyectada a la red de distribución del municipio. Este recurso hídrico de alta demanda en el departamento de Boyacá, tiene gran importancia y la pérdida de este lago podría ocasionar un impacto muy grande sobre la población <sup>8</sup>.

## 2.9 Importancia Económica Según DANE. Actividades (Agricultura, Ganadería, Caza, Silvicultura, Pesca Y Minería) En Boyacá.

El Producto interno bruto PIB según el DANE del 2017 para Boyacá, tuvo 2.306 miles de millones de pesos para la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca. Como se observa en la tabla 8.

**TABLA 7.** PIB de explotación agrícola (DANE) <sup>23</sup>.

<b>CODIGO</b>	<b>CONCEPTO</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>DEPARTAMENTO</b>	<b>AGRICULTURA.GANADERIA.CAZA.SILVICULTURA Y PESCA</b>	<b>48.124</b>	<b>56.678</b>	<b>58.585</b>
<b>05</b>	Antioquia	7.790	8.968	8.928
<b>08</b>	Atlántico	246	305	348
<b>11</b>	Bogotá D.C.	-	-	-
<b>13</b>	Bolívar	854	1.098	1.199
<b>15</b>	<b>Boyacá</b>	<b>2.067</b>	<b>2.208</b>	<b>2.306</b>
<b>17</b>	Caldas	1.549	1.729	1.743

A través de los años estas industrias impactan positivamente en la economía y con el deterioro del lago de Tota se verán afectadas directamente las diferentes prácticas allí realizadas. También se logra observar en la tabla 9, el desarrollo de la explotación de minas y canteras en los tres últimos años ha disminuido considerablemente, lo anterior nos ratifica que se han tomado las medidas legales respectivas y que se está contribuyendo cada vez más con el medio ambiente.

**TABLA 9.** PIB de explotación de minas (DANE) <sup>23</sup>.

<b>CODIGO</b>	<b>CONCEPTO</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>DEPARTAMENTO</b>	<b>EXPLORACION DE MINAS Y CANTERAS</b>	<b>47.627</b>	<b>40.981</b>	<b>45.161</b>
<b>05</b>	Antioquia	2.479	2.842	2.595
<b>08</b>	Atlántico	137	147	129
<b>11</b>	Bogotá D.C.	331	360	327
<b>13</b>	Bolívar	665	686	732
<b>15</b>	<b>Boyacá</b>	<b>2.012</b>	<b>1.620</b>	<b>1.688</b>
<b>17</b>	Caldas	129	223	243

## 2.10 Reducción Del Nivel Del Lago De Tota

En época de verano, los niveles del lago de Tota descienden en promedio 0,56 m aunque se han presentado años con descensos de 0,93 m y 1,5 m. Así mismo, en la época de invierno el lago ha ascendido en promedio 0,55 m. Sin embargo, se han presentado incrementos del nivel hasta de 1,46 m. (CORPOBOYACA - UPTC, 2007)<sup>1</sup>. El comportamiento general en el lago muestra una disminución permanente de sus niveles de agua, el ajuste menos conservador apunta a una tasa aproximada de 1cm cada 2 años y el más favorable a 1cm cada 3 años. De acuerdo con esta tendencia, desde 1954 el nivel del lago ha disminuido entre 18 y 27 cm, lo que puede traducirse en una disminución en la disponibilidad de agua que varía entre 10,8 y 16,2 Mm<sup>3</sup> que en términos de caudal serían aproximadamente de 80 a 120 l/s <sup>1</sup>.

## 2.11 Fitoplancton Del Lago De Tota

En la laguna de Tota se registraron un total de 45 morfotipos de algas, distribuidas en 32 géneros y nueve grupos pertenecientes a *Bacillariophyceae* (diatomeas), *Chlorophyceae* (algas verdes), *Cryptophyceae*, *Crysophyceae* (algas doradas), *Cyanophyceae* (algas verde-azules), *Dinophyceae* (flagelados), *Euglenophyceae* (euglenas), *Xanthophyceae* (algas verde-amarillas) y *Zygothryxaceae* (desmideas). El grupo que presentó una mayor riqueza en cuanto a géneros fue *Bacillariophyceae* con un total de nueve, seguido por *Chlorophyceae* con siete. Esta cifra resulta similar a la encontrada por Donato-Rondón en el 2001, con 42 especies<sup>24</sup>.

Las cianobacterias o algas verde-azules colonizan numerosos ecosistemas terrestres y acuáticos. Sin embargo, en ambientes acuáticos es donde especialmente se agregan, dando lugar a formaciones típicas conocidas como floraciones. Estas floraciones normalmente se dan en cuerpos de agua que presenten altos grados de turbidez, temperaturas altas y poco movimiento del agua. Es necesario que el agua contenga altas concentraciones de nitrógeno o fósforo; es decir un lago o cuerpo de agua eutrofizado. Los florecimientos dependen del género de alga, algunas algas son

superficiales y otras no, como el género *Microcystis* las cuales no son tan notorias debido a que cuando se forman asociaciones muy densas de colonias, éstas llegan a pesar tanto que se hundan al fondo del lago <sup>25</sup>.

Las algas son capaces de secretar una serie de toxinas las cuales pueden afectar la salud de los animales y personas que consuman o tengan contacto con estas. Algunos síntomas que puede presentar un individuo que tuvo contacto físico con algún florecimiento, son irritamientos cutáneos, quemaduras e inflamación de la boca, vómitos, náuseas, dolores de cabeza, diarrea, problemas con los riñones y disfunción general tanto en humanos como animales. Los géneros más frecuentemente implicados en floraciones son *Microcystis*, *Anabaena* y *Aphanizomenon*. Los mecanismos fisiológicos de la intoxicación son variados, con venenos tanto citotóxicos (atacantes de las células), como hepatotóxicos (atacantes del hígado) o neurotóxicos (atacantes del sistema nervioso) <sup>25</sup>.

Según la OMS en su guía calidad de agua, se encuentran las cianotoxinas más relevantes en aguas, dentro de las que se destaca *Microcystis spp*, especie encontrada en el lago de Tota de gran importancia por secretar microcistinas <sup>32</sup>. Se ilustra en la Tabla 9.

**TABLA 9.** Cianotoxinas producidas por cianobacterias (OMS) <sup>32</sup>.

<b>Especie tóxica</b>	<b>Cianotoxina</b>
Posiblemente, <i>Anabaena spp.</i>	Anatoxina-a(S), anatoxina-a, microcistinas, saxitoxinas
<i>Anabaenopsis millenii</i>	Microcistinas
<i>Aphanizomenon spp.</i>	Anatoxina-a, saxitoxinas, cilindrospermopsina
<i>Cylindrospermum spp.</i>	Cilindrospermopsina, saxitoxinas, anatoxina-a
<i>Lyngbya spp.</i>	Saxitoxinas, lyngbyatoxinas
<i>Microcystis spp.</i>	Microcistinas, anatoxina-a (cantidades pequeñas)
<i>Nodularia spp.</i>	Nodularinas

## **2.12 Importancia De Las Propiedades Físicas, Químicas Y Microbiológicas Del Lago De Tota**

En el decreto 1594 de 1984, en el capítulo III DESTINACIÓN GENÉRICA DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS, muestra los usos de un recurso hídrico para (Consumo humano y doméstico, agrícola, pecuario, recreativo, industrial y transporte) los cuales varían según su función. Sin embargo, en el capítulo IV, CRITERIOS DE CALIDAD PARA DESTINACION DEL RECURSO, permite evidenciar los parámetros y valores admisibles de un recurso hídrico, que requiera tratamiento convencional, desinfección o para diferentes usos (agrícola, pecuario y recreativo) <sup>9</sup>. A continuación los parámetros más afectados por la contaminación del lago de Tota.

### **2.12.1 PROPIEDADES FISICAS**

**Color:** Es influenciado directamente por materia orgánica en descomposición, humus, ligninas, taninos, clorofila, ácidos orgánicos, algas cianofíceas y desechos industriales<sup>34</sup>. Según Echarri L, en su libro dice: “Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores pero, en general, no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación” <sup>34</sup>. El lago de Tota puede verse influenciado por diferentes fuentes de contaminación y su color puede variar.

**Turbidez:** Esta dada por las partículas en suspensión como arena, lodos, arcilla, materia orgánica e inorgánica, protozoos, plaguicidas, metales pesados y otros materiales <sup>35</sup>. Los factores que alteran este parámetro en el lago de Tota son la minería como se observó en el caso del Cerro La Peña, la escorrentía de plaguicidas, crecimiento excesivo de algas, fitoplancton y la explotación petrolera, la cual podría arrojar hidrocarburos insolubles suspendidos en la superficie.

La turbidez afecta la fotosíntesis, respiración y reproducción de la vida acuática. Las partículas suspendidas absorben el calor de la luz solar, permite que el agua se caliente, disminuye la actividad fotosintética y reduce la concentración de oxígeno en el agua <sup>36</sup>.

Un efecto claro a largo plazo de la turbidez en el lago de Tota, es la sedimentación de partículas en el fondo del agua, lo que disminuye la retención del Lago. La parte estética, disminuye el turismo y recreación en sitios como Playa Blanca, un lugar altamente visitado. Además, genera costos más altos para las plantas de tratamiento debido a que se deben hacer más procesos sobre estas, una turbiedad mayor de 10UNT hace crítica la remoción de partículas <sup>36</sup>.

### 2.12.2 PROPIEDADES QUÍMICAS

**pH:** Normalmente el pH óptimo para la mayoría de microorganismos es de 6,5 a 9. Las fuentes de agua dulce tienen un pH que no debe ser inferior a 5,0 ni superior a 9,5 ya que la vida vegetal y los animales no soportan otro pH. En aguas naturales superficiales un pH menor a 4 indica que la contaminación es de origen industrial y si es mayor a 9 la contaminación es por compuestos orgánicos <sup>28</sup>. Los posibles focos de contaminación del lago de Tota son los vertimientos y desechos de la agricultura, el mayor impacto del cambio de pH es el posible exterminio acuático.

**Alcalinidad:** Es la capacidad que tiene el agua de neutralizar ácidos, internacionalmente es aceptada una alcalinidad mínima de 20 mg de CaCO<sub>3</sub>/L para mantener la vida acuática, cuando se tiene alcalinidades inferiores se vuelve muy sensible a la contaminación, ya que el agua no posee la capacidad de oponerse a las modificaciones que generan disminuciones de pH (Acidificación), puede también considerarse un indicativo de productividad de cuerpos de agua <sup>37</sup>. El lago de Tota puede perder su productividad a causa de una acidificación.

