

**Análisis Socio-ecológico en Relación con el Cambio Climático para la Laguna de
Tota, Aquitania, Boyacá**

Nidia Edith Moncada Chávez

Proyecto aplicado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniera Ambiental

Directora:

Jessica Paola Páez Pedraza

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Bogotá, Colombia

2023

Agradecimientos

Al finalizar este trabajo de grado, es de suma importancia para mí expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que me brindaron su incondicional apoyo durante cada etapa de mi formación profesional. En primer lugar, quiero reconocer a Dios, quien me dio fuerzas cada día y nunca permitió que perdiera la fe en mí misma y en este proceso.

Un agradecimiento especial va dirigido a mi tutora, Jessica Páez Pedraza, quien estuvo siempre dispuesta a brindarme orientación clara y precisa sobre la metodología, estructura y presentación de esta tesis. Su guía fue fundamental para enfocar mi trabajo y alcanzar los objetivos propuestos.

También quiero extender mi gratitud a la Universidad y a todos los profesores que contribuyeron con sus conocimientos, consejos, sugerencias, retroalimentaciones y aportes con los cuales fue posible embarcarme en este maravilloso proceso de formación. Los conocimientos adquiridos y las experiencias vividas durante mi paso por la institución han sido invaluable para mi crecimiento académico y personal.

A mi familia, en especial a mi esposo y mi hija, les agradezco de corazón por su apoyo constante y aliento en los momentos en que la confianza flaqueaba. Su respaldo fue fundamental para mantenerme motivada y seguir adelante ante cualquier adversidad.

Un reconocimiento especial va para mi madre, quien siempre ha sido una luz guía en mi vida. Sus palabras de aliento y su inquebrantable fe en mí han sido un impulso para superar obstáculos y alcanzar metas. Dedico este logro a ella, como un tributo a su amor y dedicación.

Tabla de Contenido

Agradecimientos	2
Tabla de Contenido	3
Tabla de Figuras.....	10
Lista de Tablas	12
Resumen.....	13
Abstract	15
Introducción	17
Planteamiento del Problema	19
Justificación	21
Objetivos	22
Objetivo General:.....	22
Objetivos Específicos:	22
Marco Teórico.....	23
Escenarios del Cambio Climático.....	27
Impactos del Cambio Climático en los Ecosistemas Globales	27
Cambio Climático por Actividades Socioeconómicas.....	28
Cambio Climático en Sistemas Lénticos	29
Cambio Climático en la Laguna de Tota	30
Estrategias de Adaptación al Cambio Climático	31
Caso de Estudio.....	33
Metodología	34
Caracterización General de la Laguna de Tota	35

Revisión Bibliográfica	35
Selección de Variables del Sistema Socio-ecológico	36
Caracterización de Variables del Sistema Socio-ecológico	37
Análisis del Sistema Socio-ecológico	39
Caracterización de los Sistemas Socio-ecológicos	39
Caracterización de los Conflictos Socio-ecológicos	41
Resultados	42
Sistemas de Recursos	45
Límites de la Laguna de Tota.....	45
Ubicación Geográfica de la Laguna de Tota.	45
Descripción Geográfica de la Laguna de Tota.	46
Infraestructuras Existentes que Interactúan con la Laguna de Tota.....	46
Características Bióticas de la Laguna de Tota	50
Especies de Plantas Acuáticas y su Estado de Conservación	50
Especies de Peces, Reptiles y Aves Acuáticas y su Estado de Conservación.	54
Características Físicas de la Laguna de Tota	58
Características de Almacenamiento	58
Profundidad y Capacidad de la Laguna de Tota.	58
Cuencas y Subcuencas que Alimentan la Laguna de Tota.	58
Calidad del Agua	59
Estructura y Composición del Suelo en los Alrededores de la Laguna	61
Capa Superficial.....	61
Capa de Transición.....	61

Capa Freática	61
Características Socioeconómicas de la Laguna de Tota	62
Actividades Productivas	62
Agricultura.....	62
Cebolla Larga.....	62
Papa de Año y Papa Criolla.....	63
Haba	64
Arveja.....	64
Piscicultura o Acuicultura.....	64
Ganadería.....	64
Ganadería Bovina.....	65
Ganadería Ovina.....	65
Actividades Adicionales.....	65
Población Local por Edad.....	65
Municipio de Aquitania.....	65
Municipio de Tota	66
Municipio de Cuitiva	67
Municipio de Sogamoso.....	67
Desarrollo Socioeconómico.....	68
Sistemas de Gobernanza	70
Actores	70
Municipios que Interactúan con la Laguna de Tota	70
Aquitania.....	70

Municipio de Tota.	71
Municipio de Cuitiva.	72
Municipio de Sogamoso.	73
Unidades de Recursos Laguna de Tota.....	77
Circulación del Agua de la Laguna de Tota	77
Tasa de Crecimiento o Reemplazo del Agua de la Laguna de Tota.....	80
Nivel y Volumen de la Laguna de Tota.	80
Aumento en los Stocks.....	81
Precipitación.	81
Entradas.....	81
Disminución en el Stock.....	81
Evaporación.	81
Evapotranspiración.	82
Extracción de Agua.	82
Oferta de Agua.	83
Uso Final de Agua.....	84
Valor Económico de la Laguna de Tota.	85
Coberturas del Suelo en la Laguna de Tota.....	86
Patrones Climáticos.	88
Aspectos Sociales.....	96
Actividades Socioculturales.....	96
Acceso a la Laguna de Tota.	96
Conservación.....	98

Responsabilidad Social.....	99
Educación Ambiental.....	100
Participación Comunitaria.....	101
Situaciones de Acción.....	104
Contaminación de la Laguna por Actividades Productivas.....	104
Cultivos Agrícolas.....	104
Piscicultura o Acuicultura.....	105
Ganadería Bovina.....	105
Actividades Adicionales.....	105
Interacciones.....	107
Actividades de Inversión.....	108
Actividades de Supervisión.....	108
Actividades Evaluativas.....	108
Análisis Socio-ecológico.....	109
Conflictos Socio-ecológicos de la Laguna de Tota.....	109
Conflictos por el Uso de los Recursos Naturales.....	109
Pesca Indiscriminada.....	109
Contaminación del Agua.....	109
Deforestación.....	109
Turismo no Sostenible.....	109
Conflictos de Interés Entre los Actores.....	110
Agricultores vs. Pescadores.....	110
Comunidades Locales vs. Industrias.....	110

Turismo vs. Conservación.....	110
Gobierno vs. Comunidades Locales.	110
Conflictos por la Degradación del Ecosistema.	111
Contaminación del Agua.....	111
Eutrofización.....	111
Pérdida de Biodiversidad.	111
Impacto en las Comunidades Locales.....	111
Factores de Vulnerabilidad Relacionados con el Cambio Climático en la Laguna de Tota	112
Incremento de la Temperatura Media.	112
Ecosistemas Acuáticos.....	112
Caudal de Ríos y Arroyos.	112
Pérdida de Hábitats Terrestres.....	112
Aumento en los Riesgos de Incendios Forestales.	113
Cambios en los Patrones de Precipitación.	113
Escasez de Agua.....	113
Sequías Prolongadas.	113
Alteración de los Ciclos Naturales.....	113
Aumento de Eventos Extremos.....	114
Inundaciones.	114
Sequías.....	114
Deslizamientos de Tierra.....	114
Impacto en la Biodiversidad.	115
Acidificación del Agua.	115

Aumento de la Concentración de CO2.	115
Impacto en los Organismos Acuáticos.	115
Desajustes en la Cadena Alimentaria.	115
Disminución de la Biodiversidad.	116
Efectos Negativos del Cambio Climático Sobre la Laguna de Tota.	116
Factores que Intervienen en la Calidad del Agua.	116
Afectaciones del Cambio Climático Sobre los Factores del Agua de la Laguna.	118
Conclusiones.	124
Recomendaciones.	126
Bibliografía.	128

Tabla de Figuras

Figura 1. <i>Variables de un sistema Socio-ecológico.</i>	37
Figura 2. <i>Mapa ubicación geográfica.</i>	45
Figura 3. <i>Densidad de fitoplancton año 2005.</i>	53
Figura 4. <i>Población por grupo de edad, Municipio de Aquitania Boyacá.</i>	66
Figura 5. <i>Población por grupo de edad, Municipio de Tota Boyacá.</i>	66
Figura 6. <i>Población por grupo de edad, Municipio de Cuitiva Boyacá.</i>	67
Figura 7. <i>Población por grupo de edad, Municipio de Sogamoso Boyacá.</i>	68
Figura 8. <i>División política del municipio de Aquitania Boyacá.</i>	71
Figura 9. <i>División política del municipio de Tota Boyacá.</i>	72
Figura 10. <i>División política del municipio de Cuitiva Boyacá.</i>	73
Figura 11. <i>División política del municipio de Sogamoso Boyacá.</i>	74
Figura 12. <i>Cobertura del suelo año 2015.</i>	86
Figura 13. <i>Cobertura del suelo año 2016.</i>	87
Figura 14. <i>Cobertura del suelo año 2017.</i>	87
Figura 15. <i>Cobertura del suelo año 2018.</i>	88
Figura 16. <i>Cobertura del suelo año 2019.</i>	88
Figura 17. <i>Consolidado Precipitaciones promedio anual Municipio de Aquitania Boyacá</i>	91
Figura 18. <i>Consolidado Precipitaciones promedio anual Municipio de Cuitiva Boyacá.</i>	92
Figura 19. <i>Consolidado Precipitaciones promedio anual Municipio de Sogamoso Boyacá</i>	92
Figura 20. <i>Consolidado Evaporación promedio anual Estación Aquitania - AUT 35095120.</i> ..	93
Figura 21. <i>Temperatura máxima y mínima media anual, Cuitiva Boyacá.</i>	94
Figura 22. <i>Temperatura máxima y mínima media anual, Sogamoso Boyacá</i>	94

Figura 23. <i>Humedad relativa mínima, media y máxima, Cuitiva Boyacá.</i>	95
Figura 24. <i>Humedad relativa mínima, media y máxima, Sogamoso Boyacá.</i>	96
Figura 25. <i>Distribución de áreas productivas en la laguna</i>	106
Figura 26. <i>Análisis socio-ecológico en relación con el cambio climático para la laguna de Tota Boyacá</i>	123

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Caracterización de variables socio-ecológicas</i>	38
Tabla 2. <i>Variables del Sistema Socio-ecológico</i>	42
Tabla 3. <i>Relación de las infraestructuras existentes</i>	46
Tabla 4. <i>Plantas acuáticas presentes en la laguna</i>	50
Tabla 5. <i>Género, Número y porcentaje de los grupos de algas presentes en la laguna</i>	52
Tabla 6. <i>Especies bióticas que habitan en la laguna</i>	54
Tabla 7. <i>Relación hidrográfica</i>	58
Tabla 8. <i>Variables de la calidad del agua</i>	60
Tabla 9. <i>Aspectos para la medición del desarrollo socio-ecológico</i>	69
Tabla 10. <i>Actores que intervienen en la laguna</i>	75
Tabla 11. <i>Uso del agua extraída, agua superficial y agua del suelo 2010 – 2013 (hm³)</i>	83
Tabla 12. <i>Retorno del agua por actividad económica 2010 – 2013 (hm³)</i>	84
Tabla 13. <i>Uso final del agua por tipo de actividad económica 2010 - 2013 (hm³)</i>	84
Tabla 14. <i>Indicadores Hídricos Laguna de Tota 2022</i>	85
Tabla 15. <i>Estaciones Pluviométricas, hidrológicas y Climatológicas cercanas</i>	90
Tabla 16. <i>Distribución espacial y temporal de la laguna de Tota</i>	103
Tabla 17. <i>Problemáticas ambientales causadas por las actividades productivas</i>	107
Tabla 18. <i>Importancia de los factores que intervienen en la calidad del agua</i>	117
Tabla 19. <i>Afectación de la calidad del agua por los efectos negativos del cambio climático</i> .	118

Resumen

Esta investigación se enfoca en el análisis de la interacción entre el cambio climático y la laguna de Tota. Se reconocen las modificaciones fisicoquímicas del agua y su entorno, las cuales tienen implicaciones significativas a largo plazo en múltiples dimensiones: ecológica, social, cultural, económica y ambiental. Para abordar esta compleja relación, es esencial estudiar las interacciones socio-ecológicas presentes en la laguna. En este sentido, se lleva a cabo la caracterización que engloba aspectos físicos, bióticos y socioeconómicos del área.

La metodología adoptada se basa en el artículo de McGinnis y Ostrom (2014), “Marco del sistema socio-ecológico: cambios iniciales y continuos”, en el cual se presenta un marco que permite analizar, comparar y diagnosticar los sistemas socio-ecológicos y sus interacciones. En esta investigación, se aplican estos principios para comprender cómo el sistema socioeconómico y el ecosistema de la laguna se encuentran influenciados por los efectos del cambio climático. Se reconoce la importancia de estudiar los conflictos surgidos por el consumo humano, las actividades productivas y la distribución de recursos en la región.

Los resultados obtenidos durante el análisis socio-ecológico permitieron comprender la forma en la que se relacionan los actores, los sistemas de recursos, los sistemas de gobernanza, las actividades socioeconómicas, y los sistemas socio-ecológicos, al igual que las interacciones generan grandes afectaciones a la laguna y a los ecosistemas que habitan en ella. De este modo es posible obtener información que permita la implementación de una adecuada gestión que sea sostenible para la laguna de Tota y sus comunidades locales, (Rodríguez R. K. et al., 2021)

Estos resultados permiten la identificación de medidas concretas de adaptación y mitigación, con el objetivo de asegurar tanto la sostenibilidad del ecosistema y el bienestar de las comunidades locales que dependen de él. Además, la información recopilada se convierte en un recurso

valioso para la toma de decisiones y la formulación de políticas pertinentes. El entendimiento profundo de los desafíos socio-ecológicos relacionados con el cambio climático en la Laguna de Tota permite abordar eficazmente estas problemáticas y encaminar acciones hacia un futuro más resiliente y equilibrado, (Rodríguez R. K. et al., 2021).

Palabras clave: Cambio climático, evaluación de vulnerabilidad, servicios ecosistémicos, lagos y lagunas, sistemas lenticos.

Abstract

This research focuses on analyzing the interaction between climate change and Lake Tota. It recognizes the physicochemical alterations of the water and its surroundings, which have significant long-term implications across multiple dimensions: ecological, social, cultural, economic, and environmental. To address this intricate relationship, it is essential to study the socio-ecological interactions present in the lake. In this regard, a comprehensive characterization is carried out, encompassing physical, biotic, and socioeconomic aspects of the area.

The adopted methodology is based on the article by McGinnis and Ostrom (2014), "Framework of the Socioecological System: Initial Changes and Continuous Changes," which presents a framework for analyzing, comparing, and diagnosing socio-ecological systems and their interactions. In this research, these principles are applied to understand how the socio-economic system and the lake's ecosystem are influenced by the effects of climate change. Recognizing the importance of studying conflicts arising from human consumption, productive activities, and resource distribution in the region is crucial.

The results obtained during the socio-ecological analysis provided insights into the relationships between actors, resource systems, governance systems, socio-economic activities, and socio-ecological systems, as well as the interactions that have significant impacts on the lake and the ecosystems residing within it. Thus, it is possible to gather information that facilitates the implementation of sustainable management for Lake Tota and its local communities, (Rodríguez R. K. et al., 2021).

These results allow for the identification of specific adaptation and mitigation measures, with the aim of ensuring the sustainability of the ecosystem and the well-being of the local communities dependent on it. Additionally, the collected information becomes a valuable resource for

decision-making and the formulation of relevant policies. A deep understanding of the socio-ecological challenges related to climate change in Lake Tota enables effective addressing of these issues and guides actions toward a more resilient and balanced future, (Rodríguez R. K. et al., 2021).

Keywords: Climate change, vulnerability assessment, ecosystem services, lakes and lagoons, lentic systems.

Introducción

El efecto invernadero, originado por la presencia natural de gases como el CO₂, óxido nitroso, metano y vapor de agua en la atmósfera terrestre, regula la temperatura planetaria y sustenta la vida de diversas especies y ecosistemas. Sin embargo, las actividades humanas han intensificado este efecto, conduciendo al cambio climático global. Este fenómeno se caracteriza por un aumento significativo de procesos generados por la interacción de gases contaminantes como CO₂, metano, óxido nitroso, clorofluorocarbonos y vapor de agua en la atmósfera, lo que eleva los niveles de estos gases y replica los efectos invernadero. Estas interacciones provocan un incremento de temperaturas que afectan directamente al clima, la temperatura ambiente y perturban el ciclo hidrológico, generando inestabilidad en los ámbitos ambientales, sociales, culturales y económicos, (National geographic, 2023).

La intervención humana en actividades como la agricultura, la ganadería y los procesos extractivos de combustibles fósiles causa un aumento en las cargas de óxido nitroso, metano y dióxido de carbono, lo que provoca el cambio climático, (Franco-Vidal, L., et al., 2015). Esto tiene un impacto negativo en la sociedad, la economía y el medio ambiente, incluyendo la disminución de alimentos, la pérdida de cosechas, altos costos de alimentos, incendios forestales, la disminución de los recursos naturales, eventos climáticos extremos y la afectación de las fuentes hídricas. Esto incluye las lagunas, las cuales ofrecen una variedad de beneficios ecosistémicos para los seres humanos.

El agua desempeña un papel fundamental en la conservación de los ecosistemas, siendo uno de los recursos más invaluable en nuestro planeta, satisface las necesidades humanas y hace parte del desarrollo económico de las comunidades. Sin embargo, este recurso se ha visto muy afectado por problemas de contaminación, los cuales son generados por actividades humanas

como la agricultura, la ganadería, actividades piscícolas, actividades industriales y domésticas principalmente, (WAWES, 2016).

Actualmente, se ha evidenciado un nuevo factor que amenaza con la integridad del agua albergada en los sistemas lenticos, estos efectos se presentan por las modificaciones generadas por el cambio climático, las cuales repercuten negativamente en las interacciones socio-ecológicas y propiedades fisicoquímicas de estos cuerpos de agua y los ecosistemas que los conforman, (UNESCO, 2020).

Planteamiento del Problema

El cambio climático representa una preocupación global en la actualidad, no solo está transformando los patrones climáticos a nivel mundial, sino que también está generando graves repercusiones en los cuerpos de agua, con impactos significativos desde una perspectiva socio-ecológica, (Franco-Vidal, L., et al., 2012). Un caso que ilustra esta problemática es la laguna de Tota, un ecosistema acuático de gran relevancia, que muestra una clara vulnerabilidad en cuanto a la calidad y disponibilidad del agua, la supervivencia de especies endémicas, aumento de los blooms de cianobacterias tóxicas y la colmatación durante la temporada invernal, (Salomón. S., et al., 2020).

Además, la disminución en la capacidad de almacenamiento en los bofedales genera un aumento en las emisiones de dióxido de carbono y afecta el ciclo hidrológico y las cargas de sedimentos (Rocha, 2021). Esto a su vez conduce a la disminución de oxígeno y al aumento de la salinidad de la laguna.

Otra consecuencia preocupante del cambio climático en la laguna de Tota es la afectación del régimen normal del agua en temporadas secas, lo que podría provocar el secado de la laguna por déficit de agua y la reducción de la superficie acuática, (Pérez, A., Macias, J., 2005).

Todos estos cambios no solo tienen un impacto ecológico en la laguna, sino que también afectan la economía y la vida de las personas que viven en la comunidad. Por esta razón, es necesario tomar medidas urgentes para combatir los efectos del cambio climático en la laguna de Tota.

Adicionalmente se presentarían afectaciones en cuanto al aumento en la demanda, disponibilidad y suministro de agua, la presencia de cultivos ilegales, cambios en el uso de los

suelos, aumento en la temperatura del agua, aumento de la contaminación, cambios en las precipitaciones y los patrones climáticos, (Conpes 3801. 2014).

En resumen, es posible evidenciar que la laguna enfrenta una serie de desafíos que resultan de la alteración en la calidad y disponibilidad del agua, generando una amenaza a especies endémicas y el aumento de cianobacterias tóxicas. Además, el cambio climático provoca cambios en los bofedales y en la disminución del agua durante las temporadas secas, impactando las emisiones de dióxido de carbono, el ciclo hidrológico, secado de la laguna, reducción de la superficie y la salinidad. Estos efectos no solo repercuten en la ecología de la laguna, sino también en la economía y la vida de la comunidad local, (Peña, J. G. 2020).

Justificación

Esta investigación presenta una gran importancia, ya que permite comprender la vulnerabilidad de la laguna de Tota frente al cambio climático, a través de la identificación y estudio de sus atributos bióticos, geomorfológicos, hidrológicos y sociales. Asimismo, se analiza el balance hídrico, así como la interacción que presenta la laguna con la fauna, la flora y los servicios socio-ecológicos que la componen. Aumentando el grado de importancia, ya que estos factores afectan de modo directo las posibles alteraciones que puede experimentar la laguna debido a las variaciones generadas por el cambio climático.

De igual forma es indispensable realizar la identificación de los servicios socio-ecológicos que brinda la laguna, ya que no solo alberga una gran variedad de fauna y flora, sino que también es una de las principales fuentes de abastecimiento de agua potable para las comunidades y las diferentes actividades agrícolas, pecuarias y turísticas.

Objetivos

Objetivo General:

Analizar las interacciones socio-ecológicas de la laguna de Tota y su relación con el cambio climático.

Objetivos Específicos:

Caracterizar física, biótica y socioeconómicamente la Laguna de Tota

Identificar los actores y conflictos socio-ecológicos de la Laguna de Tota

Analizar los factores de vulnerabilidad de la Laguna de Tota relacionados con el cambio climático

Marco Teórico

La Laguna de Tota representa una compleja trama de interacciones entre los ecosistemas lenticos y los sistemas socio-ecológicos circundantes. Esta interconexión se ve aún más influenciada por los efectos del cambio climático, que engrandecen los desafíos y tensiones que surgen de manera enredada. En este contexto, el análisis de los conflictos socio-ecológicos se vuelve esencial para comprender las dinámicas en juego y crear soluciones resilientes y sostenibles. De acuerdo con Fernández, J. L. (2012), los ecosistemas acuáticos naturales de agua dulce incluyen los ecosistemas lénticos, que son cuerpos de agua cerrados y estancados que presentan las siguientes características.

Sistemas lenticos

Los cuerpos de agua lenticos representan ecosistemas acuáticos esenciales en la geografía terrestre, desempeñando un papel crucial en la regulación del ciclo hidrológico, la biodiversidad y el bienestar humano. Dentro de las características más relevantes en cuanto a distribución y variaciones de profundidad se encuentra:

- Zona litoral: En ella se encuentra la mayor cantidad de especies tanto de flora como de fauna, ya que pueden aprovechar de una gran variedad de nutrientes y de oxígeno, por ser esta zona poco profunda y tener contacto con la región terrestre.
- Zona limnética: En esta zona se encuentran la mayor concentración de peces, por estar ubicada en el centro del cuerpo de agua.
- Zona profunda: En esta zona disminuye la presencia de seres vivos, solo permanecen algunas especies de moluscos y peces, debido a que cuenta con la presencia de poca luz solar y sedimentos que se van depositando en el fondo.

Pero es posible que estas zonas varíen en relación con los diferentes tipos de ecosistemas lénticos, de acuerdo con la profundidad y las dimensiones que posea, en este orden podemos decir que los ecosistemas lenticos se dividen en:

- Lagos y lagunas: Son los cuerpos de agua más importantes, ya que hacen parte de los ecosistemas medianos-grandes con profundidades de hasta 2.000 metros, albergando una importante cantidad de agua.
- Humedales y pantanos: Estos cuerpos de agua cuentan con poca profundidad, lo que los convierte en ecosistemas adecuados para albergar una gran variedad de anfibios, reptiles y especies vegetales.
- Estanques: Este tipo de ecosistemas se caracteriza por ser sistemas artificiales, es decir fueron creados con la intervención humana, no cuentan con grandes extensiones ni profundidades, su principal función es la de albergar agua para fines domésticos.
- Charcos: Estos cuerpos de agua cubren pequeñas extensiones de tierra, y se utilizan principalmente para el consumo de animales que estén en contacto con ellas.
- Esteros: Son cuerpos de agua estancadas en áreas cercanas a ríos o lagunas, ya que su formación se produce por el desbordamiento de éstas, durante la temporada invernal o fuertes precipitaciones.

De este modo la Laguna de Tota hace parte de los cuerpos de agua lenticos, ya que es una masa de agua relativamente tranquila, sin un flujo constante, también conocida como cuenca endorreica ya que no presenta salida del agua hacia el mar. Su formación se generó por medio de procesos geológicos que le otorgaron una gran extensión, de igual forma presenta conexiones limitada con otros cuerpos de agua, contribuyendo a su naturaleza lenticular, (Fernández, 2020).

Por otra parte la laguna de Tota se caracteriza por ser el tercer cuerpo de agua más grande de Latinoamérica según estudio realizado por ENA (2014), convirtiéndola en una importante reserva de agua dulce, con una abundante variedad de flora, fauna y especies endémicas, lo que le otorga un alto valor ecológico y económico para las comunidades que se benefician de los servicios socio-ecológicos, teniendo en cuenta que de ella se abastecen de agua potable para consumo, riego de cultivos, actividades piscícolas, turísticas y culturales, las cuales contribuyen con el deterioro de la laguna.

Cambio climático

Existe una estrecha conexión entre el clima y el ciclo hidrológico, y esta interrelación puede tener repercusiones significativas en la laguna. La variabilidad climática desencadena una serie de impactos que, en última instancia, contribuyen al fenómeno del cambio climático (Peña, 2020). Estos factores combinados representan una influencia directa en el estado y la salud de la laguna, generando un escenario de transformaciones y desafíos que merecen una atención detallada.

Por otra parte, el término "cambio climático" es la variación del estado del clima identificable en las modificaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persisten durante largos periodos de tiempo según Peña (2020), refiriéndose al incremento de la temperatura media de la superficie terrestre, el cual es ocasionado por el aumento de los niveles de los gases de efecto invernadero. Estos gases, entre los que destacan el dióxido de carbono (CO₂), el vapor de agua, el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y el clorofluorocarbono (CFC), interactúan dentro de la atmósfera de la Tierra generando un efecto de bloqueo y retención de una fracción del calor emitido por el sol. Esta energía es absorbida y transformada

mediante complejos movimientos moleculares que provocan el aumento de la temperatura, así como la modificación de los componentes del sistema climático.

En términos generales, el cambio climático es uno de los mayores desafíos ambientales a nivel mundial y tiene implicaciones importantes en la salud y el bienestar de la población según Amaya (2019) y DCCD UAM (2012). La Tierra ha experimentado procesos antropogénicos, los cuales han generado modificaciones en el clima de forma natural a lo largo del tiempo. Sin embargo, en la actualidad, se ha percibido un aumento significativo de estos procesos en un lapso muy corto. Si realizamos una evaluación a través del tiempo y analizamos el momento en que se empezó a acelerar el cambio climático, podemos relacionarlo con el inicio de la revolución industrial. Durante esta época, muchas de las actividades humanas se transformaron y enfocaron en la interacción con maquinarias que debían ser operadas mediante el uso de diferentes fuentes de energía, para la elaboración de productos y artículos que pudieran mejorar las condiciones de vida de las personas.

No obstante, para la obtención de esta energía se requirió la extracción de combustibles fósiles, lo que ha provocado no solo un deterioro del medio ambiente, sino también la liberación de gases tóxicos durante su combustión. Gases como dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxido de nitrógeno (NO_x), óxido nitroso (N_2O), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2) y compuestos orgánicos volátiles (COVs) entre otros, pueden alterar las condiciones propias de la atmósfera y contribuyen al aumento del efecto invernadero, uno de los principales causantes del cambio climático, (Nunez, C., 2019).

Teniendo en cuenta que el cambio climático genera transformaciones significativas en el entorno natural y socioeconómico, es importante comprender las siguientes variables que presentan un alto grado de afectación bajo la influencia del cambio climático.

Escenarios del Cambio Climático

Actualmente, se han identificado los posibles escenarios del cambio climático. Estos escenarios tienen como objetivo identificar los riesgos y tomar decisiones en conjunto con los actores privados, públicos y las comunidades. Por medio de herramientas científicas se pueden aplicar acciones concretas que permitan mejorar el uso de los territorios y los recursos naturales, (Franco-Vidal, L., et al., 2012).

En Colombia, los escenarios de riesgo se basan en un modelo climático regional (PRECIS) y tienen en cuenta los escenarios de concentración de dióxido de carbono equivalente del Second Report on Emission Scenarios IPCC (2000). Según un estudio realizado por Pabón (2012), se prevé que el porcentaje de dióxido de carbono se duplique durante la segunda mitad del siglo XXI.

De este modo, el incremento regional de la temperatura del aire será entre 0 y 2.5°C, con una probabilidad más acertada del 0.5 y 1.5°C. En cuanto al nivel anual del volumen de precipitación, se estima que será entre -10 y 10%. Además, se prevé un ascenso del nivel del mar entre 40cm en el Caribe y 60cm en el Pacífico, (Pabón, 2012).

Igualmente, el calentamiento podría estar entre 2 y 4°C, en relación con las temperaturas presentadas durante el periodo 1961-1990. Sin embargo, en algunas regiones podría superar los 4°C. En cuanto a las lluvias, se generaría una reducción en la precipitación anual en las regiones Caribe e Interandina, y en la cordillera Oriental se prevé una reducción superior al 30%, mientras que para la región Pacífica se presentarían aumentos en las lluvias, (Pabón, 2012).

Impactos del Cambio Climático en los Ecosistemas Globales

Entre los efectos más relevantes se encuentran el aumento de la temperatura global, el derretimiento de los glaciares y nieve, el aumento del nivel del mar y la alteración de los

patrones climáticos, incluyendo la frecuencia e intensidad de fenómenos como sequías, inundaciones y tormentas (Fernández, 2012).

Asimismo, los impactos del cambio climático presentan una gran alteración a nivel mundial de todos los ecosistemas, afecta el acceso al agua y a los alimentos, generando un deterioro en la calidad de vida en general El Planeta Z (2021), dentro de los impactos más relevantes es posible evidenciar:

- La degradación del suelo por las variaciones climáticas, las cuales disminuyen su fertilidad y afectan la interacción de la flora y la fauna.
- Presencia de salinidad del agua.
- Derretimiento de los polos, interfiriendo directamente con el incremento del nivel del mar, la pérdida del hábitat de algunas especies y la alteración del sistema de las corrientes de agua.
- Presencia de fenómenos naturales extremos.
- Acidificación de los océanos afectando la supervivencia de muchas especies marinas principalmente los arrecifes de coral.

Cambio Climático por Actividades Socioeconómicas

Otras de las causas que contribuyen con el aumento del cambio climático son generadas por las actividades humanas relacionadas con la tala de bosques y sobreexplotación de las selvas, actividades agrícolas y ganaderas intensivas, la quema de combustibles fósiles (Fernández, 2012) y (La agricultura y el cambio climático, 2015).

La tala y sobreexplotación de bosques y selvas resultan en tres impactos significativos. Primero, se libera el carbono almacenado en los árboles, contribuyendo a aumentar las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera. En segundo lugar, la quema de

vegetación emite dióxido de carbono adicional. Finalmente, la falta de árboles impide la transformación eficiente de dióxido de carbono en oxígeno a través de la fotosíntesis y resulta en su acumulación. Además, las actividades agrícolas emiten óxido nitroso debido al uso de fertilizantes y quemas, mientras que la cría de ganado genera emisiones de metano a partir de procesos digestivos como eructos y desechos. Estos procesos, señalados por la Agencia de la Unión Europea para el Medio Ambiente (EEA, por sus siglas en inglés, 2015), subrayan la importancia de abordar estas actividades para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y sus consecuencias ambientales.

Según López (2014), se debe realizar una medición de los servicios de los ecosistemas mediante tres dimensiones las cuales se desarrollan por medio de la capacidad de los ecosistemas para suministrar servicios, el disfrute de una sociedad sobre estos servicios y la valoración monetaria, sin embargo, las evidencias demuestran que actualmente se da más importancia a la valoración económica, lo cual genera incertidumbre por los pocos esfuerzos que se realizan para determinar los factores que determinan la capacidad de suministro de los sistemas ecológicos.

Cambio Climático en Sistemas Lénticos

Por otra parte, el cambio climático genera impactos negativos en los ecosistemas lénticos, reflejados por la alteración y modificación de la temperatura de las columnas de agua a niveles superiores a los convenientes, lo que genera el aumento de la estratificación del oxígeno, la cual hace referencia a los procesos por medio de los cuales los niveles de oxígeno disuelto varían en función de la profundidad, (Cáceres, A., 2019).

De igual forma provoca estados de saturación del oxígeno e incremento de los sedimentos, lo que resulta en una mayor carga orgánica que supera la capacidad soportable por los cuerpos hídricos, aumentando la liberación de carbono orgánico disuelto, de igual forma se

presenta una toxicidad de los contaminantes en el agua, el aumento de las concentraciones de oxígeno disuelto, afectaciones de los procesos metabólicos microbianos encargados de la descomposición, el consumo del oxígeno y el incremento de cianobacterias, las cuales generan turbidez y eutrofización de las aguas, afectando negativamente a especies como los macrófitos acuáticos (plantas acuáticas), invertebrados y peces, (Cáceres, A., 2019)

Asimismo, el cambio climático afecta los sistemas lenticos en mayor medida a través de la evapotranspiración del agua que se produce por el aumento de la temperatura del aire y las variaciones en las precipitaciones. Estas variaciones pueden incluir cambios en las cantidades, frecuencias, intensidad y duración de las precipitaciones en diferentes regiones. También se ve afectada la calidad del agua, ya que los impactos incluyen un aumento del flujo de contaminantes y sedimentos durante fuertes precipitaciones, la alteración de los periodos de los procesos de degradación y autodepuración y la reducción de las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua, (Núñez et al., 2014).

Cambio Climático en la Laguna de Tota

La laguna de Tota ha presentado alteraciones a nivel socio-ecológico, convirtiéndola en un ejemplo de cómo el cambio climático afecta a las cuencas hidrográficas, pues se ha visto una disminución en su nivel y calidad del agua debido a la disminución de lluvias y aumento de la temperatura según Conpes 3801 (2014) y Núñez et al. (2014). Además, la degradación del lago se ha visto agravada por la interacción entre la actividad humana y el medio ambiente (Franco-Vidal et al., 2015), (Rodríguez et al., 2021).

Por otro lado, el cambio climático representa una nueva amenaza que surge de la mano de actividades humanas que alteran las condiciones del clima y dan lugar a eventos extremos. Es necesario tomar medidas que permitan la conservación de la laguna y el manejo sostenible de los

recursos naturales para garantizar su continuidad y beneficios para las comunidades a largo plazo.

Los sistemas socio-ecológicos presentan una interacción entre los recursos naturales vitales para la vida de las personas y las variables ambientales y sociales, integrándolo en un sistema ecológico único, dentro del cual se intervienen aquellos ecosistemas que brindan beneficios a una población, satisfaciendo sus necesidades en cuanto al bienestar de las personas, por medio de productos para la salud, alimentación, componentes materiales, relaciones sociales, entre otros, Urquiza, A., Cadenas, H. (2015).

Rodríguez et al. (2021, p. 2-21) expone en el documento “Entre conservar y producir, la relación de la sociedad con la naturaleza y los conflictos socio-ecológicos en la laguna de Tota”, en donde es posible evidenciar las afectaciones que se han presentado en torno de la laguna, por la realización de diferentes actividades humanas, con el fin de obtener beneficios de este cuerpo de agua.

Estrategias de Adaptación al Cambio Climático

Según García et al. (2006), la gestión integral de los recursos hídricos es una estrategia fundamental para adaptarse al cambio climático y minimizar sus consecuencias en la población.

De este modo, la adecuada administración del recurso hídrico es crucial tanto para satisfacer las necesidades humanas como para respaldar la actividad agrícola y pecuaria, al mismo tiempo que juega un papel fundamental en la disminución de la susceptibilidad de la población frente a eventos climáticos extremos.

Por consiguiente, para evaluar los cambios en los patrones climáticos y la disponibilidad de agua en la zona, se puede consultar la información hidrometeorológica provista por la Institución Colombiana de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (2023).

Esta información puede ser útil para el diseño y evaluación de estrategias de adaptación al cambio climático en la zona.

Asimismo, Conpes 3801 (2014) destaca la importancia de un manejo ambiental integral de la cuenca hidrográfica del lago de Tota para garantizar su conservación y mantener su papel fundamental en la regulación del agua en la zona. Por tanto, es fundamental una gestión integral de los recursos hídricos que integre la perspectiva socio-ecológica García et al. (2006), McGinnis y Ostrom (2014), considerando factores como los determinantes sociales de la salud que influyen en la situación de salud de la población Amaya (2019) y Mesa (2020). La contabilidad ambiental y económica puede ser una herramienta útil para abordar estos desafíos (WAWES, 2016).

Caso de Estudio

El caso de estudio se enfoca en el análisis socio-ecológico relacionado con el cambio climático en la Laguna de Tota. Esta tesis tiene como objetivo principal explorar las complejas interacciones entre los componentes sociales y ecológicos de este ecosistema acuático frente a los desafíos planteados por el cambio climático.

La investigación abordará aspectos como la calidad y disponibilidad del agua en la laguna, la biodiversidad y la supervivencia de especies endémicas, así como las dinámicas sociales y económicas de las comunidades locales que dependen de la laguna. Además, se analizarán los fenómenos relacionados con el cambio climático, que generan modificaciones fisicoquímicas y alteran la calidad del agua.