**Oxígeno disuelto OD:** Este Indicador de calidad de aguas, brinda información acerca de la flora y fauna del sistema. Las plantas y todo ser vivo requieren de oxígeno para vivir, cuando mueren los seres vivos o las plantas acuáticas, las bacterias que las descomponen usan el oxígeno del agua originando mayor muerte de seres vivos como peces, debido a que disminuyen los niveles de oxígeno en el medio. Los niveles de



oxígeno también pueden ser reducidos a través de la sobre fertilización de las plantas, por la fuga desde los campos de fertilizantes con alto contenido de nitratos y fosfatos, lo que aumenta el exceso de vegetación y por ende incrementa la descomposición. Bajo estas condiciones, el número y el tamaño de las plantas acuáticas aumentan en gran cantidad. Entonces, si el agua llega a estar turbia por algunos días, la respiración de la plantas empleara mucho oxígeno disuelto disponible. Cuando las plantas mueren, ellas llegarán a ser comida para bacterias, las cuales tendrán alta multiplicación y usaran grandes cantidades de oxígeno. En este caso el crecimiento excesivo de algas y macrófitos aumentan este parámetro <sup>38</sup>.

La cantidad de oxígeno disuelto en el agua que necesita un organismo vivo depende de la especie de éste, su estado físico, la temperatura del agua, los contaminantes presentes, y más. Consecuentemente, es imposible saber con precisión el nivel mínimo de oxígeno disuelto en el agua para peces específicos y animales acuáticos. Por ejemplo, a 5°C, la trucha usa 50-60 miligramos (mg) de oxígeno por hora, a 25°C, ellas deberían necesitar cinco o seis veces esa cantidad. Los peces utilizan más oxígeno en temperaturas altas cuando su velocidad metabólica aumenta <sup>38</sup>. Por ello es importante su determinación.

**DQO (Demanda química de oxígeno) y DBO (Demanda biológica de oxígeno):** Este parámetro, mide las sustancias orgánicas e inorgánicas que han sido oxidadas. Es empleado para medir los contaminantes en aguas naturales y residuales para evaluar la fuerza de desechos. También puede ser un indicador en la eficiencia del tratamiento de aguas. Esta ayuda a determinar el grado de contaminación del agua, ya que si es inferior a 10 mg/dl es un agua de excelente calidad, pero si tiene más de 200 mg/dl indica que el agua está fuertemente contaminada posiblemente por aguas de tipo industrial y doméstica <sup>39</sup>.

**DBO (Demanda biológica de oxígeno):** Es definida como la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica. La DBO es ampliamente utilizada para determinar el grado de contaminación por materia orgánica biodegradable. Cuando el agua presenta <3 mg/dl es una excelente fuente de agua, pero si es superior a 120

mg/dl nos indica que el agua ha sido fuertemente contaminada por descargue de aguas doméstica y residual <sup>40</sup>.

En el lago de Tota, la Demanda Biológica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno, DQO, según estudio de hidrosfera 2012 dice: “No existe una diferencia marcada, lo cual se puede relacionar con la presencia de materia orgánica, altas concentraciones de nutrientes y microorganismos en el agua que indica la contaminación de la misma. El sector en el que se presenta las concentraciones más altas de DBO5 y DQO es el de San Pedro y las más bajas se encuentran en el Túnel” <sup>1</sup>.

**Sólidos totales: sólidos disueltos (SD) y sólidos en suspensión (SS):** Mide la concentración de sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas o suspendidas en agua que obstruyen el proceso de la fotosíntesis. Se usa para evaluar la calidad de los sistemas de agua dulce. Los SD puede afectar la flotabilidad de los huevos de los peces y otros organismos. Los SS se incrementan por la minería tradicional o ilegal ya que en su proceso dejan residuos como roca fosfórica u otros dependiendo del tipo de explotación, esto genera la llegada de diferentes sustancias que quedan suspendidas en el lago o que pueden sedimentarse y a futuro llegar a causar el fenómeno denominado colmatación causado por acumulación excesiva de sedimentos de todos los tipos <sup>24</sup>. En el lago de Tota, se exponen niveles muy altos de solidos suspendidos en la Q. Mugre, según Ramírez R, en abril de 2005 <sup>24</sup>. La minería (minas de carbón) presentes cerca al lago de Tota, tienen un aporte significativo de sólidos en suspensión según CORPOBOYACA <sup>1</sup>.

**Fosfatos:** La mayor parte de fosforo presente en aguas naturales y aguas de desecho, están en forma de fosfatos, que a su vez se clasifican en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro, meta, polifosfatos y organofosforados) <sup>35</sup>. En el lago de Tota, se encontraron niveles considerables de polifosfatos en la corriente las Cintas, derivados de productos de limpieza, confirmando la llegada de aguas residuales domesticas (2012) <sup>28</sup>.

Estas sustancias llegan por escorrentía al lago cuando se emplean productos comerciales para el lavado de ropa como detergentes, desinfectantes y demás. Los agroquímicos empleados en la agricultura mostrados en la tabla 10 son los de mayor

impacto, aumentando el uso y concentración de estas sustancias sin control deteriorando cada vez más el lago <sup>41</sup>.

**Cloruros:** Es uno de los aniones inorgánicos que se encuentra en mayor concentración en aguas de consumo y aguas de desecho. Un alto contenido de cloruros en aguas puede afectar el crecimiento de la flora <sup>35</sup>. Los vertimientos de tipo doméstico y el lavado de suelos por lluvias, son el principal factor para la llegada de cloruros hacia un lago <sup>42</sup>. En el lago de Tota se evidencian cloruros desde septiembre de 2004 hasta marzo de 2005 según CORPOBOYACA <sup>8</sup>.

**Sulfatos:** Los sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) están ampliamente distribuidos en la naturaleza y pueden estar presentes en aguas naturales. Están asociados a la dureza del agua y producen en los consumidores una notoria acción catártica (laxante), especialmente en presencia de sodio y magnesio <sup>35</sup>. Algunos drenajes de la minería y aguas residuales son la principal fuente externa de sulfatos hacia el lago de Tota. Los habitantes cercanos al lago, ingieren el agua directamente (motobomba) sin tratamiento alguno, causando posibles trastornos gastrointestinales.

**Clorofila a:** Pigmento fotorreceptor característico de plantas y responsable de la transformación de energía (fotosíntesis). Es un indicativo del fenómeno de eutrofización, ya que el exceso de vegetación acuática incrementa este parámetro, por ello es importante su determinación. Según la universidad UPTC y CORBOYACA en el año 2015, en su estudio Efecto de variabilidad Climática de un ciclo anual de flujo de nutrientes del lago de Tota dice: Los valores más altos de **clorofila a** se registraron en las estaciones (la Mugre, la Custodia, los Pozos, lago Chico, el Túnel y Hato laguna). El estudio concluye que en la sub- cuenca lago chico, tiene un alto grado de clorofila a, asociado con eutrofización <sup>43</sup>.

**Nitratos:** Se encuentran normalmente en aguas y vegetales en baja concentración, su exceso incrementa el exagerado crecimiento de vegetación acuática, el ejemplo más claro son las algas, por ello son un indicador de contaminación en el agua. Un alto nivel

de nitratos en humanos y rumiantes es altamente tóxico, debido a que se convierten en nitritos por microorganismos presentes en boca, estomago e intestino a un pH ácido <sup>13</sup>. En el lago de Tota, la invasión de plantas acuáticas del género *Elodea*, ocupa más de 1200 hectáreas para el año 2012 <sup>8</sup>.

Existen otros parámetros indicadores de calidad de agua, para las industrias y minería se determinan sustancias tales como: Mercurio, Cadmio, Plomo, Níquel, Cobre, Cromo, Zinc, Estaño, Arsénico etc. En la agricultura se determinan plaguicidas, organoclorados, organofosforados, poli clorados, hidrocarburos poli aromáticos etc. Lo anterior está descrito por el IDEAM en la guía para el monitoreo y seguimiento del agua <sup>44</sup>.

### **2.12.3 CARACTERISTICAS MICROBIOLÓGICAS DEL LAGO DE TOTA**

Dentro de las afectaciones microbiológicas, no se encontró diversidad documental. A continuación, se presenta los hallazgos encontrados sobre el lago de Tota:

Según MAPA DE RIESGO CORPOBAYACA (2012), el pastoreo de animales y la piscicultura presente en el lago de Tota, genera presencia de *Coliformes* totales, *E. coli*, bacterias *Coliformes* Termotolerantes, Heterotrofos, *Enterococos* intestinales y parásitos como *Giardia* <sup>8</sup>.

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud) dice: La seguridad del agua se mejora mediante la implantación de barreras múltiples, como la protección de los recursos hídricos, la selección y aplicación correcta de operaciones de tratamiento <sup>32</sup>. Según estudios del Plan de ordenación y manejo de la cuenca del lago de Tota por CORPOBOYACA, se encontraron microorganismos como *Escherichia coli* y coliformes fecales, en condiciones de contaminación muy alta en las Quebradas La Mugre, Aguablanca y en el río Tobal; tal situación ocurre con menor frecuencia en la Quebrada Los Pozos y en los ríos Olarte y Hato Laguna <sup>24</sup>.

En la tabla 10, se visualiza los agentes patógenos más comunes en lagos y embalses, sus concentraciones máximas detectables notificadas para *Campylobacter*, *E. coli*, *Giardia*, *Cryptosporidium* y virus. Con esta tabla se puede tener una idea de la cantidad de microorganismos presentes en lagos. Tomado de la guía de calidad para agua potable de la OMS en el capítulo 7. Aspectos microbiológicos <sup>32</sup>.

**TABLA 10.** Concentraciones detectables máximas por litro notificadas en publicaciones científicas de agentes patógenos entéricos e indicadores de contaminación fecal en diferentes tipos de aguas <sup>32</sup>.

Grupo de agente patógeno o indicador	Lagos y embalses	Ríos y arroyos afectados	Ríos y arroyos silvestres	Aguas subterráneas
<i>Campylobacter</i>	20–500	90–2500	0–1100	0–10
<i>Salmonella</i>	—	3–58000 (3–1000) <sup>a</sup>	1–4	—
<i>E. coli</i> (genérica)	10000–1000000	30000–1000000	6000–30000	0–1000
Virus	1–10	30–60	0–3	0–2
<i>Cryptosporidium</i>	4–290	2–480	2–240	0–1
<i>Giardia</i>	2–30	1–470	1–2	0–1

### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1 Tipo de investigación

La presente investigación fue de tipo documental orientada a la búsqueda y recolección de información sobre el Lago de Tota. Es documental, ya que se recopila información de manera escrita y virtual sobre el tema a abordar de diferentes fuentes y autores.

#### 3.2 Población de estudio

Documentos a nivel nacional e internacional que se basan en el estado del lago de Tota y su impacto con el departamento de Boyacá.

#### 3.3 Recopilación de información

- Búsqueda y revisión la información existente.

- Selección de las temáticas a partir del material bibliográfico consultado.
- Organizar de forma lógica el documento.
- Análisis de la información.