Dentro de la metodología se abordará la caracterización detallada de la laguna desde perspectivas físicas, bióticas y socioeconómicas, la identificación de los actores involucrados, los conflictos socio-ecológicos y el análisis de los factores de vulnerabilidad que hacen que la laguna sea susceptible a los efectos del cambio climático.

Finalmente se espera dar a conocer las afectaciones que presenta la laguna de Tota en relación con el cambio climático y la identificación de las medidas de adaptación y mitigación necesarias para garantizar la sostenibilidad del ecosistema y el bienestar de las comunidades locales.

Metodología

Para la elaboración de la investigación se tomó como base la metodología propuesta por McGinnis y Ostrom (2014) en su artículo “Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges” en el cual presentan un marco conceptual que sirve como guía para la generación del estudio de los sistemas socio-ecológicos y la evolución que estos han presentado durante el paso del tiempo, permitiendo analizar, comparar y diagnosticar los sistemas socio-ecológicos. Dicha metodología proporciona un enfoque integral para comprender y abordar temas relacionados con la gobernanza de recursos comunes y los desafíos socio-ecológicos asociados.

Dentro de la metodología se destaca la importancia de comprender como los sistemas socio-ecológicos que se encuentran relacionados con las comunidades, y los sistemas ecológicos con las que estas interactúan, experimentan unas series de cambios iniciales que vienen acompañados de continuos desafíos. Teniendo en cuenta lo anterior, en este artículo se propone la aplicación de un marco conceptual que considere la dinámica y la adaptabilidad de estos sistemas y dejar de asumir que estos se mantienen estáticos.

La metodología se aborda mediante un paso a paso que permite definir la estructura del documento y mantener una secuencia ordenada al momento de abordar el estudio de los impactos del cambio climático en los sistemas socio-ecológicos de la laguna de Tota, permitiendo identificar las afectaciones que este fenómeno está generando en la laguna y en su entorno, por lo cual se divide en las siguientes secciones que permiten una mejor comprensión de la información.

- Caracterización de la laguna de Tota
- Revisión bibliográfica

- Selección de variables del sistema socio-ecológico
- Caracterización de variables
- Análisis del sistema socio-ecológico.

Caracterización General de la Laguna de Tota

La laguna de Tota es considerada la más grande de Colombia, ubicada a los 72° 54' 50,1" W y 5° 32' 5,8" N aproximante, cuenta con un área de 22.524,4 Ha (225,24 km²) a escala 1:25.000, una profundidad de 61 metros, este cuerpo de agua natural se encuentra ubicado en el departamento de Boyacá y se extiende sobre los municipios de Aquitania, Tota y Cuitiva, su altitud es de 3.015 m.s.n.m, sus temperaturas varían entre los 0°C y hasta los 12°C, cuenta con áreas protegidas como reserva natural, complejo de páramos y parque natural, dentro de los servicios que presta la laguna, se encuentran el abastecimiento de agua para consumo, la agricultura (cebolla larga principalmente), la pesca y el turismo, (Peña, J. G. 2020).

Dentro de los servicios que brinda la laguna de Tota se encuentran el abastecimiento de agua para viviendas, industrias, actividades piscícolas, turismo, ganadería y la agricultura a nivel socioeconómico, mientras que a nivel ecológico presenta una gran variedad de flora como vegetación conformada por especies hidrófitas, carrizales, choperas y plantas silvestre, de otra parte, la fauna cuenta con una amplia variedad de anfibios, insectos, aves acuáticas y reptiles, (Conpes 3801, 2014).

Revisión Bibliográfica

Para el desarrollo de la revisión bibliográfica se tuvieron en cuenta las siguientes fases.

- **Fase 1:** Identificación de las temáticas y los periodos de tiempo que se deben analizar.

- **Fase 2:** Selección de las fuentes de información como artículos, libros, revistas de investigación, revistas científicas, sitios web o normatividades que permitan obtener información verídica y confiable.
- **Fase 3:** Realizar la búsqueda de la información teniendo claridad sobre los criterios que se deben tener en cuenta, en donde se va a realizar la búsqueda, ya sea informes, manuales o bases de datos y como se realizara la búsqueda.
- **Fase 4:** Gestión y depuración de la información obtenida, teniendo en cuenta su clasificación, sus falsos positivos o sus falsos negativos.
- **Fase 5:** Finalmente se genera el análisis de los resultados de la información obtenida.

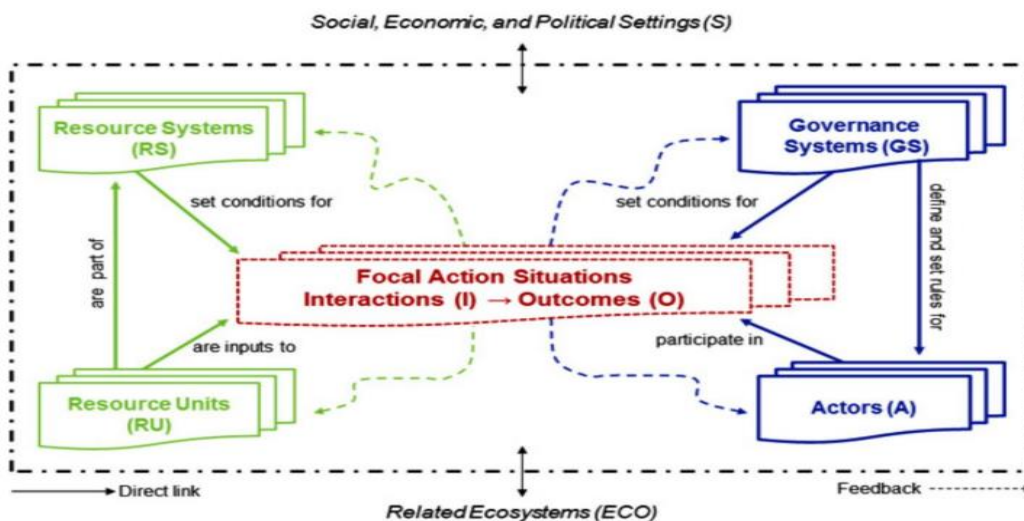
Selección de Variables del Sistema Socio-ecológico

Teniendo en cuenta que la investigación se encuentra enfocada en el análisis socio-ecológico de la laguna de Tota, con relación al cambio climático, se toman como referencia las variables descritas en la metodología de McGinnis y Ostrom (2014). Esta metodología presenta un marco completo sobre las variables ecológicas y sociales necesarias a la hora de realizar un análisis socio-ecológico en un sistema.

Las variables se encuentran organizadas en niveles de acuerdo con su relevancia. En primer lugar, se sitúan las variables vinculadas a los sistemas de recursos, las unidades de recurso, los sistemas de gobernanza y los actores, los cuales se subdividen en variables de segundo nivel. Este enfoque jerarquizado proporciona una estructura clara y ordenada para abordar los diversos aspectos del estudio, tal como se evidencia en la siguiente figura.

Figura 1.

Variables de un sistema Socio-ecológico.



Fuente. McGinnis y Ostrom (2014).

Caracterización de Variables del Sistema Socio-ecológico

Las variables de los sistemas socio-ecológicos se pueden caracterizar y desglosar en varios niveles. Este marco conceptual ayuda a comprender y analizar las interacciones entre los elementos clave que conforman estos sistemas, tal como se muestra a continuación, (McGinnis y Ostrom, 2014).

Tabla 1.*Caracterización de variables socio-ecológicas*

Variables de Primer Nivel.	Variables de Segundo Nivel.
Entornos sociales, económicos y políticos	Desarrollo económico
	Tendencias demográficas
	Estabilidad política
	Otros sistemas de gobernanza
	Mercados
	Organizaciones de medios
	Tecnología
Sistemas de recursos	Sector (p. ej., agua, bosques, pastos, pesca)
	Claridad de los límites del sistema
	Tamaño del sistema de recursos
	Instalaciones construidas por humanos
	Productividad del sistema
	Propiedades de equilibrio
	Previsibilidad de la dinámica del sistema
	Características de almacenamiento
Ubicación	
Sistemas de gobernanza	Organizaciones gubernamentales
	Organizaciones no gubernamentales
	Estructura de red
	Sistemas de derechos de propiedad
	Reglas de elección operativa
	Reglas de elección colectiva
	Reglas de elección constitucional
	Reglas de monitoreo y sanción
Unidades de recursos	Movilidad de unidades de recursos
	Crecimiento o tasa de reemplazo
	Interacción entre unidades de recursos
	Valor económico
	Número de unidades
	Características distintivas
	Distribución espacial y temporal
Actores (A)	Número de actores relevantes
	Atributos socioeconómicos
	Historia o experiencias pasadas
	Ubicación

Variables de Primer Nivel.	Variables de Segundo Nivel.
	Liderazgo /emprendimiento Normas (confianza-reciprocidad) /capital social Conocimiento de NSE/modelos mentales Importancia del recurso (dependencia) Tecnologías disponibles
Situaciones de acción: Interacciones → Resultados	Cosecha Intercambio de información Procesos de deliberación Conflictos Actividades de inversión Actividades de lobby Actividades de autoorganización Actividades de creación de redes Actividades de monitoreo Actividades de evaluación Medidas de desempeño social (ej., eficiencia, equidad, rendición de cuentas, sostenibilidad) Medidas de desempeño ecológico (p. ej., sobreexplotación, resiliencia, biodiversidad, sostenibilidad) Externalidades hacia los otros
Ecosistemas relacionados	Patrones climáticos Patrones de contaminación Flujos hacia y desde el SES foca

Fuente. Modificado de McGinnis y Ostrom (2014).

Análisis del Sistema Socio-ecológico

Para el análisis del sistema socio-ecológico se plantea una metodología dividida en 2 etapas, la primera consta de una caracterización general de los sistemas socio-ecológicos, mientras que la segunda presenta la caracterización de los conflictos socio-ecológicos de la laguna de Tota, (Rodríguez et al., 2021).

Caracterización de los Sistemas Socio-ecológicos

De acuerdo con la metodología McGinnis y Ostrom (2014), se establece una estructura que permite comprender la relación existente entre los elementos sociales y los ecológicos de

acuerdo con el contexto, a continuación, se describe la caracterización de los sistemas teniendo en cuenta el marco expuesto en el artículo.

- **Identificación de Variables.**

Se realiza la identificación de las variables más importantes que representan una influencia en el sistema socio-ecológico, luego de identificarlas se organizan en categorías como sistemas de recurso, unidades de recurso, sistemas de gobernanza y actores. Cada una de estas categorías se desglosan en variables más específicas relacionadas con aspectos particulares de la gestión y la interacción.

- **Análisis de Niveles de las Variables.**

Las variables se organizan en niveles jerárquicos, el primer nivel describe las categorías generales mencionadas anteriormente, mientras que los siguientes niveles desglosan cada categoría en variables más específicas, de esta forma se proporciona una estructura más detallada y ordenada al momento de analizar los componentes del sistema.

- **Interacciones y Dinámicas.**

Se identifican las interacciones que se presentan entre las variables, es importante considerar como las variables de las diferentes categorías se relacionan y generan afectaciones al sistema socio-ecológico. Se realiza un análisis de las dinámicas que se pueden generar como conflictos, cambios normativos, cooperaciones, entre otras.

- **Adaptabilidad y Cambio.**

Se genera la identificación en cuanto al estado de los sistemas socio-ecológicos y la presencia de cambios sociales y ambientales, realizando una evaluación de adaptación y evolución con el tiempo.

Caracterización de los Conflictos Socio-ecológicos

Para realizar la caracterización de los conflictos socio-ecológicos en la laguna de Tota, es necesario identificar y comprender los desacuerdos que se presentan entre los aspectos ecológicos y sociales de la laguna, es importante considerar las actividades humanas que se llevan a cabo, al igual que los cambios ambientales que se generan y afectan la laguna y las comunidades asentadas en los límites de la laguna, (Rodríguez et al., 2021). Para generar una adecuada caracterización de los conflictos se debe tener en cuenta los siguientes aspectos.

- **Identificación de las Causas**

Se determinan las causas que generan los conflictos como la sobreexplotación de los recursos, la contaminación, las actividades económicas, entre otras.

- **Partes Involucradas**

Identificación de las partes interesadas y afectadas, en donde se incluyen actores como las comunidades locales, las autoridades gubernamentales, las empresas, y las organizaciones de conservación.

- **Impactos**

Evaluación de los impactos generados por los conflictos en la laguna de Tota y su entorno, así como en las poblaciones locales que dependen de ella para su subsistencia y sustento.

- **Dinámicas del Conflicto**

Se analiza la forma en que se desarrollan y evolucionan los conflictos, si se agravan o se resuelven con el tiempo o si se desarrollan nuevos conflictos.

Resultados

Tabla 2.

Variables del Sistema Socio-ecológico

Variable de Primer Nivel	Variable de Segundo Nivel	Variable de Tercer Nivel	
Sistemas de recursos	Límites de la laguna de Tota	Ubicación geográfica de la laguna de Tota	
		Descripción de la laguna de Tota	
	Características bióticas de la laguna de Tota	Infraestructuras existentes que interactúan con la laguna de Tota	
		Especies de plantas acuáticas y su estado de conservación	
Características físicas de la laguna de Tota	Características de almacenamiento	Especies de peces, reptiles y aves acuáticas y su estado de conservación	
		Profundidad y capacidad de la laguna de Tota	
		Cuencas y subcuencas que alimentan la laguna de Tota	
	Calidad del agua		Temperatura del agua
			pH
			Conductividad
			Dureza
			Oxígeno Disuelto
			Nitratos y Nitritos
			Clorofila
			Coliformes totales
			DBO
			DQO
SST			
Características socioeconómicas de la laguna de Tota	Estructura y composición del suelo en los alrededores de la laguna	Turbiedad	
		Capa superficial	
		Capa de transición	
		Capa freática	
Actividades económicas		Agricultura	
		Piscicultura o Acuicultura	
		Ganadería	
		Actividades adicionales	

Variable de Primer Nivel	Variable de Segundo Nivel	Variable de Tercer Nivel
		Municipio de Aquitania
		Municipio de Tota
	Población local por edad	Municipio de Cuitiva
		Municipio de Sogamoso
		Indicadores sociales
		Indicadores económicos
	Desarrollo socioeconómico	Actividades económicas relacionadas con la laguna
		Impactos ambientales
		Participación comunitaria
		Indicadores de cambio climático
		Municipios que interactúan con la laguna de Tota
		Autoridades ambientales
		Instituciones gubernamentales
Sistemas de gobernanza	Actores	Comunidades locales
		Organizaciones no gubernamentales
		Sector privado
		Asociaciones gremiales y asociaciones comunitarias
	Circulación del agua de la laguna de Tota	
		Nivel y Volumen de la laguna de Tota
	Tasa de crecimiento o reemplazo del agua de la laguna de Tota	
Unidades de recursos laguna de Tota		Aumento de los stocks
		Disminución en el stock
		Extracción del agua
		Oferta del agua
		Uso final del agua
	Valor económico de la laguna de Tota	
	Coberturas del suelo en la laguna de Tota	
	Patrones climáticos	Precipitaciones

Variable de Primer Nivel	Variable de Segundo Nivel	Variable de Tercer Nivel
		Evaporación
		Temperatura
		Humedad Relativa
Aspectos sociales	Actividades socioculturales	Acceso a la laguna de Tota
		Conservación
		Responsabilidad social
		Educación Ambiental
		Participación comunitaria
Estudio multitemporal de la laguna de Tota	Distribución espacial y temporal de la laguna de Tota	Ocurrencia del agua
		Intensidad del cambio de ocurrencia
		Estacionalidad del agua
		Recurrencia anual del agua
		Transición hídrica
		Extensión máxima
Situaciones de acción	Contaminación de la laguna por actividades productivas	Cultivos agrícolas
		Piscicultura o acuicultura
		Ganadería bovina
	8 Interacciones	Actividades adicionales
		Actividades de inversión
		Actividades de supervisión
		Actividades evaluativas
	Análisis socio-ecológico	
Análisis socio-ecológico	Conflictos socio-ecológicos de la laguna de Tota	Conflictos por el uso de los recursos naturales
		Conflictos de interés entre los actores
		Conflictos por la degradación del ecosistema
	Factores de vulnerabilidad relacionados con el cambio climático en la laguna de Tota	Incremento de la temperatura media
		Cambios en los patrones de precipitación
Aumento de eventos extremos		
		Acidificación del agua
		Factores que intervienen en la calidad del agua

Variable de Primer Nivel	Variable de Segundo Nivel	Variable de Tercer Nivel
	Efectos negativos del cambio climático sobre la laguna de Tota	Afectación del cambio climático sobre los factores que componen el agua de la laguna

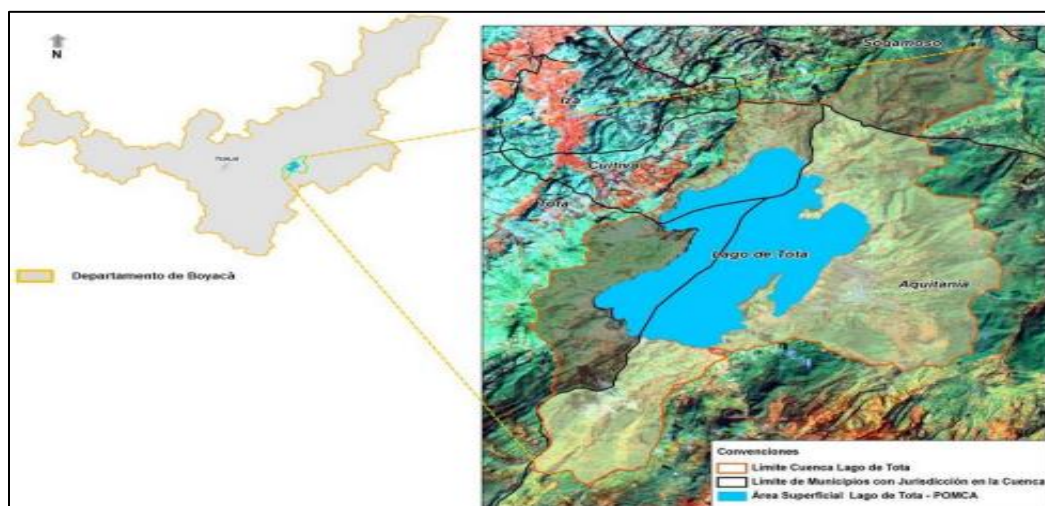
Sistemas de Recursos

Límites de la Laguna de Tota

Ubicación Geográfica de la Laguna de Tota. La cuenca de la laguna de Tota es el cuerpo de agua más grande encontrado en Colombia, se encuentra ubicado en el departamento de Boyacá, abarcando la superficie de 4 municipios de la siguiente forma: Sogamoso con el 8,3% de área en la cuenca (1.877 Ha), Cuitiva con el 9.0% de área en la cuenca (2.021 Ha), Tota con el 21.3% de área en la cuenca (4.787 Ha), y Aquitania con el 61.4% de área en la cuenca (13.838 Ha), logrando alcanzar un área de 225,24 km² a una escala de 1:25.000 y una superficie aproximada de 55.15 km², Su altitud es de 3.015 m.s.n.m, (Peña, J. G. 2020).

Figura 2.

Mapa ubicación geográfica.



Fuente. POMCA 2005, IGAC – Cartografía Básica

Descripción Geográfica de la Laguna de Tota. Según WAVES (2016), se presentan temperaturas que varían entre los 0°C y los 12°C, con una temperatura promedio de 10,8°C, la evaporación promedio anual es de 1.049 mm, cuenta con una población aproximada dentro de la cuenca de 16.000 personas de las cuales el 60% se encuentran ubicadas en la zona urbana, mientras que el 40% restante se encuentran ubicados en la zona rural.

A nivel hídrico, la cuenca de la laguna de Tota cuenta con un área de espejo de agua de 56,5 km² (5.650 ha), la estación de Aquitania registra una precipitación media anual de 945 mm y es alimentada por 27 subcuencas.

Es importante tener en cuenta que la laguna se encuentra definida como una cuenca endorreica, ya que no cuenta con un sistema de salida natural del agua, cuando el caudal de la cota se encuentra al máximo el agua se rebosa, por lo cual es importante mantener el control del nivel permitiendo realizar la evacuación en dirección del río Upía.

Infraestructuras Existentes que Interactúan con la Laguna de Tota. Dentro de los diferentes tipos de infraestructura que interactúan con la laguna de Tota es posible encontrar las siguientes:

Tabla 3.

Relación de las infraestructuras existentes.

Tipo de Infraestructura	Descripción	Nombre	Ubicación
Poblados Ciudades y municipios	Hacen parte de las localidades que se encuentran a orillas de la laguna, presentan infraestructuras básicas como viviendas, calles,	Aquitania	Latitud: 5,51758° o 5° 31' 3" norte Longitud: -72,88315° o 72° 52' 59" oeste Altitud: 3.042 metros (9.980 pies)
		Cuitiva	Latitud: 5,58028° o 5° 34' 49" norte

Tipo de Infraestructura	Descripción	Nombre	Ubicación
	plazas, centros educativos y centros de salud.		Longitud: -72,96616° o 72° 57' 58" oeste Altitud: 2.725 metros (8.940 pies)
		Tota	Latitud: 5,5335° o 5° 32' 1" norte Longitud: -72,9654° o 72° 57' 56" oeste Altitud: 3.169 metros (10.397 pies)
		Sogamoso	Latitud: 5,7148° o 5° 42' 53" norte Longitud: -72,9279° o 72° 55' 41" oeste Altitud: 2.490 metros (8.169 pies)
		Villa Paola del Lago	Latitud: 5,59156° o 5° 35' 30" norte Longitud: -72,92103° o 72° 55' 16" oeste
	A orillas de la laguna de Tota, se encuentran hoteles y restaurantes para las actividades de turismo, ofreciendo servicios de alimentación y hospedaje a los visitantes	Refugio Génesis	Latitud: 5,58166° o 5° 34' 54" norte Longitud: -72,92362° o 72° 55' 25" oeste
Hoteles y restaurantes		Camino Real	Latitud: 5,59344° o 5° 35' 36" norte Longitud: -72,90669° o 72° 54' 24" oeste
		Refugio Rancho Tota	Latitud: 5,589° o 5° 35' 20" norte Longitud: -72,90292° o 72° 54' 11" oeste
		Cabaña Santo Domingo	Latitud: 5,59117° o 5° 35' 28" norte Longitud: -72,90415° o 72° 54' 15" oeste
		Cabaña Tota Pulchra	Latitud: 5,59027° o 5° 35' 25" norte

Tipo de Infraestructura	Descripción	Nombre	Ubicación
			Longitud: -72,90502° o 72° 54' 18" oeste
		Grupo Empresarial HWM S.A.S.	Latitud: 5,58773° o 5° 35' 16" norte Longitud: -72,90112° o 72° 54' 4" oeste
		Refugio Santa Inés	Latitud: 5,54658° o 5° 32' 48" norte Longitud: -72,88381° o 72° 53' 2" oeste
		Mi Rinconcito Boyacense	Latitud: 5,49604° o 5° 29' 46" norte Longitud: -72,96003° o 72° 57' 36" oeste
		El Arca De Noah	Latitud: 5,50692° o 5° 30' 25" norte Longitud: -72,96704° o 72° 58' 1" oeste
		Hotel Morandes	Latitud: 5,50674° o 5° 30' 24" norte Longitud: -72,96815° o 72° 58' 5" oeste
		Playa Blanca Mana	Latitud: 5,50966° o 5° 30' 35" norte Longitud: -72,96954° o 72° 58' 10" oeste
		Las Heliconias Restaurante	Latitud: 5,57729° o 5° 34' 38" norte Longitud: -72,893° o 72° 53' 35" oeste
		Playa Blanca	Latitud: 5,50951° o 5° 30' 34" norte Longitud: -72,96708° o 72° 58' 2" oeste
		Restaurante Cabaña Arco Iris del Lago	Latitud: 5,5115° o 5° 30' 41" norte Longitud: -72,96672° o 72° 58' 0" oeste

Tipo de Infraestructura	Descripción	Nombre	Ubicación
		tienda Upia	Latitud: 5,48755° o 5° 29' 15" norte Longitud: -72,93469° o 72° 56' 5" oeste
Embarcaderos y Muelles	Construidos para facilitar el acceso a la laguna y la navegación en ella, sirven como punto de llegada y partida de turistas que llegan a realizar paseos en bote o deportes acuáticos.	Embarcadero La Peña	Latitud: 5,54968° o 5° 32' 59" norte Longitud: -72,88239° o 72° 52' 57" oeste
Miradores	Lugares desde los cuales se tiene una vista panorámica de toda la laguna y los paisajes.	Mirador Panorama	Latitud: 5,54735° o 5° 32' 51" norte Longitud: -72,88262° o 72° 52' 57" oeste
Senderos y áreas recreativas	Lugares en los cuales los visitantes pueden realizar caminatas, paseos en bicicleta y actividades al aire libre.	Playa Blanca	Latitud: 5,50894° o 5° 30' 32" norte Longitud: -72,9669° o 72° 58' 1" oeste
		Reserva Natural Pueblito Antiguo	Latitud: 5,5752° o 5° 34' 31" norte Longitud: -72,9413° o 72° 56' 29" oeste
Edificios industriales		Obra de desviación	Latitud: 5,48634° o 5° 29' 11" norte Longitud: -72,93387° o 72° 56' 2" oeste
		Tanque de Cuatro Esquinas	Latitud: 5,48758° o 5° 29' 15" norte Longitud: -72,94842° o 72° 56' 54" oeste

Fuente. Isla La Custodia – Mapa - Mapcarta.

Características Bióticas de la Laguna de Tota

Especies de Plantas Acuáticas y su Estado de Conservación. La vegetación acuática de la laguna de Tota cumple un rol importante en la conservación del agua y la protección de las orillas. Ayuda a prevenir la erosión y a mantener la estabilidad de los sedimentos. Además, proporciona hábitats y zonas de reproducción para diversas especies de peces, aves y anfibios, (Calvachi, B. et al. 2005).

La vegetación acuática de la laguna de Tota se compone principalmente de algas y plantas acuáticas. Entre las algas más comunes se encuentran las diatomeas, que son microorganismos fotosintéticos que ayudan a mantener la calidad del agua y a proporcionar alimento para otras especies. También se pueden encontrar algas filamentosas, que forman extensos tapetes verdes en las partes más someras de la laguna. En la tabla 4 se relacionan las plantas que se encuentran en la laguna de Tota, su estado de conservación y sus principales características, (Calvachi, B. et al. 2005).

Tabla 4.

Plantas acuáticas presentes en la laguna

Especie	Nombre	Características	Estado de Conservación
Plantas	Totora (<i>Schoenoplectus californicus</i>)	Es una planta acuática emergente que forma densos macizos en las orillas y aguas poco profundas de la laguna	Estable
	Lenteja de agua (<i>Lemna</i> sp.)	Son plantas flotantes que se reproducen rápidamente y cubren grandes áreas de la superficie del agua	Desconocido
	Espadaña (<i>Typha</i> sp.)	Son plantas emergentes que forman grandes macizos alrededor de la laguna	Estable

Especie	Nombre	Características	Estado de Conservación
	Lirio acuático (<i>Nymphaea</i> sp.)	Son plantas flotantes que se caracterizan por sus grandes hojas en forma de corazón y sus hermosas flores	Estable
	Juncias (<i>Juncus</i> sp.)	Son plantas acuáticas emergentes que crecen en zonas marginales de la laguna	Estable
	Espiga de agua (<i>Pontederia cordata</i>)	Esta especie se caracteriza por tener grandes hojas flotantes en forma de corazón y espigas de flores de color azul o violeta	Estable
	Nenúfar amarillo (<i>Nymphaea mexicana</i>)	Los nenúfares amarillos son plantas perennes que se enraízan en el fondo de la laguna y tienen hojas flotantes que proporcionan sombra y refugio a diversas especies acuáticas	Estable
	Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>)	Especie invasora, puede causar impactos negativos en ecosistemas acuáticos. Esta planta exótica puede crecer rápidamente y cubrir grandes áreas de agua, afectando negativamente a la fauna y flora nativa.	Estable
	Carrizo (<i>Phragmites australis</i>)	Especie de caña alta que se encuentra en áreas pantanosas y márgenes de agua dulce, es conocido por formar densas colonias	Estable
	Salvinia (<i>Salvinia molesta</i>)	Especie considerada invasora y dañina. Esta planta flotante es originaria de América del Sur y puede formar densas y compactas colonias que afectan negativamente a la fauna acuática y obstruyen la luz solar.	Estable

Espece	Nombre	Características	Estado de Conservación
	Potamogeton crispus	Es una planta sumergida que se encuentra en aguas quietas o de corriente lenta.	Estable
	Cola de zorro (Rorippa nasturtium-aquaticum)	Esta planta acuática requiere de un hábitat acuático limpio y libre de contaminantes para sobrevivir.	Vulnerable
	Elodea canadensis	Especie considerada invasora y dañina. Esta planta acuática de origen exótico puede formar densas colonias que desplazan a las especies nativas.	Desconocido
	Nymphaea ampla	Esta planta acuática se caracteriza por sus grandes flores blancas y requiere de aguas limpias y libres de contaminantes para sobrevivir	Vulnerable
	Myriophyllum aquaticum	Especie considerada invasora y dañina. Esta planta subacuática puede crecer rápidamente y formar densas colonias que desplazan a las especies nativas.	Estable
	Alga verde (Chara sp.)	Especie de algas multicelulares que se encuentran sumergidas en el agua y se adhieren al fondo	Desconocido
	Espada de agua (Echinodorus sp.)	Especie con grandes inflorescencias esponjosas	Estable

Fuente. Corpoboyacá – Plan de ordenación y manejo de la cuenca del lago de Tota (2005).

Dentro del grupo de algas se encuentran 45 morfotipos, distribuidas en 32 géneros y 9 grupos los cuales se relacionan en la siguiente tabla.

Tabla 5.

Género, Número y porcentaje de los grupos de algas presentes en la laguna

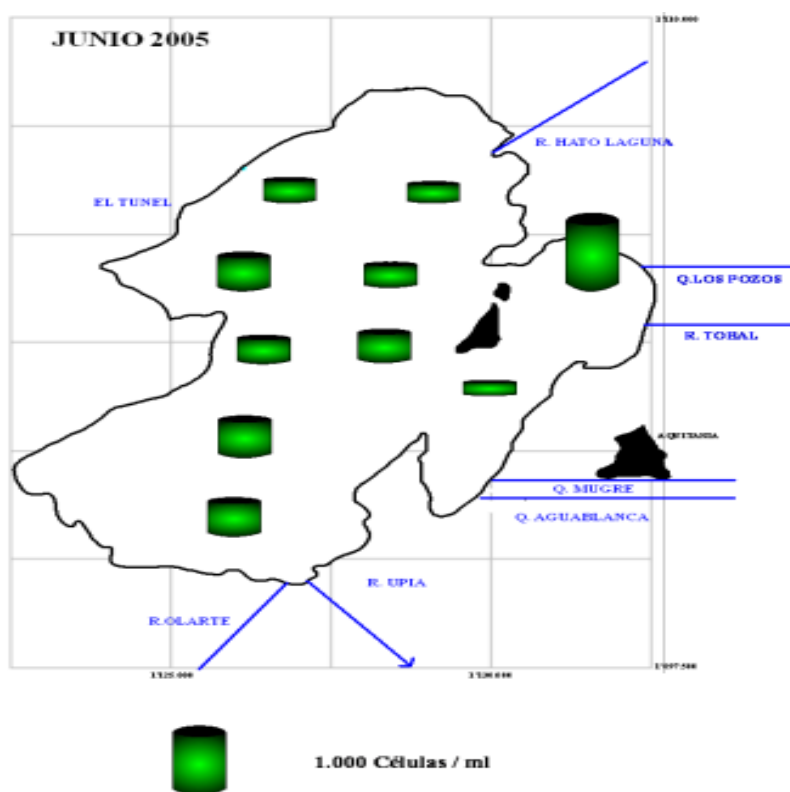
Nombre	Número de Géneros	% de los Grupos en la Densidad Total
Bacillariophyceae (diatomeas)	9	11%
Chlorophyceae (algas verdes)	7	72%

Nombre	Número de Géneros	% de los Grupos en la Densidad Total
Zygothyceae (desmideas)	4	3%
Euglenophyceae (euglenas)	3	2%
Cryptophyceae	2	6%
Cyanophyceae (algas verdeazules)	2	6%
Dinophyceae (flagelados)	2	0%
Crysophyceae (algas doradas)	1	0%
Xanthophyceae (algas verde-amarillas)	1	0%

Fuente. Caracterización fisicoquímica del lago de Tota y sus principales tributarios – Corpoboyacá (2005)

Figura 3.

Densidad de fitoplancton año 2005.



Fuente. Corpoboyacá (2005).

Especies de Peces, Reptiles y Aves Acuáticas y su Estado de Conservación. La laguna de Tota alberga una gran diversidad de especies bióticas, convirtiéndolo en un ecosistema muy importante y único, estas especies contribuyen con la diversidad biológica y estabilidad del ecosistema, el equilibrio ecológico, la producción primaria “síntesis de materia orgánica por medio de la fotosíntesis”, los ciclos biogeoquímicos, las interacciones tróficas y los efectos sobre el hábitat principalmente. Dentro de las especies bióticas se encuentran las siguientes, (Calvachi, B. et al. 2005).

Tabla 6.

Especies bióticas que habitan en la laguna

Especie	Nombre	Características	Estado de Conservación
Peces	Trucha arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Pez nativo de América del Norte, introducida en la laguna de Tota para actividades de pesca deportiva	Estable
	Barbudo de invierno (<i>Lepidomeda winteri</i>)	Especie endémica de Colombia	Posible peligro por degradación del hábitat
	Baransis de Tota (<i>Astroblepus berbelldovicencis</i>)	Especie de pez gato endémica de la laguna de Tota	Peligro crítico de extinción por sobreexplotación y pérdida de hábitat
	Pez espada de Tota (<i>Sphoeroides testudineus</i>)	Especie de pez globito que se encuentra en la laguna de Tota	Sin datos de su conservación
	Trucha común (<i>Salmo trutta</i>)	Especie introducida en la laguna de Tota para actividades de pesca deportiva	Estable
	Carpa común (<i>Cyprinus carpio</i>)	Pez originario de Asia, introducida en la laguna para la pesca deportiva,	Estable

Espece	Nombre	Características	Estado de Conservación
		introducida para el control del exceso de elodea.	
	Pejerrey (<i>Odonthestes bonariensis</i>)	Pez oriundo de América del Sur, ampliamente distribuida en la Laguna de Tota	Estable
	Salmón de lago (<i>Salvelinus namaycush</i>)	Pez de agua fría, también conocido como trucha de lago, que ha sido introducido en la laguna.	Estable
	Capitán de la sabana (<i>Eremophilus mutisii</i>)	Especie endémica para la Sabana de Bogotá, introducida como alimento para la trucha en los años 50's	Amenazado regionalmente
	Guapucha (<i>Grundulus bogotensis</i>)	Especie endémica para la Sabana de Bogotá, introducida como alimento para la trucha en los años 50's	Amenazado regionalmente
	Pez graso de Tota (<i>Rhizozomichthystotae</i>)	Pez propio de la laguna y a su vez una especie endémica de distribución restringida a este cuerpo de agua	Extinta
Reptiles	Lagartija (<i>Phenacosaurus heterodermus</i>)	Especie arborícola común en el altiplano cundiboyacense.	Estable
	Lagartija (<i>Anolis frenatus</i>)	Especie común en el altiplano cundiboyacense.	Estable
	Lagartija (<i>Anolis fuscoauratus</i>)	Especie común en el altiplano cundiboyacense.	Estable
	Lagartija (<i>Ophryoessoides erythrogaster</i>)	Especie común en el altiplano cundiboyacense.	Estable
	Lagartija (<i>Proctoporus striatus</i>)	Especie común en el altiplano cundiboyacense.	Estable

Espece	Nombre	Características	Estado de Conservación
	Serpiente sabanera (<i>Atractus crassicaudatus</i>)	Especie propia de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca	Estable
	Rana (<i>Hyla bogotensis</i>)	Especie común en el altiplano cundiboyacense.	Estable
	Rana (<i>Hyla labialis</i>)	Especie común en el altiplano cundiboyacense.	Estable
	Rana (<i>Colostethus subpunctatus</i>)	Especie común en el altiplano cundiboyacense.	Estable
	Salamandra (<i>Bolitoglossa adspersa</i>)	Especie común en el altiplano cundiboyacense.	Estable
	Zambullidor <i>Podilymbus podiceps</i>	Presentes en la laguna de Tota	Estable
	Zambullidor colombiano <i>Podiceps andinus</i>	Especie o subespecie endémica	Extinta
	Garza blanca <i>Casmerodius albus</i>	Presentes en la laguna de Tota	Estable
	Garzón <i>Ardea herodias</i>	Especie migratoria	Estable
	Garcita azul <i>Butorides striatus</i>	Presentes en la laguna de Tota	Estable
	Guaco <i>Nycticorax nycticorax</i>	Presentes en la laguna de Tota	Estable
Aves acuáticas	Garcita dorada <i>Ixobrychus exilis bogotensis</i>	Especie o subespecie endémica	Amenazada
	Garza azul Florida <i>caerulea</i>	Especie migratoria	Estable
	Corocora blanca <i>Eudocimus albus</i>	Presentes en la laguna de Tota	Estable
	Corocora roja (<i>Eudocimus ruber</i>)	Presentes en la laguna de Tota	Estable
	Pato (<i>Anas flavirostris</i>)	Presentes en la laguna de Tota	Estable
	Pato canadiense (<i>Anas discors</i>)	Especie migratoria	Estable
	Pato pico de oro (<i>Anas georgica niceforoi</i>)	Especie o subespecie endémica	Extinta

Especie	Nombre	Características	Estado de Conservación
	Pato Anas cyanoptera borreroi	Especie o subespecie endémica	En peligro
	Pato turrio (Oxyura jamaicensis andina)	Especie o subespecie endémica	Vulnerable - En peligro
	Águila pescadora Pandion haliaetus	Especie migratoria	Estable
	Tingua bogotana (Rallus semitumbeus)	Especie o subespecie endémica	En peligro crítico de extinción
	Polla de agua (Porzana carolina)	Especie migratoria	Estable
	Polla de agua (Neocrex erythrops)	Presentes en la laguna de Tota	Estable
	Tingua moteada (Gallinula melanops bogotensis)	Especie o subespecie endémica	Amenazada - En peligro crítico
	Tingua pico rojo (Gallinula chloropus)	Presentes en la laguna de Tota	Estable
	Tingua azul Porphyrio martinica	Presentes en la laguna de Tota	Estable
	Focha (Fulica americana columbiana)	Especie o subespecie endémica	Vulnerable
	Gaviota (Larus sp)	Presentes en la laguna de Tota	Estable
	Gaviota (Sterna superciliaris)	Presentes en la laguna de Tota	Estable
	Gaviota Phaetusa simplex	Presentes en la laguna de Tota	Estable
	Chorlito (Pluviales dominica)	Especie migratoria	Estable
	Alcarabán Vanellus chilensis	Presentes en la laguna de Tota	Estable
	Chorlo (Tringa flavipes)	Presentes en la laguna de Tota	Estable
	Chorlo Actitis macularia	Especie migratoria	Estable
	Caica (Gallinago nobilis)	Presentes en la laguna de Tota	Estable

Espece	Nombre	Características	Estado de Conservación
	Martín pescador (Ceryle torquata)	Presentes en la laguna de Tota	Estable
	Martín pescador (Chloroceryle americana)	Presentes en la laguna de Tota	Estable
	Doradito lagunero (Pseudocolopteryx acutipennis)	Presentes en la laguna de Tota	vulnerable
	Cucarachero de pantano (Cistothorus apolinari)	Presentes en la laguna de Tota	En peligro crítico de extinción

Fuente. Corpoboyacá – Estado actual de la fauna silvestre en el lago de Tota (2005).