### **Revisión de artículos**

Dentro de las técnicas e instrumentos de recolección de datos empleados para la realización de esta monografía, se buscaron y analizaron documentos, artículos científicos válidos y confiables publicados en diferentes bases de datos como son: Scielo, PubMed, Scindirect, Google académico, SINAB, Ambientalex.info, Scopus, y algunas bibliotecas (Universidad Nacional de Colombia, Red capital de Bibliotecas públicas de Bogotá BIBLIORED y Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca) incluidos artículos, videos, tesis, blogs y algunas revistas nacionales e internacionales.

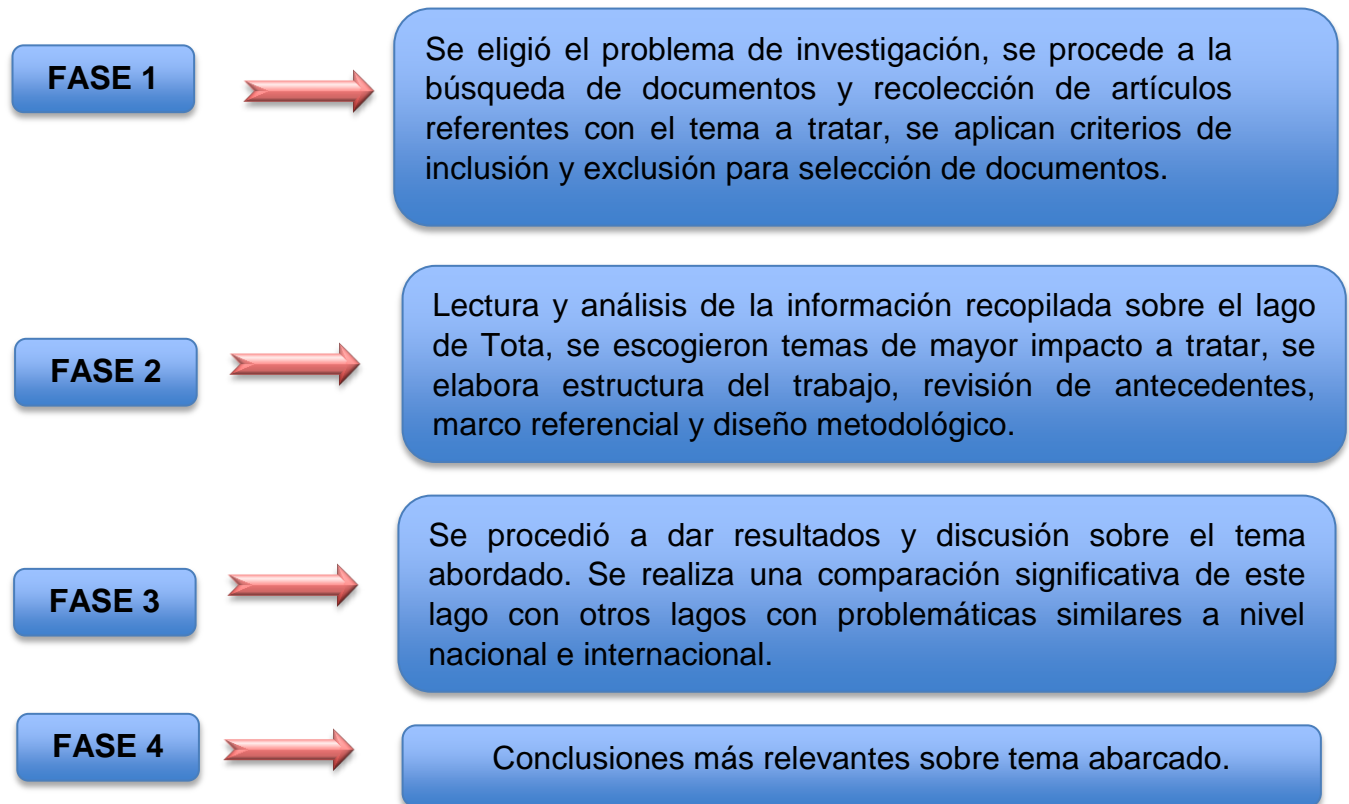
### **Criterios de inclusión**

- Artículos científicos e investigaciones sobre el lago de Tota, con fecha no inferior 30 años de publicación.
- Documentos sobre calidad de aguas superficiales no solo del lago de Tota, si no cualquier lago o ecosistema con similitudes que contenga información valiosa para nuestro estudio será tomada en cuenta.
- Documentos solo en idioma inglés y español
- Quedan incluidos documentos nacionales e internacionales.

### **Criterios de exclusión**

- Artículos y escritos científicos que no cumplan con la fecha.

### 3.4 Fases de desarrollo del trabajo.

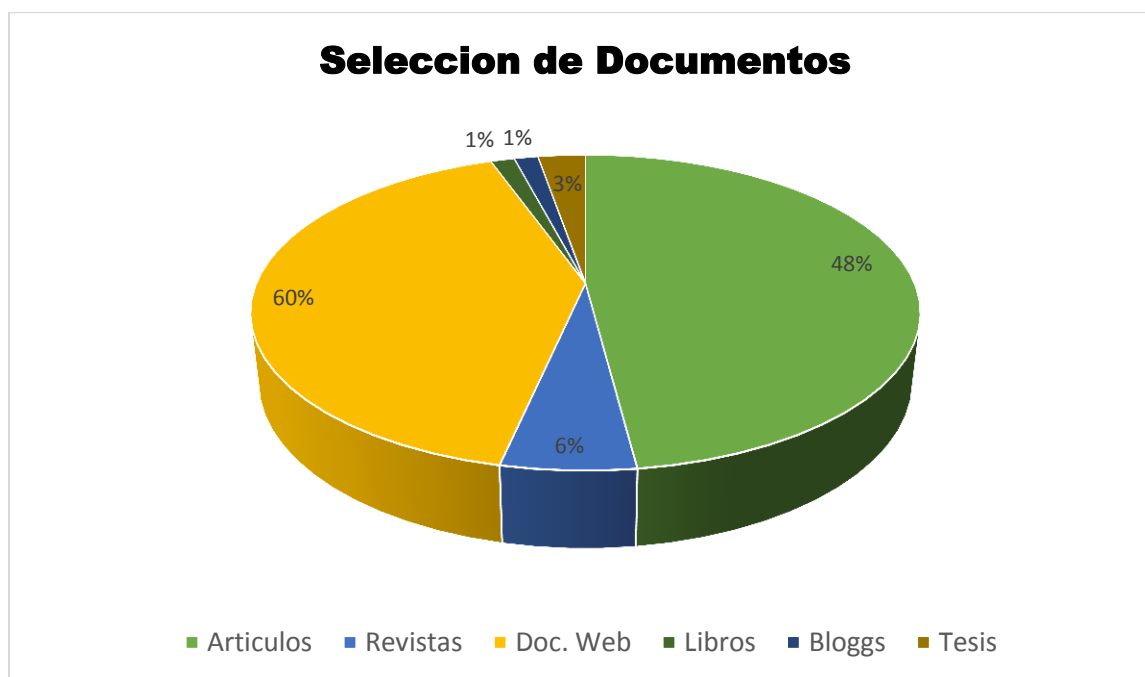


**FIGURA 9.** Fases de desarrollo. Autora (2019).

Durante la búsqueda y recolección de información se evidenció que algunos buscadores no cuentan con artículos relacionados con el tema abordado, por lo cual se procede a indagar e investigar en ecosistemas similares en Colombia y otros países para poder soportar de manera clara la revisión.

## 4. RESULTADOS

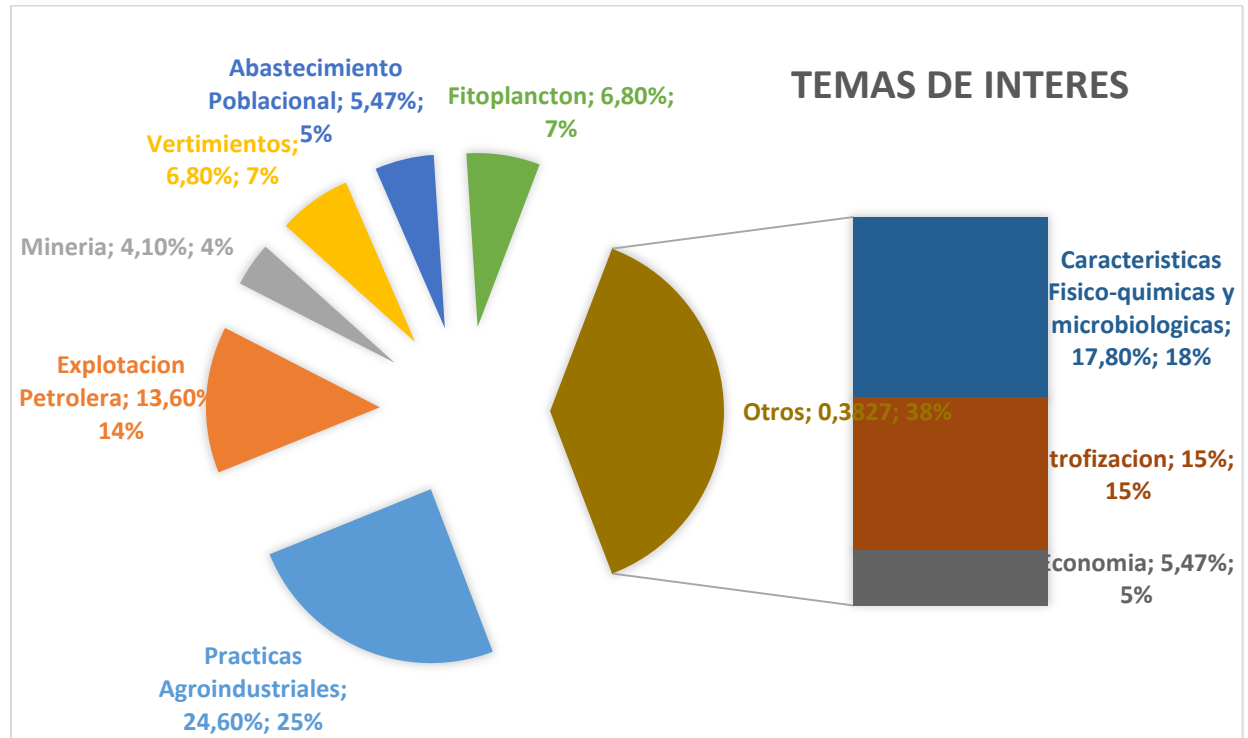
**FASE 1:** Se revisó un total de 73 documentos en diferentes bases de datos, se tomó artículos sobre el tema abordado, fue tedioso ya que el lago de Tota no cuenta con muchos artículos científicos publicados, también se seleccionó libros, blogs, tesis, revistas y documentos web relacionados con el tema abordado.



**FIGURA 10.** Selección de documentos para desarrollo del trabajo.

**FASE 2:** Dentro de los documentos consultados, se seleccionaron los temas de mayor impacto sobre el lago de Tota. Los temas de mayor interés por presentar mayor diversidad documental son prácticas agrícolas, propiedades físico-químicas y microbiológicas y eutrofización.





**FIGURA 11.** Principales temáticas del lago de Tota.

**FASE 3:** Documentos seleccionados por temas teniendo en cuenta criterios de inclusión y exclusión.

**TABLA 11.** Material Seleccionado.

PRACTICAS AGROINDUSTRIALES		
TITULO	AUTORES	AÑO
Tota es un paraíso amenazado	El tiempo	1990
Plan de ordenación y manejo de la cuenca de Tota. Gestión ambiental PUJ CORPOBOYACA	Ricaurte P	2005
Determinación espacio temporal de la concentración de fosforo en el lago de Tota.	Ruiz E. Vargas E.	2005
Evolución del contenido de elementos	Piraneque G, Aguirre F	2007

nutrientes en suelos cultivados con cebolla de bulbo		
Monitoreo en la calidad del agua, especialista en ambiente, servicio de extensión agrícola.	González C	2011
Salvar el lago de Tota	El espectador	2012
Evaluación del movimiento de plaguicidas hacia la cuenca del Lago de Tota, Colombia.	Mojica A. Guerrero J	2013
Cambios Institucionales para preservar la cantidad y la calidad del agua en la cuenca del lago de Tota	Chaparro J	2013
Manejo ambiental integral de la cuenca hidrográfica del lago de tota 3801	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio Ministerio de Comercio, Industria y Turismo	2014
Agencia de noticias universidad nacional. Actividad agrícola afecta aguas del lago de Tota.	Unimedios	2014
Plan de desarrollo municipal “por el bienestar y desarrollo de Aquitania”	Torres C	2015
El lago de Tota en riesgo por los fertilizantes.	EL HERALDO	2016
Estimación de los desperdicios generados por la producción de trucha arcoíris en el lago de tota Colombia	Torres N, Rincón I	2017
La gallinaza como fertilizante.	INTAGRI.	
Amoniaco en la acuicultura	AQUAFEED	
Instituto Colombiano Agropecuario, Producción de plaguicidas químicos por tipo de control o uso	ICA	2017
En riesgo el lago de tota, el más grande de Colombia ubicado en Boyacá.	Caracol radio	2017
Evitar desabastecimiento en Bogotá	El tiempo	

<b>VERTIMIENTOS</b>		
<b>TITULO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>AÑO</b>
Implementación Tasas Retributivas Por Vertimientos Puntuales Determinación De La Meta Global De Descontaminación	CORPOBOYACA	2009
Informe Batimetría Lago de Tota, IDEAM	Núñez L, Triana J, Martínez O	2014
Resolución 0837 del 2017	MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE	2017
Guía para el monitoreo y seguimiento del agua,	IDEAM	
Aguas residuales y uso de agroquímicos también están afectando la salud del lago de Tota	Noticias caracol	2018
<b>MINERIA</b>		
<b>TITULO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>AÑO</b>
Manejo ambiental integral de la cuenca hidrográfica del lago de tota 3801	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio Ministerio de Comercio, Industria y Turismo	2014
Contaminación en el lago de Tota	Blogger	2015
¿Prevención o explotación? Polémica por plan de mitigación de riesgo en la Laguna de Tota	CARACOL NOTICIAS	2018

<b>EXPLOTACION PETROLERA</b>		
<b>TITULO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>AÑO</b>
La contaminación de las aguas por hidrocarburos: un enfoque para abordar su estudio.	Vicente I, Prieto D	1999
El lago de tota, el más contaminado del mundo, ahora amenazado por el petróleo.	Wallace A	2012
La exploración de la petrolera francesa Maurel & Prom en la laguna más grande del país tiene con los pelos de punta a campesinos y ambientalistas	medellinstyle	2012
Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación	Velásquez J	2017
La explotación petrolera y sus efectos en la región de Boyacá, lo que debe saber.	HBSNOTICIAS.COM	2017
Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación	Velásquez J	2017
¿Hay o no hay fracking en Boyacá? Crece la polémica. 2018	El espectador	2018
Nuevo proyecto de explotación petrolera se avecina en Boyacá.	El diario	2018
Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR) de EE.UU	Disponible en: <a href="https://www.atsdr.cdc.gov/es/">https://www.atsdr.cdc.gov/es/</a>	
Ecopetrol	EL TIEMPO	2019

<b>ABASTECIMIENTO POBLACIONAL</b>		
<b>TITULO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>AÑO</b>

En Corpoboyaca aseguraron que el uso de agua del Lago de Tota es ilegal	El Tiempo	2010
Mapa de riesgo de la calidad del agua para el consumo humano de la laguna de tota	Gobernación de Boyacá	2012
Restringen uso del agua del lago de tota a empresa siderúrgica	El Espectador	2014
Análisis regional, esquema de ordenamiento territorial, Aquitania-Boyacá	CORPOBOYACA	2015
<b>FITOPLANCTON</b>		
<b>TITULO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>AÑO</b>
Riesgos a la salud causados por cianobacterias y algas de agua dulce en aguas recreacionales	Chorus I	1998
Biologos preocupas por aparicion de algas en el lago de Tota.	EL TIEMPO	2009
Microbiología general	I. Herrarte	2013
Morfología funcional del fitoplancton en un lago tropical de alta montaña: Lago Tota (Boyacá-Colombia)	Universidad de Costa Rica Muñoz L, Riaño N, Duque S.	2017
Efectos tóxicos producidos por las microcistinas en peces	Revista de toxicología	
<b>ECONOMIA</b>		
<b>TITULO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>AÑO</b>
Análisis económico para el diseño de políticas ambientales en el Lago de Tota.	Durana C	2005
El lago de Tota, importante eje de la economía boyacense.	EL TIEMPO	2010
PIB	DANE	2017

Lago de Tota es premiado como uno de los mejores destinos verdes de las Américas	El Espectador	2018
<b>EUTROFIZACION</b>		
<b>TITULO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>AÑO</b>
La Laguna de Fúquene está muriendo	El Tiempo	2001
Contribución De Un Afluente Tributario A La Eutrofización Del Lago De Tota (Boyacá, Colombia)	Abella G, Martínez C	2012
Contribución De Un Afluente Tributario A La Eutrofización Del Lago De Tota (Boyacá, Colombia)	Abella G, Martínez C	2012
Universidad Estatal de Montana Programa de Extensión en Calidad del Agua Departamento de Recursos de la Tierra y Ciencias Ambientales.	W. Adam, Jim B	2012
Evaluación comparativa de algunas características limnológicas de seis ambientes lentícos de Colombia	Hernández E, Aguirre N, Palacio J	2013
Efecto de variabilidad climática de un ciclo anual sobre el flujo de nutrientes (C, N y F) fuentes y biocaptacion en el lago de Tota	Universidad UPTC, Corpoboyaca	2015
Estado trófico de lagos en Colombia, Universidad ECCI	Cárdenas C, Soto L, Perdomo T	2015
Análisis Multitemporal del espejo de agua del lago de Tota ubicado en el departamento de Boyacá	Orduz A	2018
Observatorio de la NASA	Disponible en: <a href="https://earthobservatory.nasa.gov/images/44677/aquatic-dead-zones">https://earthobservatory.nasa.gov/images/44677/aquatic-dead-zones</a>	

The nature conservancy	Disponible en: <a href="https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/photos/beyondthesource_execsummary_spanish.pdf">https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/photos/beyondthesource_execsummary_spanish.pdf</a>	
Las fuentes de nutrientes detrás reciente eutrofización del Lago de Tota, un lago de alta montaña andina	Aranguren N, Shurin J, Lopez R	2018
<b>CARACTERISTICAS FISICO/QUIMICAS Y MICROBIOLOGICAS</b>		
<b>TITULO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>AÑO</b>
DECRETO 1594 DE 1984. Usos de agua y residuos líquidos.	IDEAM	1984
Los nitratos y nitritos en aguas, su origen propiedades y toxicología.	Lage M, Iglesias I.	1984
Caracterización fisicoquímica del lago de tota y sus principales tributarios	Ramírez A, Paeres M Pontificia Universidad Javeriana - Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Instituto de Estudios Ambientales	2005
Propiedades fisicoquímicas del agua	SlideShare	2011
Guías para la calidad de agua potable	OMS	
Ciencias de la tierra y el medio ambiente	Echarri L	
Ingeniera de INTEREMPRESAS, eliminación y determinación de fosfatos	Putw P	2010
Manual de métodos fisicoquímicos para el análisis de aguas.	Instituto Nacional de Salud	2011
Alcalinidad del agua	Disponible en: <a href="http://alcalinidaddelagua.blogspot.com/">http://alcalinidaddelagua.blogspot.com/</a>	

Importancia, Oxígeno Disuelto	LEENTECH	
Calidad de aguas	CORTOLIMA	2011
Laboratorio de química ambiental, demanda bioquímica de oxígeno	Calderón D	
Determinación de Cloruros	AMBIENTUM	2019

**FASE 4.** La información obtenida permitió conocer las practicas involucradas en el deterioro del lago de Tota, su impacto con el medio ambiente, la economía, la salud y la población.

## 5. DISCUSIÓN

El lago de Tota es el tercer lago más grande de Latinoamérica después del Maracaibo y el Titicaca <sup>70</sup>. Es una fuente de agua para los habitantes cercanos al lago, es un recurso necesario para industrias y agroindustrias, es un destino turístico muy



importante para el país, es un ecosistema muy diverso. Por ello se debe preservar este ecosistema. Una de las principales prácticas involucradas en el deterioro de este lago es la agricultura, con 5.239 predios en solo el municipio de Aquitania, el 95% de área cultivable en el lago corresponde a cultivos <sup>6</sup>. Anualmente Boyacá produce 1865452 toneladas de productos agrícolas <sup>14</sup>. Los páramos son zonas productoras de agua muy importantes, actualmente los páramos (Alfombras, Suse, Hirva, Franco, Ogonta y Sarna) son los más cercanos al lago, se ven afectados por explotación agrícola (agroquímicos) y ganadera (excretas), lo cual contribuye al deterioro del lago de Tota<sup>11</sup>. La agricultura es una práctica que representa alto riesgo para el lago, por su incontrolado uso de agroquímicos empleados en cultivos, dentro de los agroquímicos con mayor impacto tenemos los fertilizantes como la gallinaza y la pollinaza (mezcla de excretas) empleadas en cultivos porque contribuye de manera eficaz al incremento de nutrientes. Según INTAGRI el contenido nutrimental del estiércol bovino es menor con respecto a la gallinaza, el estiércol bovino contiene nitrógeno y fósforo (14,2-14.6 kg/ton) comparado con la gallinaza la cual tiene un nivel más alto de nitrógeno y fósforo de 34.7 - 30.8 kg/ton <sup>10</sup>. En la región se vende todo tipo de agroquímico con fórmula o sin ella, lo que permite el uso desmedido de estos <sup>8</sup>. Lo anterior nos confirma que las excretas son el principal fertilizante empleado por campesinos por su costo y su incremento de nutrientes, anualmente se aplican cerca de 63,450 toneladas de gallinaza sin control y 430 toneladas de plaguicidas <sup>6</sup>. La escorrentía es la principal manera por la que los nutrientes (fosfatos y nitratos) llegan al lago <sup>3</sup>. Permitiendo el enriquecimiento desmedido. En la tabla 4 también se evidenció que la mayoría de insumos utilizados por los cultivadores, tienen efecto ecotoxicológico sobre algunos seres vivos.