Características Físicas de la Laguna de Tota

Características de Almacenamiento

Profundidad y Capacidad de la Laguna de Tota. La laguna de Tota cuenta con una profundidad máxima de 63.4 m, 12 Km de largo, 7 Km de ancho, un perímetro de 54.6 km y un volumen de almacenamiento aproximado de 1.854,8 Mm³ para la cota 3.015 m.s.n.m. alberga el 13.6% de la reserva hídrica del país, la cota máxima de inundación establecida es de 3.015,65 m.s.n.m. y 30 m de ronda hídrica de protección, (Peña, J. G. 2020).

Cuencas y Subcuencas que Alimentan la Laguna de Tota. La laguna de Tota es alimentada por varios ríos y arroyos, también cuenta con varios lagos y humedales pequeños localizados en su cuenca, dentro de la red hidrográfica se encuentran las siguientes subcuencas aferentes al lago, (Peña, J. G. 2020).

Tabla 7.

Relación hidrográfica

Nombre	Área (Ha)	Área (Km ²)	Porcentaje
Directos Lago de Tota Sur – Aquitania	104	1,04	0,46%
Quebrada Ajies	142,5	1,42	0,63%

Nombre	Área (Ha)	Área (Km2)	Porcentaje
Directos Lago de Tota Península de Aquitania	76,4	0,76	0,34%
Cañada Los Lamos	465,3	4,65	2,07%
Quebrada Aguablanca	756,8	7,57	3,36%
Quebrada Mugre	344,8	3,45	1,53%
Río Tobal	3.159,90	31,6	14,03%
Directos Lago de Tota entre Río Tobal y Quebrada Los Pozos	165,8	1,66	0,74%
Directos Lago de Tota Este - Aquitania	54	0,54	0,24%
Quebrada Los Pozos	661,4	6,61	2,94%
Quebrada Los Corales	222,8	2,23	0,99%
Quebrada Salvia	210,9	2,11	0,94%
Directos Lago de Tota entre Quebradas Salvia y Las Cintas	273,4	2,73	1,21%
Quebrada Las Cintas	3.111,20	31,11	13,81%
Quebrada El Salitre	734,5	7,34	3,26%
Quebrada Los Rico	147,6	1,48	0,66%
Directos Lago de Tota Oeste - Cuítiva	336,2	3,36	1,49%
Cañada Guaquira	836,3	8,36	3,71%
Directos Lago de Tota Oeste - Tota	266	2,66	1,18%
Quebrada Casasia	417,2	4,17	1,85%
Quebrada Donsiquira	169,7	1,7	0,75%
Quebrada Arrayanes	209,1	2,09	0,93%
Quebrada Guachal	1.072,10	10,72	4,76%
Quebrada Zapatero	83,9	0,84	0,37%
Quebrada Hato Viejo	196,9	1,97	0,87%
Zanjón San Antonio	178,2	1,78	0,79%
Río Olarte	2.566,60	25,67	11,39%

Fuente. Modificado a partir de Peña, J. G. (2020).

Calidad del Agua

Uno de los principales retos que enfrenta la laguna de Tota es la calidad de su agua. A medida que pasan los años, se ha evidenciado una degradación en la calidad del agua de la laguna, principalmente debido a las actividades humanas que se llevan a cabo en sus alrededores.

La contaminación del agua de la laguna de Tota es un asunto preocupante, ya que afecta no solo a la biodiversidad acuática, sino también a las comunidades que dependen de este recurso para actividades como la pesca y la agricultura. Se ha identificado la presencia de contaminantes como sedimentos, nutrientes, pesticidas y metales pesados en el agua de la laguna, lo cual afecta su calidad y potencialmente la salud de quienes la consumen, (Ramírez, A. y Paeres, A., 2005).

A continuación, se relacionan las variables de calidad de agua que presenta actualmente la laguna de Tota.

Tabla 8.

Variables de la calidad del agua

Variable	Descripción
Temperatura del agua	Escenario Seco: Puede alcanzar los 20°C Escenario Húmedo: Puede descender hasta los 5°C
pH	El pH se encuentra en un rango de 6.54 a 9.27 dependiendo de la zona que se esté revisando
Conductividad	Puede variar entre los 93.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y los 119.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dependiendo de la zona que se esté revisando
Dureza	Puede variar entre los 150 y 300 ppm dependiendo de la zona que se esté revisando
Oxígeno Disuelto	Puede variar entre los 3.07 mg/L y los 8.69 mg/L dependiendo de la zona que se esté revisando
Nitratos y Nitritos	Puede variar entre los 0.4 y los 0.44 mg/L-N dependiendo de la zona que se esté revisando
Clorofila	Puede variar entre 1 y 40 $\mu\text{g}/\text{L}$ dependiendo de la época del año, las condiciones climáticas y los niveles de nutrientes que se encuentran en el agua
Coliformes totales	Puede variar entre los 110 NMP/100ml y los 220 NMP/100ml dependiendo de la zona que se esté revisando
DBO	Puede variar entre los 2.4 mg/L-O ₂ y los 3.6 mg/L-O ₂ dependiendo de la zona que se esté revisando
DQO	Puede variar entre los 11.6 mg/L-O ₂ y los 14.7 mg/L-O ₂ dependiendo de la zona que se esté revisando
SST	Puede variar entre <1.60 mg/L-SS y los 5.1 mg/L-SS dependiendo de la zona que se esté revisando

Variable	Descripción
Turbiedad	Puede variar entre 1.56 NTU y los 3.07 NTU dependiendo de la zona que se esté revisando

Fuente. Modificado a partir de Corpoboyacá (2005).

Estructura y Composición del Suelo en los Alrededores de la Laguna

El suelo de la laguna de Tota es predominantemente rico en minerales como arcilla, arena y limo, lo que le confiere una textura variable. Además, debido a su origen volcánico, también contiene rocas volcánicas y minerales como la toba volcánica.

El suelo presente en la laguna de Tota se encuentra conformado por tres capas, las cuales se relacionan a continuación.

Capa Superficial. Es la capa más externa del suelo, compuesta por una mezcla de materia orgánica en descomposición, restos de plantas y animales, así como minerales como arcilla, arena y limo. Esta capa es rica en nutrientes y es donde se llevan a cabo la mayoría de los procesos biológicos.

Capa de Transición. Debajo de la capa superficial se encuentra una capa de transición que está compuesta principalmente por sedimentos finos y minerales depositados durante largos períodos de tiempo. Esta capa tiende a ser más compacta y menos permeable que la capa superficial.

Capa Freática. Es la capa de agua subterránea que se encuentra debajo de la capa de transición. La laguna de Tota se considera una laguna freática, lo que significa que está conectada a un acuífero subterráneo.

Este tipo de composición y estructura del suelo de la laguna de Tota es esencial para la sustentabilidad de los ecosistemas acuáticos que dependen de ella, así como para el crecimiento y desarrollo de la flora y fauna que habita en la zona.

Características Socioeconómicas de la Laguna de Tota

Actividades Productivas

Según Waves (2016), en la laguna de Tota se llevan a cabo diversas actividades productivas, las cuales desempeñan un papel importante para la economía local y regional, dentro de estas actividades se encuentran las siguientes.

Agricultura. Debido a la ubicación geográfica y la fertilidad del suelo, la laguna de Tota cuenta con las características óptimas para la realización de actividades agrícolas, las cuales son fundamentales para la subsistencia de las comunidades ya que contribuyen con la economía regional.

Dentro de las principales actividades agrícolas se encuentra el cultivo de cebolla, papa de año, papa criolla, habas y arveja principalmente, siendo la cebolla larga la que ocupa la mayor extensión del área que rodea la laguna de Tota, encontrándose en un porcentaje más alto en Aquitania, seguido por Cuitiva y en menor cantidad en Tota.

El agua de la laguna es utilizada para el riego de los cultivos, lo que ha permitido un aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, las actividades agrícolas conservan prácticas tradicionales en algunas zonas y en cierta medida, sin embargo el crecimiento de la población y el cambio climático han presentado desafíos para la sostenibilidad de estas actividades en la región.

Cebolla Larga. La cebolla larga conocida científicamente como *Allium fistulosum*, representa la mayor rentabilidad y se ha expandido hacia las zonas de laderas al borde de la laguna de Tota. Teniendo en cuenta que estos cultivos necesitan de una gran cantidad de agua para su riego en todo momento, los agricultores realizan desvíos de quebradas, ríos, cañadas y

reservorios de agua que desembocan en la laguna de Tota, con el fin de tener acceso a ella durante épocas secas.

Dentro de los sistemas de riego se encuentran la microaspersión por medio de una motobomba, por medio de zanjas y el aprovechamiento de la gravedad o simplemente por la diferencia de alturas, durante las épocas secas es necesario realizar el riego durante tres horas cada cuatro días.

El cultivo de cebolla es transitorio, por lo que cada año es renovado y los productores utilizan prácticas como el arado con tractor o bueyes. Durante el periodo del cultivo se realiza la fertilización foliar y edáfica, también es importante la aplicación de fungicidas e insecticidas permanentemente, para mantener los niveles de producción esperados y evitar plagas como el trozador (*Argotis ípsilon*) y los tierreros (*Peridioma sausia*), presentes en zonas con altos niveles de humedad relativa.

Para el aumento de materia orgánica de los suelos se utiliza la gallinaza con viruta, sin embargo, cuando el capital de los productores no es mucho para suplir el alto costo de este fertilizante, acuden al uso de bovinaza, conejaza y ovinaza.

Papa de Año y Papa Criolla. La papa de año y la papa criolla conocidas científicamente como (*Solanum tuberosum*) y (*Solanum phureja*) respectivamente, hace parte de los cultivos alternos o para el consumo de las familias y presenta una mayor importancia a nivel comercial en la vertiente occidental, en las zonas que tienen acceso al agua en cualquier temporada genera la siembra en los meses de enero y febrero, sin embargo, los cultivos que se encuentran lejos de fuentes de agua fija, el periodo de siembra se debe retrasar a los periodos de lluvia.

Para este cultivo el suelo debe estar suelto a una profundidad de 20 cm, por lo cual los productores usan tractores, arado con bueyes y en ocasiones también se genera arado con

caballos. Durante el periodo del cultivo se aplican fertilizantes como la gallinaza o abonos químicos que ayudan a controlar plagas como la gota (*Phytophthora infestans*), la polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*) y el gusano blanco (*Premnotrypes vorax*).

Haba. Conocida científicamente como (*Vicia faba*), es cultivada en las zonas de ladera teniendo en cuenta el acceso continuo de agua, las habas son más resistentes que la cebolla larga y generalmente lo rotan con cultivos de papa o pastizales.

Dentro de las enfermedades que atacan el cultivo de habas se encuentran el cenicillo y el trozador, por lo que se usan insecticidas y fungicidas.

Arveja. La arveja o (*Pisium sativum*) como se conoce científicamente, no genera mayor consumo de agua y en algunas zonas se intercala con los cultivos de cebolla. Las enfermedades que atacan los cultivos de arveja son la gota (*Phytophthora infestans*), el trozador (*Argotis* epsilon) y el cenicillo (*Pernospora destructor*), por lo cual se aplican fungicidas e insecticidas.

Piscicultura o Acuicultura. Es la segunda actividad más importante del municipio de Aquitania, teniendo en cuenta la disponibilidad de la cuenca de agua dulce, para la cría de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), mediante un sistema de jaulas flotantes en la laguna, de las cuales se disponen 222 jaulas correspondientes al uso del 0,02% del espejo de agua, adicional a la cría de la trucha también se generan actividades de eviscerado, deshuesado y empaque, para su comercialización final.

Ganadería. Se presenta la producción de ganadería ovina y bovina extensiva con fines de comercialización, esta actividad se ubica en el tercer puesto de producción de la región y se realizan en las zonas de la ladera y de páramos, representando afectaciones ambientales de estas zonas mediante el deterioro y contaminación del suelo, también se presenta la cría de conejos, aves de corral y cerdos en una escala menor y para el consumo familiar.

Esta producción se realiza en las zonas de ladera consideradas como zonas de descanso de cultivos, donde se encuentra pastos kikuyu (*Pennisetum clandestinum*), falsa poa (*Holcus lanatus*) y azul orchoro (*Dactylis glomerata*) y las cuales pueden soportar la producción pecuaria extensiva.

Ganadería Bovina. La ganadería bovina se maneja como doble propósito, el manejo de los pastizales se realiza por pastoreo controlado con razas como la normando principalmente y la Holstein cruzadas con razas criollas.

Ganadería Ovina. La ganadería ovina permite el comercio de crías y la producción de lana, el número de rebaños está sujeto a la disponibilidad de pastos en las zonas de pastoreo.

Actividades Adicionales. Dentro de las actividades con menor intensificación en la región, se desarrollan actividades industriales por ladrilleras ubicadas en el municipio de Sogamoso, la elaboración de gallinaza en los municipios de Aquitania, Cuitiva y Tota y la planta de tratamiento ubicada en la vereda el cajón. Otras actividades enfocadas en productos de ornamentación y mecánicas, las cuales no representan afectaciones a la laguna de Tota, sin embargo, si se realiza el abastecimiento de agua para la siderúrgica Paz del río, la cual se encuentra ubicada en el municipio de Sogamoso.

Otra de las actividades realizadas en torno a la laguna de Tota es el turismo, por lo cual se encuentran infraestructuras hoteleras y restaurantes, que atraen a muchos turistas por el contacto con la naturaleza y sus espectaculares vistas.

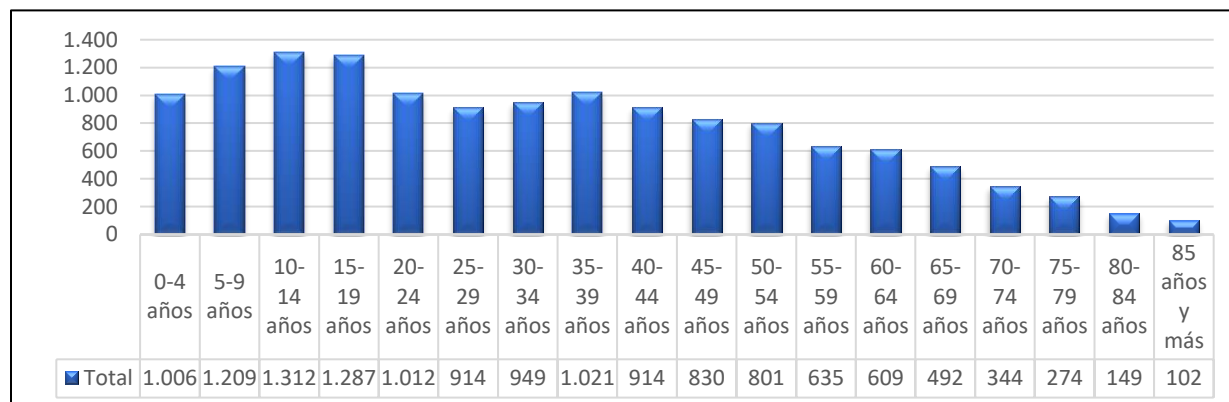
Población Local por Edad

Municipio de Aquitania. De acuerdo con el Censo nacional de población y vivienda 2018, el municipio de Aquitania cuenta con una población de 13.860 habitantes, de los cuales se evidencia un mayor porcentaje en los grupos de edades entre los 0 a 19 años y en menor

porcentaje los grupos de edades de 70 años en adelante, tal como se evidencia en la siguiente gráfica.

Figura 4.

Población por grupo de edad, Municipio de Aquitania Boyacá.