La piscicultura presente en el lago para el año 2016, tiene cerca de 222 jaulas de cría y comercialización de trucha, genera 5.063 toneladas de desechos de los cuales 196 toneladas son nitrógeno y 35 toneladas son fósforo vertidos al lago, favoreciendo el exceso de nutrientes <sup>7</sup>. Otro factor importante es la producción de amoníaco, según la AQUA FEED la excreción de amoníaco de peces por las branquias, incrementa la fotosíntesis, aumenta la absorción del amoníaco por la vegetación y contribuye a la nitrificación por bacterias *nitrosomonas* y *nitrobacterias* que oxidan el amoníaco a nitrito

(NO<sub>2</sub>) y a nitrato (NO<sub>3</sub>-). Si un estanque acuícola no cuenta con un buen manejo de estas sustancias, los peces podrían morir por intoxicación <sup>12</sup>. Esto puede ayudar a incrementar el deterioro del lago y la economía también se ve implicada, no se encontró artículos que establezcan el estado de los estanques presentes en el lago.

Así mismo, la actividad ganadera presente en Aquitania, reporta 16.800 cabezas de ganado, en Tota y Cúitiva cerca de 2.800 cabezas cada uno. En algunas zonas la ganadería está desplazando al cultivo de papa, debido a la baja rentabilidad del cultivo y a los altos costos de producción, ya que la ganadería ofrece ganancias con costos de producción bajos y sin altos riesgos generados por las variaciones en el mercado <sup>1</sup>. El excremento originado por el ganado cercano al lago incrementa el enriquecimiento del lago, pero así mismo los enferma por consumo directo de posible agua eutrofizada ya que los rumiantes tienen en su estómago microorganismos que reducen nitratos a nitritos y amoniaco, causándoles metahemoglobinemia y hasta la muerte <sup>13</sup>.

Los vertimientos son otro factor importante ya que pueden llevar fosforo en forma de ortofosfatos presentes en materia viva y trifosfatos (detergentes). La Agencia Ambiental Europea y otros investigadores, nos dicen que la contaminación de lagos por fosfatos, proviene de escorrentía y vertimientos de residuos industriales o domésticos que principalmente contienen detergentes a base de fósforo <sup>28</sup>. Según el ministerio de salud y protección social, el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, estipulan en la resolución 0837 del 4 de mayo del 2017 los límites máximos de fosforo y tenso activos de jabones y detergentes al 3% <sup>29</sup>. A partir del 2018 el nivel de fosforo admisible es de 0,68. Dicho lo anterior al verificar varias composiciones de diferentes marcas de detergentes como: Detergente Surtimax y Polvo limpiador abrasivo Dersa contienen un máximo de fosforo de (0,65 %), se puede decir que la mayoría de detergentes contienen fosforo en poca cantidad, ya que lo requieren para contrarrestar la dureza del agua. Según Ruiz Efraín en el año 2012, algunas quebradas (La mugre, Los pozos y Aguablanca) reflejan no solo vertimientos domésticos, sino también escorrentía de suelos con gallinaza y zonas de ganadería <sup>8</sup>. Igualmente, el alcantarillado deficiente con menos del 50% de cobertura y el no contar con el permiso de vertimiento por los

algunos municipios como Aquitania, Cuitiva, Sogamoso y Tota, permite la llegada constante de nitrógeno y fosforo hacia el lago <sup>16</sup>.

Por otra parte, el exceso de nutrientes generado por las diferentes prácticas ya mencionadas, origina el fenómeno denominado eutrofización. Según Abella G, Martínez C, en su estudio Contribución a la eutrofización del lago de Tota, de la revista de química de la Universidad Nacional de Colombia dice: “La eutrofización ha sido identificada como la principal causa de deterioro de la calidad del agua, que puede restringir su uso para pesca, recreación, industria y consumo. La eutrofización es un proceso que puede ser irreversible, que se presenta en los ecosistemas acuáticos lénticos como respuesta al enriquecimiento de ciertos nutrientes (fosfatos y nitratos), llevando al perjuicio de la calidad del agua”, la principal entrada de nutrientes hacia el lago de Tota está dado por índole agrícola, y doméstico <sup>3</sup>. Es importante resaltar que en el cuerpo del trabajo, se sostiene con artículos la entrada de nutrientes por diferentes factores al lago de Tota.

Según la OMS, al evaluar un recurso hídrico se tienen en cuenta: “La modificación de la corteza vegetal, las actividades mineras, la construcción o modificación de vías fluviales, la aplicación de fertilizantes, herbicidas, plaguicidas u otros productos químicos, la ganadería y la aplicación de abonos a base de estiércol, la construcción, el desarrollo residencial urbano o rural, con particular atención a la eliminación de excrementos, el saneamiento, los vertederos y la eliminación de residuos y otras actividades humanas potencialmente contaminantes, como las industrias” <sup>32</sup>. El lago de Tota puede sufrir de eutrofización, esto dificulta que el recurso se tome para abastecimiento poblacional, ya que impacta sobre el departamento, por que incrementa costos industriales, costos en servicios públicos de manera exagerada, debido a que se eleva los costos para purificar el agua eutrofizada y poder usar el recurso. Otro aspecto relevante es el turismo, en el año 2018 el lago de Tota fue nominado como el tercer destino verde más atractivo de las Américas, otorgada por el ITB de Berlín, una de las principales ferias de la industria del turismo más importantes del mundo <sup>33</sup>. Este es afectado directamente como consecuencia de eutrofización, impactando negativamente en la economía del departamento.

Respecto a la salud de la población, según la OMS el hombre americano consume de 9 a 22 miligramos de nitrato por día en diferentes verduras de hoja. Una concentración de nitrato mayor a 10 mg/L en agua puede entrar en el cuerpo humano y convertirse a nitrito, el cual reaccionara con la hemoglobina y evitara el transporte de oxígeno en el cuerpo ocasionando problemas de salud como metahemoglobinemia. Los nitratos afectan la salud de la población que consume el agua de manera directa del lago de Tota o consuman alimentos regados con agua eutrofizada <sup>30</sup>. La metahemoglobinemia, es incapaz de fijar el oxígeno ni transportarlo, ocasionando la disminución de oxígeno en sangre, disfunción de algunos órganos como la glándula tiroides y bajo almacenamiento de vitamina A. Estos favorecen la producción de nitrosaminas que elevan la propensión de padecer cáncer de estómago. En animales los nitratos destruyen la vitamina A y los nitritos la vitamina D alterando su metabolismo y causando deficiencias en la salud. Algunos habitantes cercanos al lago, ingieren agua directamente del lago desencadenando posibles problemas de salud en niños, adultos y animales <sup>13</sup>.

Por otra parte, en cercanía al lago de Tota existe explotación de minas de carbón con licencias (títulos) de minería, pero también se evidencia minería ilegal. Las bocaminas en las veredas de Hato Laguna y las Cintas, las cuales se encuentran en áreas pantanosas son las más cercanas al lago. Esta actividad impacta de manera negativa hacia el lago, porque genera sólidos en suspensión y lixiviados azufrados a estas quebradas, que son afluentes del lago. Los lixiviados de la minería del carbón tienen características fuertemente ácidas que inciden sobre las condiciones fisicoquímicas del agua y del suelo. Sin embargo, no se cuenta con información para establecer el grado de afectación de los recursos según (CORPOBOYACA, 2005) <sup>1</sup>.

El impacto de los hidrocarburos, según la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR) de EE.UU. La exposición a hidrocarburos afecta la salud de manera diferente, dependiendo del tiempo de exposición a la sustancia ya puede llegar a afectar el sistema nervioso, circulatorio, inmunitario, pulmones, hígado, bazo, riñón y feto, causando daños irreversibles en humanos y animales. Un ejemplo claro es el benceno que puede causar cáncer (leucemia) en humanos <sup>45</sup>. Según el Espectador en

el 2018 se derramaron en Colombia 3,7 millones de barriles de crudo, 550 barriles de crudo en las quebradas La Lizama y caño Muerto, así como en aguas del río Sogamoso. Por este episodio, 6.001 árboles y 2.442 animales (la mayoría peces) se perdieron y la contaminación del agua fue devastadora. En 1986 se derramaron 45743 barriles en el norte de Santander, en 1990 se derramaron 14000 barriles en coveñas-ciénaga de zapatosa, en 1992 se derramaron 45000 barriles en la quebrada san roque y río Ité, en 2015 se derramaron 200 galones de crudo en río Cuembí – Putumayo <sup>46</sup>. Así como los eventos anteriores, el lago de Tota puede sufrir una contaminación por crudo, ya que se han realizado proyectos de sísmica para posterior explotación, pero el resultado pueden ser yacimiento convencional o no convencional (fracking), si se realiza explotación petrolera cerca a este lago, se puede afectar drásticamente el ecosistema, el espejo de agua, la economía del departamento por afectación directa a agroindustrias e industrias que requieren del recurso, el turismo, escases de agua en la población adyacente y riesgos en la salud.

Es importante resaltar, que de este recurso se abastecen varios municipios (Sogamoso, Aquitania, Iza, Belencito, Firavitoba, Tota, Cuitiva, Nobsa, la empresa Acerías Paz del Río, Cementos Boyacá e Indumil) <sup>8</sup>. El lago de Tota abastece cerca de 250.000 habitantes <sup>22</sup>. Si el deterioro de este lago sigue creciendo, las probabilidades de que los diferentes municipios presenten escases de agua son altos, el impacto a nivel social y económico son irremediables. Según DANE el departamento de Boyacá es uno de los más importantes en el sector agrícola, ganadero y pesquero, desde el año 2015 viene incrementando su desarrollo económico en el departamento <sup>23</sup>. Si el lago de Tota se eutrofiza las pérdidas económicas impactan gravemente al departamento de Boyacá y a la economía colombiana, Boyacá distribuye 285.140 toneladas de alimentos agrícolas de los cuales Bogotá requiere 5 millones de toneladas, dicho lo anterior genera alza en precios, escases de algunos alimentos por falta de cosecha, afectando directamente a la población colombiana <sup>73</sup>.