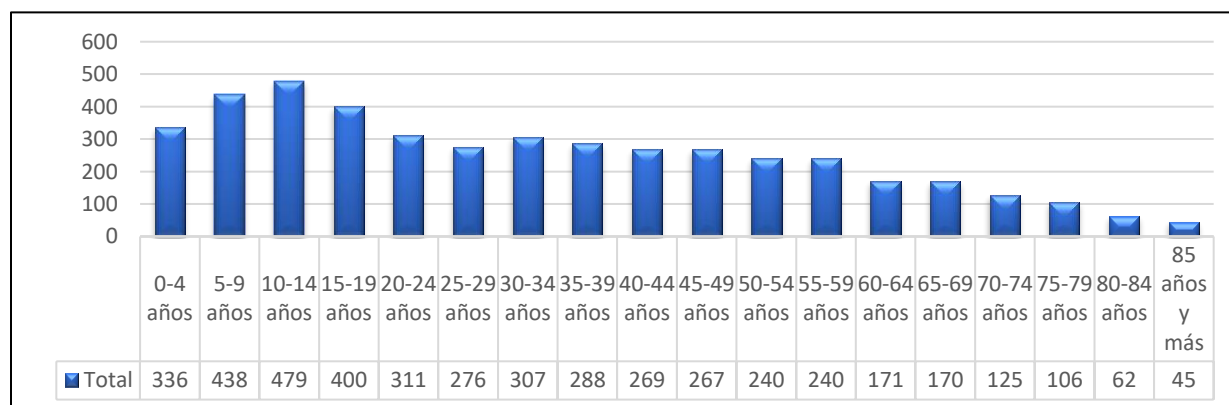


Fuente. Censo nacional de población y vivienda 2018 – DANE.

Municipio de Tota. De acuerdo con el Censo nacional de población y vivienda 2018, el municipio de Tota cuenta con una población de 4.530 habitantes, de los cuales se evidencia un mayor porcentaje en los grupos de edades entre los 0 a 19 años y en menor porcentaje los grupos de edades de 70 años en adelante, tal como se evidencia en la siguiente gráfica.

Figura 5.

Población por grupo de edad, Municipio de Tota Boyacá.

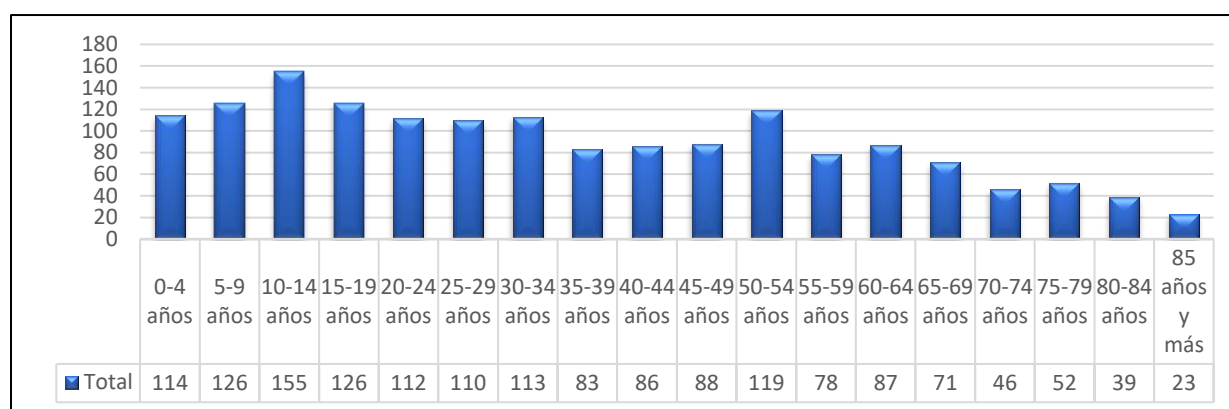


Fuente. Censo nacional de población y vivienda 2018 – DANE.

Municipio de Cúitiva. De acuerdo con el Censo nacional de población y vivienda (2018), el municipio de Cúitiva cuenta con una población de 1.628 habitantes, de los cuales se evidencia un mayor porcentaje en los grupos de edades entre los 5 a 19 y 50 a 54 años, y en menor porcentaje los grupos de edades de 70 años en adelante, tal como se evidencia en la siguiente gráfica.

Figura 6.

Población por grupo de edad, Municipio de Cúitiva Boyacá.

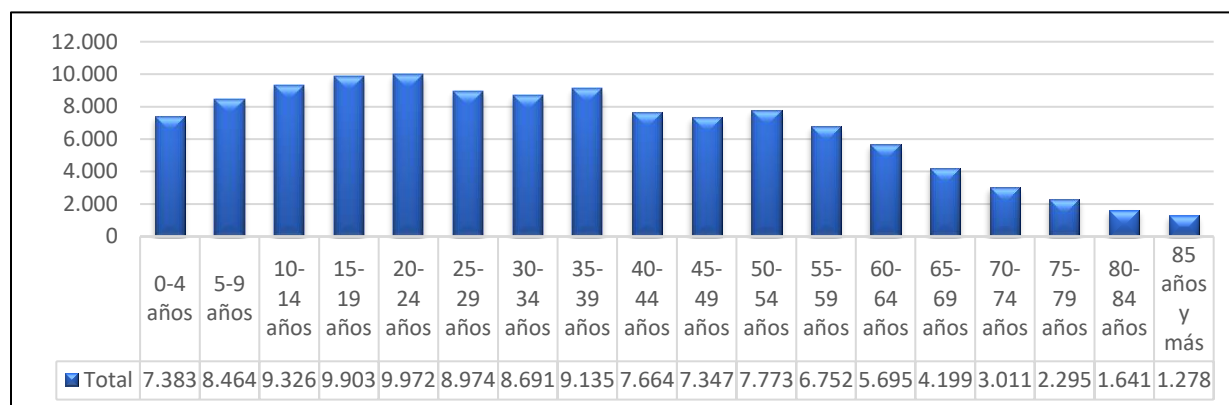


Fuente. Censo nacional de población y vivienda 2018 – DANE.

Municipio de Sogamoso. De acuerdo con el Censo nacional de población y vivienda (2018), el municipio de Sogamoso cuenta con una población de 119.503 habitantes, de los cuales se evidencia un mayor porcentaje en los grupos de edades entre los 10 a 24 años, y en menor porcentaje los grupos de edades de 75 años en adelante, tal como se evidencia en la siguiente gráfica.

Figura 7.

Población por grupo de edad, Municipio de Sogamoso Boyacá.



Fuente. Censo nacional de población y vivienda 2018 – DANE.

Desarrollo Socioeconómico

En términos de desarrollo socioeconómico, la Laguna de Tota se encuentra en una zona rural que depende principalmente de la agricultura y la ganadería como actividades económicas principales. Los cultivos más comunes en la zona son la cebolla, la papa, las habas, la arveja, los tomates entre otros.

El turismo también es muy importante en la economía de la zona, ya que la Laguna de Tota es un destino turístico popular para quienes buscan disfrutar de la belleza natural del lugar y participar en actividades acuáticas como la pesca y el ecoturismo.

Sin embargo, a pesar de su potencial turístico y su riqueza natural, el nivel de desarrollo socioeconómico de la Laguna de Tota es relativamente bajo. La falta de infraestructura básica, como carreteras, servicios de salud y educación, limita las oportunidades de desarrollo para la población local.

Además, la falta de acceso a servicios básicos y la poca diversificación económica han llevado a altos índices de pobreza y desigualdad en la zona. Muchos habitantes de la Laguna de

Tota viven en condiciones precarias, con limitado acceso a servicios básicos como agua potable y electricidad.

Teniendo en cuenta lo anterior, se están realizando esfuerzos para impulsar el desarrollo socioeconómico de la Laguna de Tota, por medio de la implementación de proyectos que buscan mejorar la infraestructura, promover el turismo sostenible y diversificar la economía para reducir la dependencia de la agricultura y la ganadería.

La inversión en infraestructura, educación y diversificación económica son clave para mejorar las condiciones de vida de la población local y aprovechar plenamente el potencial turístico y natural de la zona.

Teniendo en cuenta lo anterior es importante realizar la medición del desarrollo socioeconómico de la laguna de Tota, por medio de la recopilación y análisis de datos que deben ser recolectados utilizando procesos de investigaciones, encuestas, entrevistas y estadísticas del gobierno principalmente, esta información permite comprender de forma precisa la situación socioeconómica de la región.

Tabla 9.

Aspectos para la medición del desarrollo socio-ecológico

Áreas	Pasos
Indicadores sociales	Nivel educativo de la población local
	Tasas de empleo y desempleo
	Ingreso per cápita y distribución del ingreso
	Acceso a servicios de salud y calidad de atención médica
	Acceso a servicios básicos como agua potable, saneamiento y electricidad
	Índices de pobreza y desigualdad
	Tasa de mortalidad infantil y esperanza de vida
Indicadores económicos	Participación en actividades comunitarias y sociales
	Producto interno bruto (PIB) local y regional
	Diversidad y tipo de industrias presentes

Áreas	Pasos
	Tasa de inflación y estabilidad económica Nivel de inversión pública y privada en la región Tasas de interés y acceso a crédito Generación de empleo y crecimiento económico
Actividades económicas relacionadas con la laguna	Evaluación de la pesca: cantidad y diversidad de especies, métodos de pesca, sostenibilidad. Turismo: número de visitantes, ingresos generados, impacto en la comunidad y el medio ambiente. Agricultura y ganadería: tipos de cultivos y producción ganadera, prácticas sostenibles, seguridad alimentaria.
Impactos ambientales	Calidad del agua de la laguna: niveles de contaminación, eutrofización, presencia de nutrientes. Biodiversidad: estado de especies endémicas y migratorias, salud de los ecosistemas acuáticos y terrestres. Conservación y sostenibilidad: medidas de manejo y protección de la laguna y sus alrededores.
Participación comunitaria	Evaluación de la participación local en la toma de decisiones y la gestión de los recursos de la laguna. Grado de empoderamiento de la comunidad en asuntos relacionados con el desarrollo socioeconómico y ambiental.
Indicadores de cambio climático	Identificación de tendencias climáticas locales y regionales. Evaluación de medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático.

Sistemas de Gobernanza

Actores

Municipios que Interactúan con la Laguna de Tota

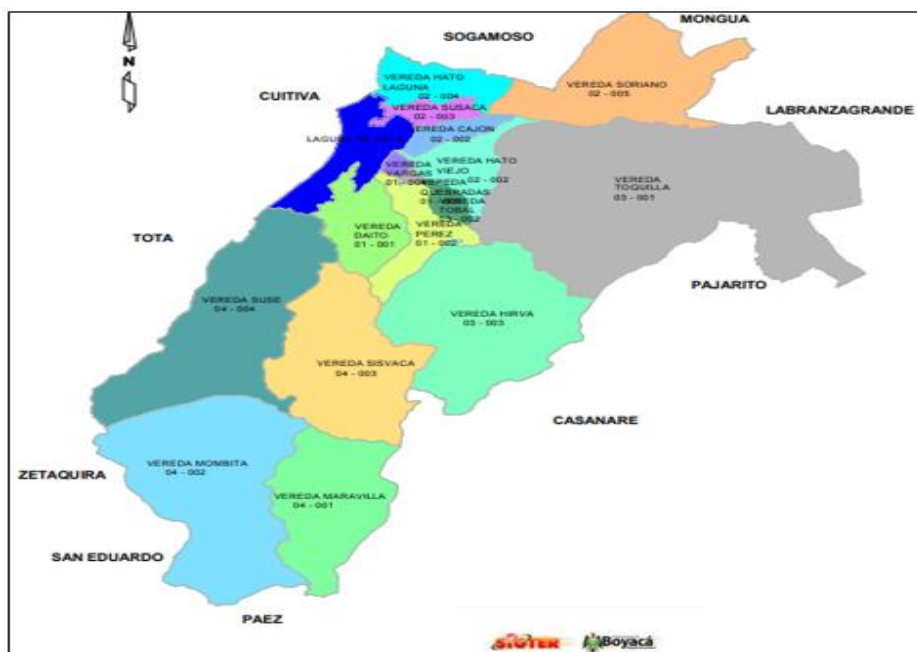
Aquitania. El municipio de Aquitania se localiza en el departamento de Boyacá, más exactamente hacia el costado centro oriental sobre la provincia de Sugamuxi, presenta una altitud de 3030 m.s.n.m, una temperatura media anual de 12°C y precipitaciones de 947 mm al año, cuenta con una extensión rural de 855,72 y urbana de 1,07 para un total de 856,80 km de los

cuales un 72% de la superficie bordea la laguna de Tota, en la cual se presenta una humedad relativa del 70%.

El municipio es conformado por 16 veredas las cuales ocupan una extensión de 91.317 hectáreas, mientras que la laguna de Tota y las islas de San Pedro y Cerro Chino cuentan con una extensión de 2.935,16 hectáreas y el casco urbano cuenta con 95,8 hectáreas. Las áreas que cuentan con zonas planas se encuentran alrededor de la laguna de Tota, mientras que las zonas de paramos presentan superficies onduladas, en donde la altitud supera los 3.200 m.s.n.m.

Figura 8.

División política del municipio de Aquitania Boyacá



Fuente. OT municipio de Aquitania

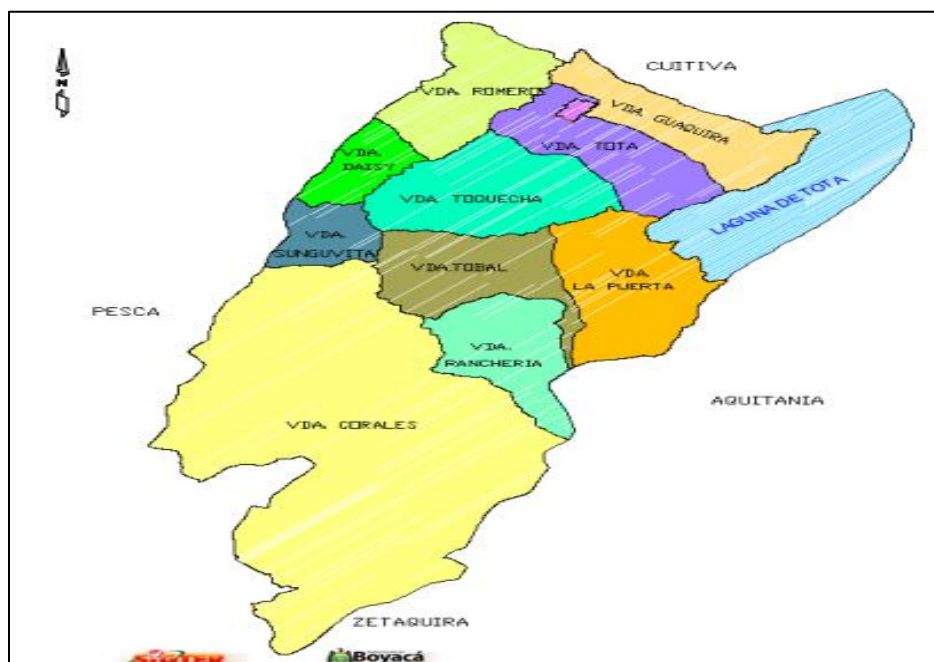
Municipio de Tota. El municipio de Tota se localiza en el departamento de Boyacá, más exactamente sobre la cordillera oriental sobre la provincia de Sugamuxi, bordeando la laguna de Tota, presenta una altitud de 2870 m.s.n.m, una temperatura media anual que oscila entre los 12 y 18°C y precipitaciones de 2215 mm al año, cuenta con una extensión rural de 183,95 km y

urbana de 0,43 km, para un total de 184,38 km, se presenta una humedad relativa que alcanza el 90% sobre las zonas más altas de páramos, mientras que en el casco urbano la humedad se encuentra entre el 65 y el 75%.

El municipio está conformado por las veredas Corales, Daysi, La Puerta, Guaquira, Ranchería, Tobal, Tota, Sunguvita, Toquechá y Romero Amaya (2019), mientras que la zona urbana se encuentra determinada por el perímetro que se encuentra construido con servicios públicos.

Figura 9.

División política del municipio de Tota Boyacá.



Fuente. OT municipio de Tota

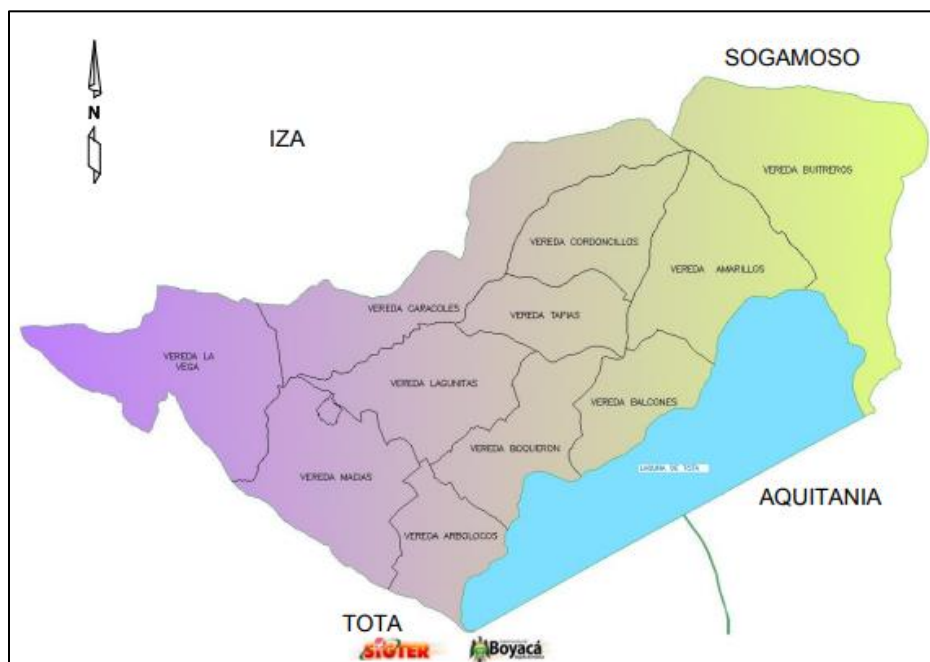
Municipio de Cuitiva. El municipio de Cuitiva se localiza en la provincia de Sugamuxi, departamento de Boyacá, dentro de la zona agroecológica once, presenta una altitud comprendida entre los 2.727 y los 3.200 m.s.n.m, una temperatura media anual que oscila entre los 5°C en las madrugadas y 18°C hacia el mediodía, con presencia de lloviznas, vientos

húmedos y veranos prolongados, las precipitaciones son de aproximadamente 3.223 mm al año, cuenta con una extensión rural de 46,312 km y urbana de 0,1372 km, para un total de 46,4492 km² que se extiende en sentido norte-sur, la humedad relativa más alta se presenta durante los meses de abril y mayo en un 93%, mientras que para el mes de enero se presenta la humedad relativa más baja con un porcentaje de 86%.

El municipio está conformado por las veredas Arbolocos, Lagunitas, Cordoncillos, La Vega, Amarillos, Balcones, Boquerón, Buitreros, Macías, Caracoles, Tapias, mientras que por el oriente limita con el municipio de Sogamoso, por el sur limita con el municipio de Tota, por el norte con el municipio de Iza y por el occidente con el municipio de Aquitania.

Figura 10.

División política del municipio de Cútiva Boyacá.