La reducción del nivel del lago, nos reitera que los abusos de este recurso son muchos. Según Orduz A, en los últimos 29 años, hasta el 2018 el lago de Tota evidencia una disminución de 1,497 km<sup>2</sup> del cuerpo lagunar, debido a descarga de sedimentos

orgánicos e inorgánicos de Cuitiva, Aquitania y Tota. También por la captación de agua de industrias como Acerías Paz del Rio con 7,675 m<sup>3</sup>/día (88,3 L/s), Cementos Argos de 2,71 L/s, distritos de riego 177 L/s de agua por día <sup>31</sup>. La descarga de sedimentos orgánicos e inorgánicos puede originar colmatación, proceso que acumula sedimentos hasta desaparecer el mismo lago y crear una zona muerta.

De igual modo, el fitoplancton del lago de Tota se destaca por la presencia de *Microcystis*. En el año 2009 el biólogo Nelson Javier Aranguren, coordinador de la Unidad de Ecología en Sistemas Acuáticos de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Encontró que las especies dominantes en el lago son *Cyclotella*, *Staurastrum* y *Microcystis*, el desarrollo de esta última, la favorece el incremento de fósforo, que podría provenir de agroquímicos usados en los cultivos de cebolla y en los criaderos <sup>26</sup>. El mayor impacto que genera esta especie es la segregación de cianotoxinas, llamadas (microcistinas, anatoxina a). Estas cianotoxinas afectan actividad enzimática metabólica en peces, como la actividad de las enzimas antioxidantes, enzimas séricas y la regulación del balance iónico, entre otros causando daños severos en peces <sup>71</sup>. En humanos el contacto directo causa reacciones dérmicas, alérgicas o irritativas de diversa gravedad, la anatoxina-a pueden causar sofocación o calambres y las microcistinas a largo plazo por ingestión constante, lesión hepática progresiva <sup>72</sup>.

Las propiedades físico químicas y microbiológicas del lago de Tota, son el principal indicador del estado del recurso hídrico, ya que para la destinación de uso se requieren unos parámetros mínimos de calidad, según el decreto 1594 de 1983, también se muestran las sustancias de interés sanitario (poli clorados, hidrocarburos aromáticos, nitrosaminas, nitro fenoles, plomo, selenio, benceno etc.) <sup>9</sup>. Sin embargo, no se encontró diversidad documental con la determinación exacta y reciente de estas propiedades en las diferentes zonas del lago de Tota, solo se encontró en algunos documentos que había presencia de dicha sustancia, pero no su correcta determinación. Se realizó un análisis por parámetro y se evidencia que los agroquímicos procedentes de la agricultura, los desechos de la piscicultura, los diferentes vertimientos, la ganadería, la minería y la explotación petrolera, inciden

directamente sobre los parámetros físicos, alterando su color, turbidez generando un agua poco agradable al ojo humano, esto disminuye el turismo y afecta la fotosíntesis, respiración y reproducción de la vida acuática <sup>36</sup>. Respecto a las propiedades químicas como pH, permite identificar un agua acida o básica y si el crecimiento de seres vivos es óptimo <sup>28</sup>. La alcalinidad está relacionada con el pH y se considera un indicativo de productividad de cuerpos de agua <sup>37</sup>. El oxígeno disuelto ideal varía dependiendo la especie de animal, este parámetro es importante conocerlo porque su disminución puede ocasionar muerte de seres vivos, el exceso de algas es el principal factor para agotar el oxígeno de un sistema acuático <sup>38</sup>. DBO es ampliamente utilizada para determinar el grado de contaminación por materia orgánica biodegradable, permite notar el grado de contaminación <sup>40</sup>, DQO es empleado para medir los contaminantes en aguas naturales y residuales, para evaluar la fuerza de desechos. También puede ser un indicador en la eficiencia del tratamiento de aguas <sup>39</sup>. La relación de DQO y DBO para el año 2012 en el lago, arroja que San Pedro presenta las concentraciones más altas, indicando un alto grado de contaminación del lago de Tota <sup>1</sup>. Los sólidos disueltos y sólidos en suspensión, evalúan la calidad de sistemas de agua dulce. El lago de Tota, presenta niveles muy altos de sólidos suspendidos en la Q. Mugre, según Ramírez R, en abril de 2005 <sup>24</sup>. Los fosfatos se incrementan por origen ectópico, en el lago de Tota se encontraron niveles considerables de polifosfatos en la corriente las Cintas, derivados de productos de limpieza, confirmando la llegada de aguas residuales domésticas (2012) <sup>28</sup>. Los cloruros pueden afectar el crecimiento de la flora, se encuentran en aguas de consumo y desecho <sup>35</sup>. El incremento de sulfatos, induce una acción laxante que puede afectar a los habitantes cercanos al lago que consumen agua directamente del lago de Tota <sup>35</sup>. La clorofila a, es un indicador de eutrofización, en el año 2015 se encontró índices elevados en las siguientes Microcuencas (la Mugre, la Custodia, los Pozos, lago Chico, el Túnel y Hato laguna) <sup>43</sup>. También la concentración de clorofila en la sub-cuenca Lago Chico expresó mayor grado de productividad - eutrofización. En general la variación en la concentración de fósforo explico una mayor proporción de la variación de la concentración de biomasa algal, por tanto este nutriente se considera un importante factor moderador del metabolismo y de la calidad ecológica del Lago de Tota <sup>43</sup>. Por último, los nitratos en exceso incrementan el

crecimiento exagerado de la vegetación acuática, para 2012 la invasión de algas del genero *Elodea* ocupa más de 1200 hectáreas <sup>8</sup>. Estas algas incrementan la clorofila a y confirman que efectivamente hay un enriquecimiento descontrolado en el lago de Tota. Según la revista El Heraldó, el director de Corpoboyaca José Ricardo López basa sus afirmaciones en un estudio de la Universidad Pedagógica de Tunja y la Universidad de California, explicó que si no se hace control, en cualquier momento puede haber un "deterioro acelerado" como en la Laguna de Fúquene, en Cundinamarca, que está cubierta en gran parte por algas <sup>27</sup>.

Las características microbiológicas del lago de Tota, son deficientes por que los documentos consultados identifican solo la presencia y ausencia de ciertos microorganismos. Se puede decir que en el lago de Tota se encontró *Escherichia coli* y coliformes fecales, en condiciones de contaminación muy alta en las Quebradas La Mugre, Aguablanca y en el río Tobal <sup>24</sup>. Adicionalmente el pastoreo de animales y la piscicultura presente en el lago de Tota, genera presencia de *Coliformes* totales, *E. coli*, bacterias *Coliformes* Termotolerantes, Heterótrofos, *Enterococos* intestinales y parásitos como *Giardia* <sup>8</sup>. Sin embargo, se encontró las concentraciones máximas de patógenos de mayor importancia en lagos y lagunas según la OMS en el capítulo 7. Aspectos microbiológicos <sup>32</sup>. Con ellos se ve la diferencia de microorganismos entre un lago y un río.

Por otra parte, para corroborar que el lago de Tota se puede deteriorar a largo plazo con daños irreversibles, se realizó una comparación de ecosistemas similares en Sur América (Colombia), con similitud respecto a factores de deterioro e impacto a largo plazo (eutrofización) mostrados a continuación:

La universidad ECCL, en su estudio "Estado trófico de lagos en Colombia". Determina el estado trófico (oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, hipereutrófico) de Ciénagas del caribe (Ayapel, Bajo Sinú), Lagos amazónicos (Correo y Tarapoto, Yahuaraca), lagos andinos de alta montaña (Tota, Fúquene). Según índice asociado a fosforo Fúquene, Tota, Ayapel y Bajo Sinú se clasificaron como eutróficos. Sin embargo, según índice de clorofila todos los sistemas a excepción del Bajo Sinú y Yahuaraca se encuentran en



estado oligotrófico <sup>47</sup>. Se puede decir que en Colombia hay varios sistemas en estado trófico debido a exceso de nutrientes.

Según EL TIEMPO, en su archivo la laguna de Fúquene se está muriendo del año 2001. Las causas del deterioro son la expansión de terrenos laguna adentro, la contaminación de sus aguas, ésta última generada por las actividades ganaderas y de industrias lácteas que vierten sus desechos al curso hídrico. También varios municipios escurren sus aguas negras a los ríos que van a la laguna, con lo que la carga contaminante aumenta considerablemente. Además existe la invasión de plantas acuáticas que crecen desde el fondo hacia la superficie (como la *Elodea brasílica*), ocupan la superficie impidiendo el paso de luz solar (el buchón), y el junco y la henea, que crecen en la zona litoral de la laguna <sup>48</sup>. Como lo dice el documento, esta laguna ya perdió gran parte de su espejo de agua y es uno de los ecosistemas más similares al lago de Tota, por tanto es un ejemplo claro del impacto que genera el exceso de nutrientes en un cuerpo de agua.

Por último, a nivel mundial, la eutrofización o también llamada zona muerta inciden de manera representativa a través de los años. Según observatorio de la NASA, las regiones de los lagos y océanos que quedan sin oxígeno debido a la afluencia de nutrientes se denominan *zonas muertas*. El número de zonas muertas se ha ido incrementando durante varios años y para el 2008 existían más de 400 mil. Una de las peores zonas muertas se encuentra frente a la costa de los Estados Unidos en el Golfo de México. El escurrimiento de fertilizantes de la cuenca del río Misisipi creó una zona muerta de 21 919 kilómetros cuadrados, las zonas muertas se encuentran en áreas muy industrializadas y con alta densidad poblacional alrededor del mundo <sup>49</sup>.

Según Robert Díaz del Instituto de Ciencias Marinas de Virginia, El fertilizante que aplicamos a los cultivos se lava en arroyos y ríos. La escorrentía cargada de fertilizantes desencadena el crecimiento explosivo de algas planctónicas en las zonas costeras. Las algas mueren y caen en aguas profundas, donde sus restos son como fertilizantes para microbios. Los microbios descomponen la materia orgánica, agotando el oxígeno. La matanza masiva de peces y otras formas de vida marina resulta

aterrador <sup>49</sup>. El documento anterior nos confirma que efectivamente la escorrentía es un factor importante en el Lago de Tota.

Los ejemplos más claros de ecosistemas eutrofizados con mayor impacto (lagos, ríos y embalses) son: Bahía de Chesapeake, EEUU, mares interiores como el Báltico, el Adriático y otros mares del mediterráneo, el mar negro (especialmente el mar de Azov), el golfo de California, lago de Amatitlán y el de Atitlán <sup>49</sup>.