Fuente. OT municipio de Cútiva

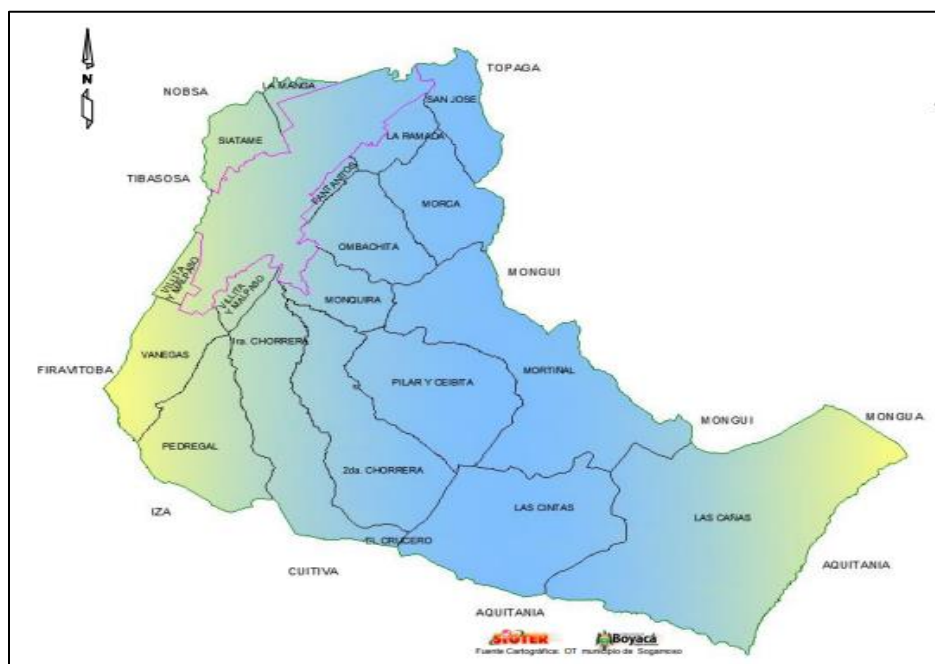
Municipio de Sogamoso. El municipio de Sogamoso se localiza en el departamento de Boyacá, más exactamente en la provincia de Sugamuxi, presenta una altitud que varía entre los

2.500 y 4.000 m.s.n.m, una temperatura que varía entre los 13,7°C y los 14,8°C, la precipitación más alta se encuentra en 330 mm para el mes de abril, mientras que la más baja es de 96 mm en el mes de enero, cuenta con una extensión rural de 186,4399 km y urbana de 21,6352 km, para un total de 208,0751 km, se presenta una humedad relativa media del 69% al 76%.

El municipio está conformado en su zona urbana por 74 barrios, pero solo 27 de estos se constituyeron legalmente, mientras que los 47 restantes fueron conformados por medio de urbanizaciones, en cuanto a la zona rural el municipio cuenta con 17 veredas.

Figura 11.

División política del municipio de Sogamoso Boyacá.



Fuente. Cartográfica OT municipio de Sogamoso

La Laguna de Tota es una reserva importante en Colombia que requiere protección para sus diversos recursos naturales. Esto implica la colaboración de varios sistemas de gobierno y actores que trabajan en la formulación de políticas, control, investigación, preservación y gestión ambiental de los recursos hídricos y naturales. Estos actores representan a instituciones públicas

y privadas, organizaciones comunitarias y ONGs, y operan a nivel municipal, regional y nacional., (WAVES 2016).

Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta la descripción de los principales actores relacionados con el manejo de los recursos naturales de la laguna de Tota de acuerdo con su nivel territorial y las funciones que desempeñan.

Tabla 10.

Actores que intervienen en la laguna

Nivel Político Territorial	Sistemas de Gobernanza	Actor	Función
Nacional	2. Autoridades ambientales	Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)	Responsables de la protección y manejo de los recursos naturales dentro de la laguna de Tota. Estas entidades tienen el poder y la autoridad para establecer regulaciones, emitir permisos y tomar medidas para proteger el ecosistema de la laguna.
		Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)	
Nacional	3. Instituciones gubernamentales	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)	Realizan actividades que permiten promover la conservación, el manejo sostenible y la protección del entorno de la laguna de Tota, dichas actividades se encuentran enfocadas en el monitoreo ambiental, la implementación de políticas y normativas, la promoción del turismo sostenible, la educación ambiental, la planificación territorial, el control de actividades extractivas, la investigación
		Departamento Nacional de Planeación (DNP)	
Local		Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR)	
		Alcaldía Municipal de Aquitania Alcaldía Municipal de Cuitiva	

Nivel Político Territorial	Sistemas de Gobernanza	Actor	Función
Regional		Alcaldía Municipal de Tota	científica y la participación en mesas de dialogo. Estas instituciones trabajan en la búsqueda de estrategias que permitan un desarrollo sostenible en la laguna de Tota garantizando el valor ecológico, cultural y económico.
		Gobernación de Boyacá Asamblea departamental Direcciones de desarrollo y planeación Secretarías de despacho	
Local	4. Comunidades locales	Comunidades indígenas	Tiene un papel importante en la toma de decisiones y la gestión sostenible de la laguna, dentro de sus actividades se encuentran: La participación en las mesas de dialogo, la planificación y gestión de los recursos naturales, la vigilancia y monitoreo ambiental, la educación y sensibilización, salvaguardar las prácticas culturales, la gestión de los conflictos y el desarrollo se iniciativas sostenibles entre otras.
		Comunidades campesinas	
		Comunidades rurales	
Locales e internacionales	5. Organizaciones no gubernamentales	Fundación Mojarra del Lago Sagrado de Tota.	Diversas organizaciones no gubernamentales, tanto locales como internacionales, trabajan en la conservación y gestión sostenible de la laguna de Tota. Estas organizaciones desempeñan un papel clave en la investigación, monitoreo,
		Red Colombiana de Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RENAREC).	
		Fundación EcoAndina.	
		Fundación para la Investigación y	

Nivel Político Territorial	Sistemas de Gobernanza	Actor	Función
		Desarrollo Agroambiental (FIDA). Corporación Lagunas de Colombia (COLCIENCIAS). Fundación Naturalia. Corpoboyaca	educación ambiental, promoción de buenas prácticas y apoyo a las comunidades locales.
Regionales o nacionales	6. Sector privado	Empresas turísticas Empresas agrícolas Empresas pesqueras	Estas empresas pueden estar sujetas a regulaciones y políticas ambientales y pueden contribuir tanto positiva como negativamente al desarrollo sostenible de la laguna.
Local	7. Asociaciones gremiales y asociaciones comunitarias	Consejo de Cuenca Mesa de trabajo permanente de la laguna de Tota Asociaciones de acueductos veredales Asolago Grupo colectivo defensa y salvación de la laguna de Tota.	Participación en los procesos de gestión y monitoreo. El consejo de Cuenca en particular opera como instancia consultiva y representativa de todos los actores que viven y desarrollan actividades dentro de la cuenca.

Fuente. WAVES (2016).

Unidades de Recursos Laguna de Tota

Circulación del Agua de la Laguna de Tota

La laguna de Tota es una fuente importante de abastecimiento para las poblaciones urbanas y veredas aledañas, por lo cual cuenta con un sistema de abastecimiento conformado por estructuras y equipos como válvulas, caseta, motores, bombas, líneas de aducción, válvulas de ventosa, entre otras, (Ricaurte, P. 2005).

El proceso de captación se genera por medio de una válvula de pie, la cual se encuentra ubicada a orillas del sector de Santa Inés en la laguna de Tota, la captación se realiza por medio de un sistema de bombeo, para el cual se cuenta con dos motores eléctricos y uno de Diesel ubicados en una caseta, estos motores son los responsables de poner en marcha las bombas que suministran el agua a la comunidad. Los motores funcionan por un lapso de 18 horas, desde las 11:00 de la noche y hasta las 5:00 de la tarde, accionándose de forma automática (Ricaurte, P. 2005).

Por su parte la línea de aducción cuenta con una longitud de 1200 m y tres válvulas de ventosa, está conformada por dos líneas, la más nueva es de PVC y cuenta con un diámetro de 6", mientras que la más antigua es de asbesto cemento con el mismo diámetro y es la más utilizada teniendo en cuenta el costo y el mantenimiento del motor que utiliza (Ricaurte, P. 2005).

El abastecimiento de agua potable al municipio de Aquitania para la zona rural es suministrado por los acueductos veredales mediante una cobertura baja, mientras que la zona urbana es abastecida por la Unidad de Servicios Públicos, en cuanto al saneamiento básico, éste municipio vierte sobre la cuenca de la quebrada La Mugre, la cual corresponde a uno de los afluentes de la laguna de Tota, por medio de la red de alcantarillado, la cual cuenta con una cobertura del 92%, aunque el municipio cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, lastimosamente esta no se encuentra en funcionamiento por el alto costo de operación y mantenimiento, mientras que la disposición de los residuos sólidos se realiza en el relleno sanitario ubicado en el municipio de Sogamoso, (Wawes, 2016).

El abastecimiento de agua potable para el municipio de Tota proviene de la cuenca de la laguna de Tota, donde el prestador del servicio es el mismo municipio, el servicio es

suministrado a la comunidad desde el sector del Túnel de Cuitiva, de donde se abastecen las veredas de Tota y Guáquira, (Waves, 2016).

Al igual que el municipio de Tota, el abastecimiento de agua potable para el municipio de Cuítiva, proviene de la cuenca de la laguna de Tota, es suministrada desde el sector del Túnel de Cuítiva, mediante la Empresa de Servicios Públicos (Waves, 2016).

El municipio de Sogamoso cuenta con 8 acueductos de los cuales 1 abastece el área urbana y los restantes ofrecen un abastecimiento al área rural, estos acueductos captan el agua de la laguna de Tota, el río Tejar y el pozo profundo la Esperanza, el sistema de abastecimiento por dos plantas, la primera conocida como la planta del sur y la segunda como planta Chacón, la capacidad de almacenamiento supera los 11.660 m³, el área urbana se encuentra dividida en 10 sectores, mientras que el área rural presenta 240 km de redes de acueducto. El abastecimiento se genera por medio de tuberías de 14 y 16 pulgadas y haciendo uso de la gravedad, el agua es trasladada a la vereda la Villita Malpaso en donde es almacenada en tanques de concreto, allí se realiza el tratamiento en la planta Chacón de donde es inyectada a la red de alcantarillado y distribución del municipio (Ricaurte, P. 2005).

Las aguas provenientes del páramo se manejan como sistemas de acueductos veredales, los cuales se surten por medio de bocatomas en zonas como el Tobal, Ranchería, Toquechá, la Puerta y Corales, el agua es distribuida desde los tanques de almacenamiento por medio de mangueras hasta las viviendas, sin embargo, este sistema no llega hasta todos los hogares, por lo cual el acceso de agua lo realizan por medio de nacimientos naturales, aljibes y caños menores principalmente (Ricaurte, P. 2005).

Tasa de Crecimiento o Reemplazo del Agua de la Laguna de Tota

Un estudio realizado por Wealth Accounting and Valuation of Ecosystem Services (WAVES) en su documento “Contabilidad Ambiental y Económica para el Agua: Caso Piloto para la Cuenca del Lago de Tota”, en donde se especifican los factores que interactúan e intervienen en la tasa de crecimiento o reemplazo del agua de la laguna de Tota, factores como precipitaciones, evaporación, infiltraciones, flujos de aguas, entre otros que se describirán a continuación con el fin de evidenciar los cambios que se han generado en la laguna de Tota durante el periodo de 1971 a 2013.

Nivel y Volumen de la Laguna de Tota. El Lago de Tota ha experimentado descensos significativos en su nivel en varios años, incluyendo 1975, 1984, 1988, 1990, 1991, 1998 y 2009. Estos descensos se deben a diversos factores como la disminución de la lluvia, el alto consumo de agua, la degradación del suelo y la influencia del fenómeno del Niño. Para abordar esta situación, la autoridad ambiental tomó medidas en la cuenca, como desviar el río Olarte hacia el lago en 1976 y restringir los caudales concesionados, especialmente para la actividad industrial, (WAVES, 2016).

En 2014, el IDEAM realizó un estudio batimétrico que estimó que la capacidad máxima de almacenamiento del lago era de 1650 hm³ con un nivel de agua máximo en la cota de 3.015 msnm. Sin embargo, un estudio anterior de 1978 había calculado una capacidad de 1941 hm³ para la misma cota. Esto indica una pérdida aproximada del 15% de la capacidad del lago en 36 años, equivalente a 291 hm³, y una reducción del 2.2% entre 1978 y 1998, con un estimado de 4.1 millones de toneladas de sedimentos ingresando al lago anualmente.

Estos datos sugieren un aumento significativo en la reducción de la capacidad del lago durante el periodo comprendido entre 1998 y 2014, pasando del 2.2% al 15% en tan solo 16 años.

Aumento en los Stocks

Precipitación. El estudio presentado por WAVES (2016), especifica que durante el periodo 1971 a 2013 en la cuenca de laguna de Tota se presenciaron precipitaciones medias de 827 mm/año, lo que significan entradas de agua promedio de 185 hm³/año, estas entradas aumentan durante los meses más lluviosos correspondientes a abril, mayo, junio y julio, donde el promedio alcanza los 98 mm/mes, mientras que disminuyen significativamente registrando un promedio de 16 mm/mes durante los meses de diciembre, enero y febrero correspondiente a la temporada seca.

Sin embargo, es importante tener en cuenta los años en los que se presenciaron fenómenos climáticos extremos, los cuales cambian el comportamiento de las precipitaciones drásticamente a tal punto que en el año 1997 se registró una precipitación anual de 556 mm/año bajo los efectos del fenómeno del niño, mientras que para el año 211 las precipitaciones aumentaron registrando un valor de 1193 mm/año bajo los efectos del fenómeno de la niña.

Entradas. Según los registros la laguna de Tota es alimentada por 27 subcuencas, incluyendo el Río Olarte, el cual fue desviado en el año 1976 con el fin de aumentar significativamente el nivel hídrico de la laguna, este río aporta en promedio el 12.7 hm³/año.

Disminución en el Stock

Evaporación. Durante el periodo del estudio realizado por WAVES (2016), se evidencia que la evaporación registra valores superiores a los de las precipitaciones, sin embargo, durante

los años 1979, 1994, 2003, 2004, 2010 y 2011 se registró un aumento de las precipitaciones generando un exceso de agua.

El registro de evaporaciones altas se da durante los meses comprendidos entre diciembre y marzo, mientras que el periodo de abril a noviembre la evaporación es menor registrando un valor de 1022 mm/año en promedio.

Análisis realizados durante el periodo de noviembre a marzo y el mes de septiembre muestran que la evaporación aumenta y supera a la precipitación generando un déficit que supera los 80mm/mes, registro que se considera como un máximo valor y se genera en el mes de enero.

Evapotranspiración. El estudio registra una evapotranspiración real de 525 mm/año multianual, teniendo como referencia un promedio multianual de 87.96 hm³/año, estos valores fueron calculados mediante el método de Turc. Sin embargo, para poder generar un punto de comparación se tomó como referencia el periodo comprendido entre 1971 a 2013 calculando la evapotranspiración por medio del método de Penman-Monteith, obteniendo como resultados un valor promedio de 1011 mm/año multianual.

Las diferencias presentadas en cuanto a la disminución generada se deben a la evapotranspiración real y la extracción de agua de la laguna en realización de actividades agropecuarias, del hogar y hoteleras.

Extracción de Agua. La cuenca de la laguna de Tota registra un aumento de extracción de agua entre el 5% y el 8% anual, durante el periodo comprendido entre 2010 y 2013, registrando un valor de 39.53 hm³ en 2010 y un 41.37 hm³ en el año 2013.

El agua que se extrae de la laguna de Tota, agua superficial y el agua del suelo, es utilizada principalmente en actividades agropecuarias, riego, acueducto, hogares, hoteles y la industria, se estima que el uso del agua aumentara con la realización de las actividades

económicas sobre todo en las actividades agrícolas, sin embargo, se ha visto una disminución en el uso de agua destinado para los acueductos fuera de la cuenca.

Tabla 11.

Uso del agua extraída, agua superficial y agua del suelo 2010 – 2013 (hm³)

Actividades Económicas	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013
Laguna de Tota	26.10	26.41	25.36	25.26
Agricultura	12.27	12.78	13.11	14.45
Ganadería	0.06	0.06	0.06	0.07
Piscicultura	3.96	3.96	3.83	3.83
Distrito de riego	4.18	4.37	4.56	4.83
Hogares	0.01	0.01	0.01	0.02
Acueductos	0.79	0.79	0.80	0.76
Hoteles	0.01	0.01	0.01	0.01
Industrias fuera de la cuenca	4.02	2.92	1.84	2.79
Acueductos fuera de la cuenca	13.08	14.29	14.25	12.95
Ríos y quebradas	1.15	1.18	1.20	1.66
Distritos de riego	0.36	0.38	0.40	0.79
Ganadería	0.03	0.03	0.03	0.03
Acueductos	0.66	0.66	0.67	0.77
Hogares	0.10	0.10	0.11	0.07
Agua del suelo	12.27	12.78	13.11	14.45
Agricultura	12.27	12.78	13.11	14.45
Total	39.52	10.37	39.67	41.37

Fuente. Modificado de WAVES- Informe-cuenta-del-agua-Lago-Tota.

Oferta de Agua. Se cuenta con el retorno de agua por parte de la actividad de piscicultura y la empresa de alcantarillado de Aquitania, la cual vierte en la quebrada La Mugre, sin embargo, estos retornos son muy bajos en comparación con la utilización, esta diferencia se da por que un importante volumen de agua es utilizado por las industrias y acueductos que se encuentran fuera de la cuenca, por lo cual el agua no retorna, adicional a esto otra fracción es utilizada por las actividades agrícolas, (WAWES, 2016).

Por su parte el agua utilizada en los hogares del casco urbano de Aquitania realiza sus vertimientos por el sistema de alcantarillado, mientras que la zona rural utiliza sistemas sépticos, de esta forma el retorno de agua de acuerdo con cada actividad económica se distribuye de la siguiente forma.

Tabla 12.

Retorno del agua por actividad económica 2010 – 2013 (hm³)

Actividades Económicas	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013
Alcantarillado	0.34	0.34	0.35	0.40
Hogares	0.33	0.32	0.33	0.37
Servicios	0.01	0.02	0.02	0.03
Al suelo	4.77	4.82	4.77	4.87
Agricultura	0.95	1.00	1.04	1.18
Piscicultura	3.17	3.17	3.06	3.07
Hogares	0.64	0.65	0.65	0.61
Hoteles	0.01	0.01	0.01	0.01
Total	5.11	5.16	5.11	5.27

Fuente. Modificado de WAVES- Informe-cuenta-del-agua-Lago-Tota.

Uso Final de Agua. El uso final del agua de la laguna de Tota se genera principalmente por las actividades agrícolas, luego por la piscicultura y finalmente se encuentran las actividades del hogar y la hotelería, a continuación, se relaciona la distribución de acuerdo con cada actividad económica, (WAWES, 2016).

Tabla 13.