Para terminar, según The Nature Conservancy en su reporte más allá de la fuente dice: “De acuerdo con la FAO (La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), los impactos pueden ser especialmente importantes para el 10 a 12 por ciento de la población mundial que depende de la pesca y la acuicultura para su sustento, el 90 por ciento de los cuales son pescadores pequeños y artesanales. Las actividades de protección de las fuentes de agua podrían ayudar a mitigar el aporte de nutrientes en más de 200 de las 762 zonas costeras eutrofizadas y muertas reportadas a nivel mundial” <sup>50</sup>. El impacto generado por zonas eutrofizadas puede ser devastador si no se ejerce un control.

## 6. CONCLUSIONES

La revisión documental permitió concluir que:

- Hay prácticas agroindustriales (ganadería, agricultura, piscicultura), vertimientos, actividad petrolera y minera que deterioran la calidad del agua del lago de Tota. Propiciando el fenómeno de eutrofización, con posible afectación a la salud de la población cercana.
- La economía del departamento de Boyacá, está ampliamente influenciada por el turismo, sector empresarial (agroindustrial e industrial) y el abastecimiento

poblacional, que se pueden ver afectados a futuro por el deterioro del lago de Tota.

- Las propiedades físico-químicas y microbiológicas del lago de Tota, son afectadas drásticamente por uso indiscriminado de agroquímicos, desechos relacionados con la piscicultura y la ganadería, vertimientos, industria minera y explotación petrolera.

## **7. RECOMENDACIONES**

- Ejercer un control sobre agroquímicos y desechos para disminuir el exceso de nutrientes en el lago de Tota.
- No permitir el tratamiento no convencional de hidrocarburos (fracking) en zonas cercanas al lago, para evitar contaminación por crudo.
- Ser consiente que la explotación agrícola en paramos cercanos al lago, incrementan su deterioro, por lo que se recomienda no cultivar en zonas cercanas al lago.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- <sup>1</sup>. CONPES, Manejo Ambiental Integral De La Cuenca Hidrográfica Del Lago De Tota, En 2014. Disponible en:  
[http://www2.igac.gov.co/igac\\_web/normograma\\_files/12.%20CONPES%203801%20MANEJO%20AMBIENTAL%20INTEGRAL%20DE%20LA%20CUENCA%20HIDROGRAFICA%20DEL%20LAGO%20DE%20TOTA.pdf](http://www2.igac.gov.co/igac_web/normograma_files/12.%20CONPES%203801%20MANEJO%20AMBIENTAL%20INTEGRAL%20DE%20LA%20CUENCA%20HIDROGRAFICA%20DEL%20LAGO%20DE%20TOTA.pdf)
- <sup>2</sup>. Ruiz E. Vargas E. Determinación espacio temporal de la concentración de fosforo en el lago de Tota. [Internet]. Revista colombiana de química. 2005 dic; 34 (2): 211-218. Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/3090/309025255010/>
- <sup>3</sup>. Abella G, Martínez C, Contribución De Un Afluente Tributario A La Eutrofización Del Lago De Tota (Boyacá, Colombia), Vol. 41, Número 2, p. 243-262, 2012. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/39372/41998>
- <sup>4</sup>. Mojica A. Guerrero J. Evaluación del movimiento de plaguicidas hacia la cuenca del Lago de Tota, Colombia. Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas. Departamento de Química. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. REV. COLOMB. QUIM. 2013. 42 (2): 29-38. [Internet]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcq/v42n2/v42n2a04.pdf>
- <sup>5</sup>. Núñez L, Triana J, Martínez O, Informe Batimetría Lago de Tota, IDEAM, Dic 2014, Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/16003/Batimetria+Lago+de+Tota/6d14d1a2-a91b-4a20-86e3-58cb4242a616>
- <sup>6</sup>. Hernández E, Aguirre N, Palacio J, Evaluación comparativa de algunas características limnológicas de seis ambientes leníticos de Colombia. Scielo, Rev.fac.ing.univ. Antioquia no.69 Medellín Oct./Dec. 2013. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-62302013000400018](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302013000400018)
- <sup>7</sup>. Torres N, Rincón I. Estimación de los desperdicios generados por la producción de trucha arcoíris en el lago de tota Colombia [Internet]. Gestión y sostenibilidad ambiental. 2017 May; 18(2): 247-255. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v18n2/0122-8706-ccta-18-02-00247.pdf>
- <sup>8</sup>. Mapa de riesgo de la calidad del agua para el consumo humano de la laguna de tota, Gobernación de Boyacá, 2012, Disponible en: [https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/Salud\\_Publica/Ano\\_2014/AGUA\\_CONSUMO\\_HUMANO/MAPA\\_RIESGO/MAPA%20DE%20RIESGO%20DE%20LA%20LAGUNA%20DE%20TOTA.pdf](https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/Salud_Publica/Ano_2014/AGUA_CONSUMO_HUMANO/MAPA_RIESGO/MAPA%20DE%20RIESGO%20DE%20LA%20LAGUNA%20DE%20TOTA.pdf)
- <sup>9</sup>. DECRETO 1594 DE 1984. Usos de agua y residuos líquidos. Disponible en: [http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Dec\\_1594\\_1984.pdf/aacbcd5d-fed8-4273-9db7-221d291b657f](http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Dec_1594_1984.pdf/aacbcd5d-fed8-4273-9db7-221d291b657f)

- <sup>10</sup>. INTAGRI. La gallinaza como fertilizante. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/gallinaza-como-fertilizante>
- <sup>11</sup>. Análisis regional, esquema de ordenamiento territorial, Aquitania-Boyacá. Disponible en: [file:///C:/Users/ASUS/Downloads/eot%20-%20aquitania%20-%20analisis%20regional%20-%20\(12%20pag%20-%2072%20kb\).pdf](file:///C:/Users/ASUS/Downloads/eot%20-%20aquitania%20-%20analisis%20regional%20-%20(12%20pag%20-%2072%20kb).pdf)
- <sup>12</sup>. AQUAFEED, amoniaco en la acuicultura. Revista internacional, Disponible en: <http://www.aquafeed.co/>
- <sup>13</sup>. Lage M, Iglesias I. Los nitratos y nitritos en aguas, su origen propiedades y toxicología. universidad de Santiago Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Jesus\\_Simal-Lozano/publication/235698223\\_Los\\_Nitritos\\_y\\_Nitratos\\_en\\_las\\_aguas\\_Su\\_origen\\_propiedades\\_y\\_toxicologia/links/0deec5187b01f0246a000000/Los-Nitritos-y-Nitratos-en-las-aguas-Su-origen-propiedades-y-toxicologia.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jesus_Simal-Lozano/publication/235698223_Los_Nitritos_y_Nitratos_en_las_aguas_Su_origen_propiedades_y_toxicologia/links/0deec5187b01f0246a000000/Los-Nitritos-y-Nitratos-en-las-aguas-Su-origen-propiedades-y-toxicologia.pdf)
- <sup>14</sup>. CARACOL NOTICIAS. 29 de julio de 2018. ¿Prevención o explotación? Polémica por plan de mitigación de riesgo en la Laguna de Tota. Video. Disponible en: <https://noticias.caracoltv.com/caracol-investiga/prevencion-o-explotacion-polemica-por-plan-de-mitigacion-de-riesgo-en-la-laguna-de-tota>
- <sup>15</sup>. SlideShare. Propiedades fisicoquímicas del agua. Disponible en: <https://es.slideshare.net/frankespulpo/propiedades-fsico-gumicas-del-agua>
- <sup>16</sup>. Universidad UPTC, Corpoboyaca, Efecto de variabilidad climática de un ciclo anual sobre el flujo de nutrientes (C, N y F) fuentes y biocaptacion en el lago de Tota, 2015. Disponible en: <http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/10/Flujo-Nutrientes-Tota.pdf>
- <sup>17</sup>. Vicente I, Prieto D, LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS POR HIDROCARBUROS: UN ENFOQUE PARA ABORDAR SU ESTUDIO, Rev Cubana Hig Epidemiol 1999; 37(1):13-20. Disponible en: [http://bvs.sld.cu/revistas/hie/vol37\\_1\\_99/hie03199.pdf](http://bvs.sld.cu/revistas/hie/vol37_1_99/hie03199.pdf)
- <sup>18</sup>. Velásquez J, Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación, Vol. 8, Núm. 1 (2017), Disponible en: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1846/2065>
- <sup>19</sup>. HBSNOTICIAS.COM. La explotación petrolera y sus efectos en la región de Boyacá, lo que debe saber. 2 de mayo 2017. Disponible en: <http://hsbnoticias.com/noticias/local/la-explotacion-petrolera-y-sus-efectos-en-la-region-de-boyac-300279>
- <sup>20</sup>. El espectador, ¿Hay o no hay fracking en Boyacá? Crece la polémica. 2018r. Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/hay-o-no-hay-fracking-en-boyaca-crece-la-polemica-articulo-795479>
- <sup>21</sup>. El diario, 13 junio 2018. Nuevo proyecto de explotación petrolera se avecina en Boyacá. Disponible en: <http://www.periodicoeldiario.com/2018/06/13/nuevo-proyecto-de-explotacion-petrolera-se-avecina-en-boyaca/>

<sup>22</sup>. Durana C, Análisis económico para el diseño de políticas ambientales en el Lago de Tota, Capitulo XIV, 2005. Disponible en: <http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/diagnostivo-analisis-economico-diseno-politicas-lago-tota.pdf>

<sup>23</sup>. DANE, Disponible en: <http://www.dane.gov.co/index.php/52-espanol/noticias/noticias/1471-nueva-clasificacion-de-actividades-economicas>

<sup>24</sup>. Ramírez A, Paeres M, CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL LAGO DE TOTA Y SUS PRINCIPALES TRIBUTARIOS, Pontificia Universidad Javeriana - Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Instituto de Estudios Ambientales para el Desarrollo IDEADE, Dic 2005. Disponible en: <http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/diagnostivo-caracterizacion-fisico-quimica-lago-tota.pdf>

<sup>25</sup>. I. Herrarte. Microbiología general UV. 2013. Disponible en: <https://microbiologiageneraluvq.wordpress.com/2013/08/08/microcystis-que-es-eso/>

<sup>26</sup>. EL TIEMPO. Biólogos preocupados por aparición de algas en el lago de Tota. 2009. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4819012>

<sup>27</sup>. EL HERALDO. El lago de Tota en riesgo por los fertilizantes. 2016. Disponible en: <https://www.elheraldo.co/colombia/el-lago-de-tota-esta-en-riesgo-por-culpa-de-fertilizantes-259304>

<sup>28</sup>. Abella G, Martínez C, Contribución De Un Afluente Tributario A La Eutrofización Del Lago De Tota (Boyacá, Colombia), universidad nacional de Colombia, Vol. 41, Número 2, p. 243-262, 2012. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/39372/41998>

<sup>29</sup>. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, Resolución 0837 del 2017. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/8eres%20837%20de%202017.pdf>

<sup>30</sup>. W. Adam, Jim B, Universidad Estatal de Montana Programa de Extensión en Calidad del Agua Departamento de Recursos de la Tierra y Ciencias Ambientales. Disponible en: [http://region8water.colostate.edu/PDFs/we\\_espanol/Nitrate%202012-11-15-SP.pdf](http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Nitrate%202012-11-15-SP.pdf)

<sup>31</sup>. Orduz A, Análisis Multitemporal del espejo de agua del lago de Tota ubicado en el departamento de Boyacá, para los años 1989, 2001 y 2018, Universidad Militar Nueva Granada, 2018. Disponible en: <https://geo.sofexamericas.com/resumen/2018/p7.pdf>

<sup>32</sup>. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD OMS, Guías para la calidad de agua potable, 3 edición, vol I. Disponible en: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowres.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf)

<sup>33</sup>. Espectador, Lago de Tota es premiado como uno de los mejores destinos verdes de las Américas, 7 Mar 2018. Disponible en: <https://www.elespectador.com/economia/lago-de-tota-es-premiado-como-uno-de-los-mejores-destinos-verdes-de-las-americas-articulo-743103>

<sup>34</sup>. Echarri L, Ciencias de la tierra y el medio ambiente, tema 11, contaminación del agua, Libro electrónico. Disponible en: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/100CoAcu.htm>

- <sup>35</sup>. Instituto Nacional de Salud, Manual de métodos fisicoquímicos para el análisis de aguas. 2011. Disponible en: <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2011%20Manual%20 analisis %20fisico%20quimico%20aguas.pdf>
- <sup>36</sup>. Gonzalez C, monitoreo en la calidad del agua, especialista en ambiente, servicio de extensión agrícola, Oct 2011. Disponible en: <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-859/maquaturbidez.pdf>
- <sup>37</sup>. ALCALINIDAD DEL AGUA, Disponible en: <http://alcalinidaddelagua.blogspot.com/>
- <sup>38</sup>. LEENTECH. Disponible en: <https://www.lenntech.es/por-que-es-importante-el-oxigeno-disuelto-en-el-agua.htm#ixzz5U0ul8A1r>
- <sup>39</sup>. CORTOLIMA, Calidad de aguas, Disponible en: [https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro\\_documentos/pom\\_ amoya/diagnostico/l211.pdf](https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_ amoya/diagnostico/l211.pdf)
- <sup>40</sup>. Calderón D, laboratorio de química ambiental, demanda bioquímica de oxígeno. Disponible en: [http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Indice\\_de\\_Metodos.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Indice_de_Metodos.htm)
- <sup>41</sup>. Putw P, Ingeniera de INTEREMPRESAS, eliminación y determinación de fosfatos, 2010 Disponible en: <http://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/37743- Eliminacion-y-determinacion-de-fosfato.html>
- <sup>42</sup>. AMBIENTUM, 2019. Determinacion de Cloruros Disponible en: [https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/aguas/determinacion\\_de\\_clo ruo.asp](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/determinacion_de_clo ruo.asp)
- <sup>43</sup>. Universidad UPTC, Corpoboyaca, Efecto de variabilidad climatica de un ciclo anual sobre el flujo de nutrientes (C,N y F) fuentes y biocaptacion en el lago de Tota, 2015. Disponible en: <http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/10/Flujo- Nutrientes-Tota.pdf>
- <sup>44</sup>. IDEAM, Guía para el monitoreo y seguimiento del agua, Disponible en: <https://FMfcgqxwBWBHGsFZBNcRdDbzVDKcBVKr?projector=1&messagePartId=0>.
- <sup>45</sup>. Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR) de EE.UU. Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/es/>
- <sup>46</sup>. EL TIEMPO, ecopetrol, 2019. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/economia/empresas/venta-de-acciones-de-ecopetrol-ira-a- inversion-en-otros-sectores-315918>
- <sup>47</sup>. Cárdenas C, Soto L, Perdomo T, Silva J, Estado trófico de lagos en Colombia, Universidad ECCI, 2015. Disponible en: <https://prezi.com/7svopdvuqhke/estado- trofico-de-los-lagos-en-colombia/>
- <sup>48</sup>. El Tiempo, La Laguna de Fúquene está muriendo, 2001. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-447561>
- <sup>49</sup>. OBSERVATORIO DE LA NASA, Disponible en: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/44677/aquatic-dead-zones>

<sup>50</sup>. THE NATURE CONSERVANCY. Disponible en: [https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/photos/beyondthesource\\_execsummary\\_spanish.pdf](https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/photos/beyondthesource_execsummary_spanish.pdf)

<sup>51</sup>. ICA, Instituto Colombiano Agropecuario, Producción de plaguicidas químicos por tipo de control o uso. Disponible en: <https://www.ica.gov.co/getdoc/1908eb2c-254f-44de-8e21-c322cc2a7e91/Estadisticas.aspx>

<sup>52</sup>. Velásquez J, Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación, Vol. 8, Núm. 1 (2017), Disponible en: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1846/2065>

<sup>53</sup>. Muñoz L, Riaño N, Duque S, Universidad de Costa Rica, Morfología funcional del fitoplancton en un lago tropical de alta montaña: Lago Tota (Boyacá-Colombia) Vol. 65, núm. 2 (2017). Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/23903>

<sup>54</sup>. Ricaurte P. Plan de ordenación y manejo de la cuenca de Tota. Gestión ambiental PUJ CORPOBOYACA. 2005 Dic. [Consultado 2018 feb 5]. Disponible en: <http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/diagnostivo-problematika-ambiental-lago-tota.pdf>

<sup>55</sup>. Wallace A. El lago de tota, el más contaminado del mundo, ahora amenazado por el petróleo. Semana medio ambiente.2012 Ago.[Internet]. Disponible en: <http://www.semana.com/vida-moderna/articulo/el-lago-tota-mas-contaminado-del-mundo-ahora-amenazado-petroleo/263086-3>

<sup>56</sup>. En riesgo el lago de tota, el más grande de Colombia ubicado en Boyacá. Caracol radio. 2017[Internet]. Disponible en: [http://caracol.com.co/emisora/2017/03/22/tunja/1490188330\\_107978.html](http://caracol.com.co/emisora/2017/03/22/tunja/1490188330_107978.html)

<sup>57</sup>. Unimedios. Agencia de noticias universidad nacional. Actividad agrícola afecta aguas del lago de tota. 2014 nov. [Internet]. Disponible en: <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/actividad-agricola-afecta-aguas-del-lago-de-tota.html>

<sup>58</sup>. El tiempo, Tota es un paraíso amenazado. Redacción el tiempo 1990 sep. [Internet]. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-57490>

<sup>59</sup>. Noticias caracol. Aguas residuales y uso de agroquímicos también están afectando la salud del lago de Tota. 2018 feb.[Internet]. Disponible en: <https://noticias.caracoltv.com/colombia/aguas-residuales-y-uso-de-agroquimicos-tambien-estan-afectando-la-salud-del-lago-de-tota>

<sup>60</sup>. En Corpoboyaca aseguraron que el uso de agua del Lago de Tota es ilegal, 25 Ene 2010, Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-7037507>

<sup>61</sup>. Restringen uso del agua del lago de tota a empresa siderúrgica, 4 Jun 2104, Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/restringen-uso-de-agua-del-lago-de-tota-empresa-siderur-articulo-496377>

<sup>62</sup>. CORPOBOYACA, Implementación Tasas Retributivas Por Vertimientos Puntuales Determinación De La Meta Global De Descontaminación, Nov 2009,



Disponible en:

[http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wpcontent/uploads/2016/08/INFOME\\_EJECUTIVO1212.pdf](http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wpcontent/uploads/2016/08/INFOME_EJECUTIVO1212.pdf)

<sup>63.</sup> Chaparro J, Cambios Institucionales para preservar la cantidad y la calidad del agua en la cuenca del lago de Tota. Universidad Javeriana, 2013, 1-128, Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/15002/ChaparroValderramaJairo2013.pdf?sequence=1>

<sup>64.</sup> Asiste al freedom, Dic 26, 2012 La exploración de la petrolera francesa Maurel & Prom en la laguna más grande del país tiene con los pelos de punta a campesinos y ambientalistas. Disponible en: <http://medellinstyle.com/nueva-joya-explotacion-petrolera-laguna-tota.htm>

<sup>65.</sup> Torres C, Plan de desarrollo municipal “por el bienestar y desarrollo de Aquitania” 2012- 2015. Disponible en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%2520PDF/aquitaniaboyac%25C3%25A1pd20122015.pdf>

<sup>66.</sup> Piraneque G, Aguirre F, Evolución del contenido de elementos nutrientes en suelos cultivados con cebolla de bulbo, Vol. 56, p. 37-42, 2007. Disponible en: [https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/567/1082](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/567/1082)

<sup>67.</sup> Aranguren N, Shurin J, Lopez R, Las fuentes de nutrientes detrás reciente eutrofización del Lago de Tota, un lago de alta montaña andina, 6 Agos 2018. Disponible en: <file:///C:/Users/ASUS/Desktop/TESIS/Arangurenetal2018AquaticSciences.en.es.pdf>

<sup>68.</sup> El espectador. 2012 ene. Salvar el lago de Tota.[Internet]. Disponible en: <https://www.elespectador.com/opinion/editorial/salvar-el-lago-de-tota-articulo-319256>

<sup>69.</sup> Blogger. Contaminación en el lago de Tota. 2015 sep.[Internet]. Disponible en: <http://contaminacionlagunatota.blogspot.com.co/>

<sup>70.</sup> EL TIEMPO, El lago de Tota, 2010. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-7867144>

<sup>71.</sup> Revista de toxicología, Efectos tóxicos producidos por las microcistinas en peces, España. Disponible en: [file:///C:/Users/ASUS/Downloads/art%20redalyc\\_91925304.pdf](file:///C:/Users/ASUS/Downloads/art%20redalyc_91925304.pdf)

<sup>72.</sup> Chourus I, Riesgos a la salud causados por cianobacterias y algas de agua dulce en aguas recreacionales. Berlín. Disponible en: [https://www.academia.edu/20561849/Riesgos\\_a\\_la\\_salud\\_causados\\_por\\_cianobacterias\\_y\\_algas\\_de\\_agua\\_dulce\\_en\\_aguas\\_recreacionales](https://www.academia.edu/20561849/Riesgos_a_la_salud_causados_por_cianobacterias_y_algas_de_agua_dulce_en_aguas_recreacionales)

<sup>73.</sup> EL TIEMPO, evitar desabastecimiento en Bogotá, Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15394615>