Uso final del agua por tipo de actividad económica 2010 - 2013 (hm³)

Actividades Económicas	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013
Agricultura	14.50	15.11	15.53	17.21
Ganadería	0.09	0.09	0.09	0.10
Piscicultura	0.79	0.79	0.77	0.77
Hogares	0.24	0.24	0.24	0.24

Actividades Económicas	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013
Hoteles	0.00	0.00	0.00	0.00
Servicios	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	15.62	16.24	16.64	18.32

Fuente. Modificado de WAVES- Informe-cuenta-del-agua-Lago-Tota.

Valor Económico de la Laguna de Tota. La Laguna de Tota, debido a sus diversos recursos naturales y servicios ambientales, tiene un alto valor económico y ambiental para las comunidades locales. Proporciona agua dulce para consumo humano, agricultura y ganadería, además de regular el clima local y mantener la humedad en la región. Económicamente, ofrece oportunidades para la pesca comercial y deportiva, impulsando la economía local. También atrae turistas con actividades recreativas y contribuye al sector turístico. Desde una perspectiva ecológica y cultural, es importante para la biodiversidad y tiene un significado cultural para las comunidades indígenas, (IDEAM, 2022).

Sin embargo, la dependencia de la laguna presenta desafíos como la sobreexplotación pesquera y la contaminación del agua, que amenazan su sostenibilidad. Para abordar estos problemas, se requiere implementar medidas de conservación y regulación, promoviendo prácticas pesqueras responsables, mejorando la gestión de desechos y fomentando la agricultura y ganadería sostenibles. También es esencial promover el turismo responsable y educar a las comunidades sobre la importancia de conservar la laguna y sus recursos naturales.

Tabla 14.

Indicadores Hídricos Laguna de Tota 2022

Índice de regulación hídrica (IRH) año medio			
Valor		Categoría	
0.6		Baja	
Índice de uso del agua (IUA)			
Año medio		Año seco	
Valor	Categoría	Valor	Categoría

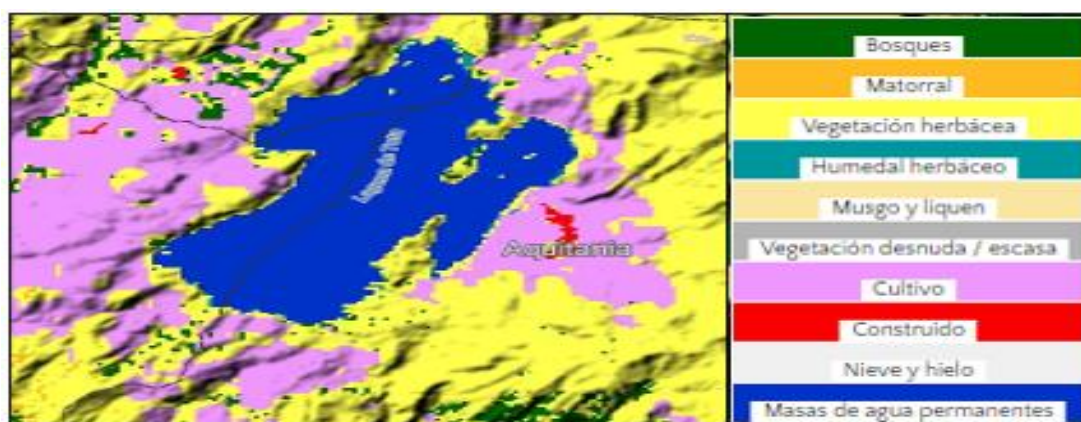
0.1	Baja	0.4	Alta
Índice del agua no retornada a la cuenca (IARC)			
Valor		Categoría	
0.0		Muy Baja	
Índice de eficiencia en el uso de agua (IEUA)			
Valor		Categoría	
0.1		Baja	
Índice de vulnerabilidad hídrica			
Año medio		Año seco	
Categoría		Categoría	
Media		Alta	
Índice de alteración potencial de la calidad del agua (IACAL)			
Año medio		Año seco	
Categoría		Categoría	
Media Alta		Muy Alta	

Fuente. Modificade de IDEAM – Estudio nacional del agua ENA (2022)

Coberturas del Suelo en la Laguna de Tota. A continuación, se muestra la cobertura del suelo que rodea la laguna de tota durante un lapso de 5 años, donde se evidencia el uso del suelo y las diferencias que se han presentado desde el año 2015 hasta el año 2019, en las diferentes coberturas.

Figura 12.

Cobertura del suelo año 2015.



Fuente. Global Land Cober

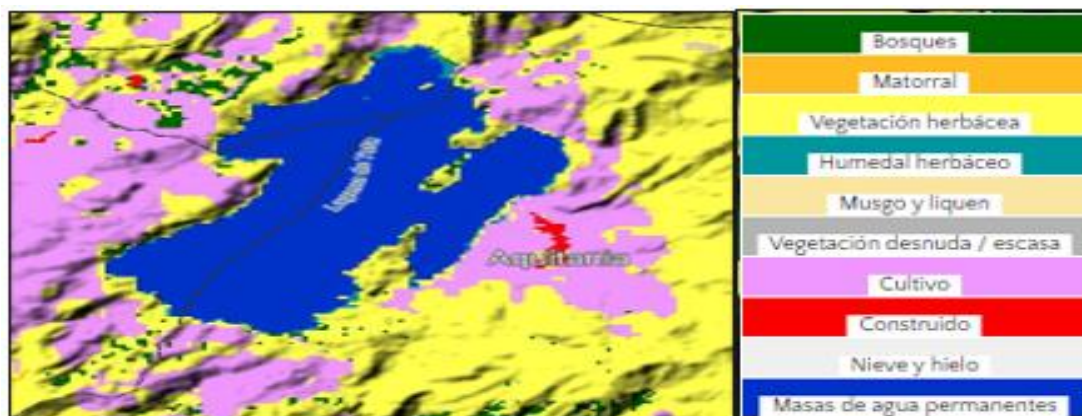
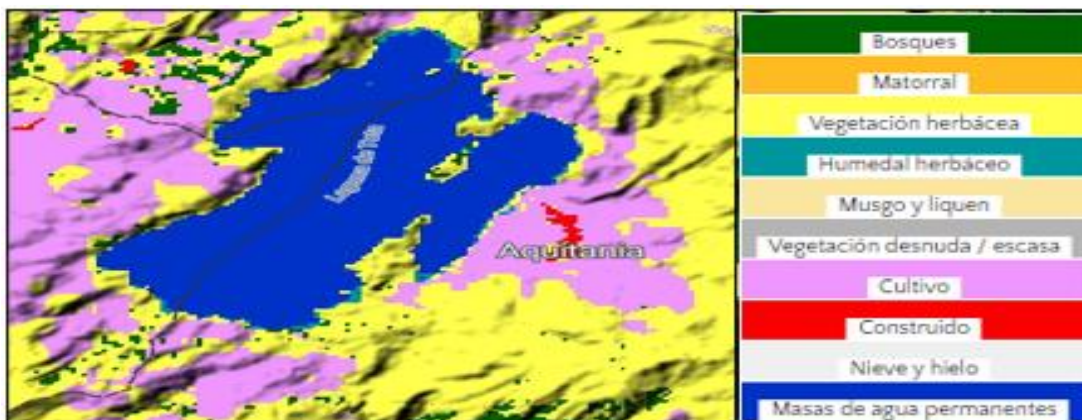
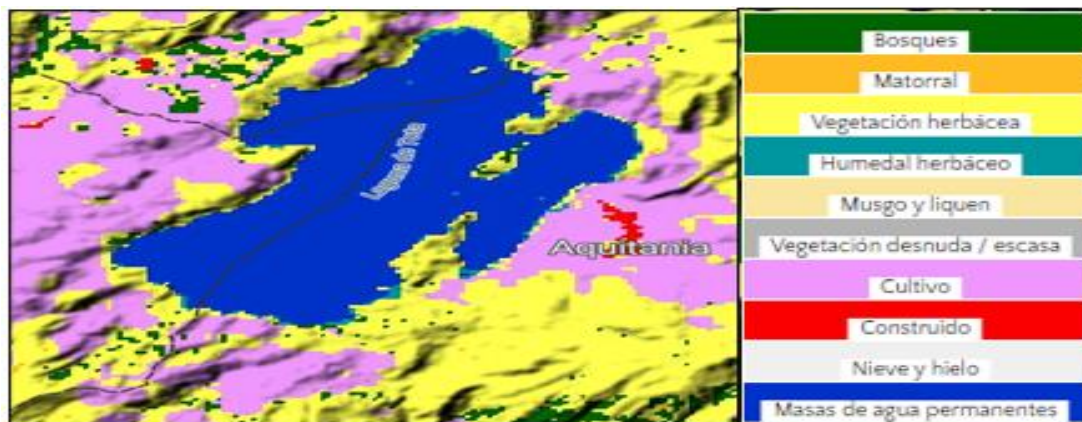
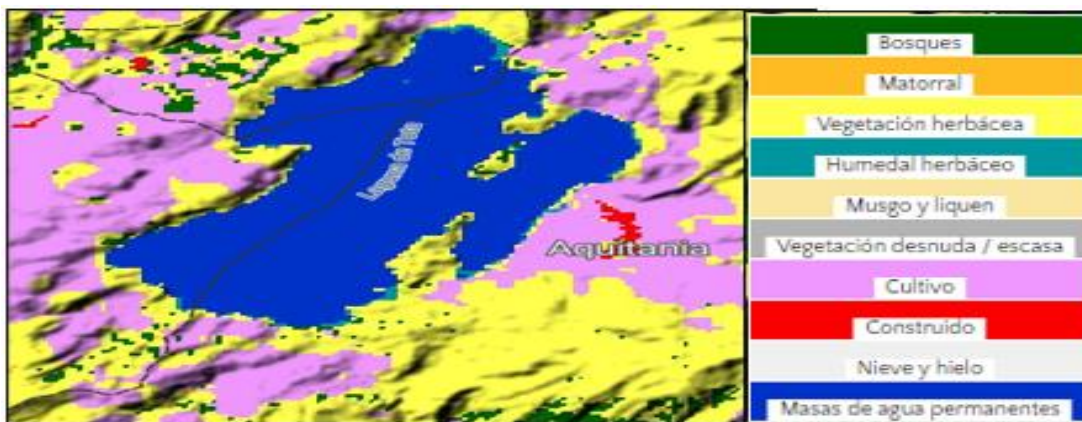
Figura 13.*Cobertura del suelo año 2016.**Fuente. Global Land Cover***Figura 14.***Cobertura del suelo año 2017.**Fuente. Global Land Cover*

Figura 15.*Cobertura del suelo año 2018.**Fuente. Global Land Cover***Figura 16.***Cobertura del suelo año 2019.**Fuente. Global Land Cover*

Patrones Climáticos. La laguna de Tota con el pasar de los años ha experimentado una serie de cambios a nivel climatológico, a causa del aumento del efecto invernadero, el cual altera de forma brusca la temperatura normal de la tierra.

Dentro de las afectaciones más relevantes que ha sufrido la laguna de tota, se encuentra los siguientes eventos durante las últimas décadas:

A lo largo de la década de 1990 se empieza a experimentar el aumento de la temperatura, lo cual genera una disminución de las precipitaciones, estos eventos representan una gran afectación para la calidad del agua y la vida acuática.

En la década de los 2000 se presencia una serie de incendios forestales, los cuales generan degradación de la tierra, provocando la erosión de los suelos y el aumento de sedimentación en la laguna.

Durante los años 2010 y 2015, se presencia el aumento de la evapotranspiración como producto del aumento de la temperatura y la disminución de la humedad, lo que generó una disminución de peces y demás organismos acuáticos por la disminución del nivel de agua de la laguna.

Durante los años 2016 y 2019 se presenta una disminución en la cantidad de precipitaciones, lo que conllevó a una gran disminución del nivel del agua y de la biodiversidad en la laguna, por el periodo de sequía que se presentó.

Para el periodo del 2020 a la actualidad, los efectos del cambio climático han aumentado, generando que la temperatura presente aumentos, las precipitaciones disminuyan y se minimice la cantidad de biodiversidad existente en la laguna, además de las afectaciones que recaen sobre la calidad del agua y las condiciones de vida acuática.

Para la verificación de la hidrografía de la laguna de Tota es necesario tener en cuenta las estaciones pluviométricas y climatológicas aledañas a la laguna, con el fin de recopilar la información necesaria durante un periodo de tiempo, que permita evidenciar las variaciones, las tendencias, los máximos y los mínimos, dichas estaciones forman parte de la red hidrometeorológica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, en conjunto con la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. Dentro de las

estaciones Pluviométricas, hidrológicas y climatológicas se encuentran las siguientes, (Nuñez. L. et al., 2014).

Tabla 15.

Estaciones Pluviométricas, hidrológicas y Climatológicas cercanas

Municipio	Estación	Tipo	Código	Corriente
Aquitania	Toquilla	PM	35190020	Cusiana
Sogamoso	Cintas	PG	35190010	Quebrada las Cintas
Aquitania	Guamo	PM	35090070	Upía
Aquitania	Potrerito	ME	35095050	Olarte
Aquitania	Las villitas	ME	35095080	Quebrada el Salitre
Paipa	Tunguavita	AM	24035170	Salitre
Sogamoso	El crucero	PM	24030760	Chicamocha
Cuitiva	El túnel	CO	35095030	Lago de Tota
Tota	Tota	ME	35095060	Tota
Aquitania	Desaguadero	LM	35097010	Olarte
Aquitania	Hato Laguna	LM	35097030	Quebrada las Cintas
Aquitania	Criadero	LM	35097050	Quebrada los Pozos
Tota	Escaleras	LM	35097970	Lago de Tota

Fuente. Modificado de Informe Batimetría Lago de Tota – IDEAM (2014).

Para realizar un análisis completo de las variaciones que ha sufrido la laguna de Tota bajo la influencia del cambio climático, es necesario contar con los reportes desde al año 1994, año en el que Colombia se comprometió en realizar sus reportes ante las acciones climáticas en la convención del Marco de las Naciones Unidas, con el fin de poder reflejar los cambios que se han generado a lo largo del tiempo.

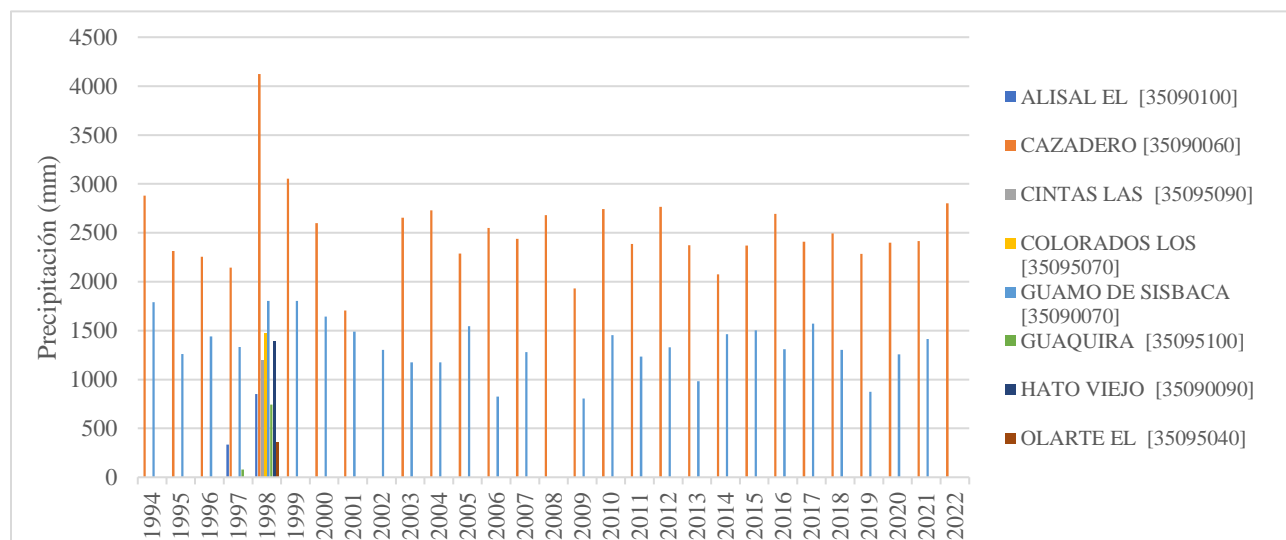
- **Precipitaciones**

En la región de la Laguna de Tota, la precipitación es un factor determinante para la recarga del agua de la laguna. La cantidad y la distribución de la precipitación a lo largo del año influyen en el nivel del agua en la laguna y en su calidad. Las variaciones en los patrones de precipitación pueden tener un impacto significativo en la dinámica de la laguna y en la

biodiversidad que alberga, (Nuñez. L. et al., 2014). A continuación, se presentan los consolidado de las precipitaciones promedio anuales para los municipios de Aquitania, Cuitiva y Sogamoso, según el registro de las estaciones pluviométricas que se encuentran instaladas en la zona.

Figura 17.

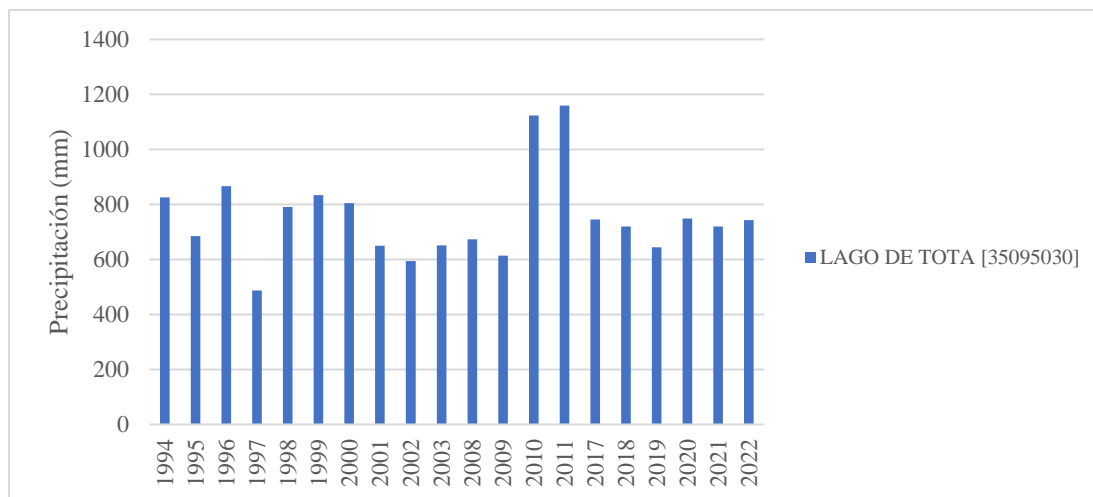
Consolidado Precipitaciones promedio anual Municipio de Aquitania Boyacá



Fuente. Consulta y descarga de datos Hidrometeorológicos – IDEAM

Figura 18.

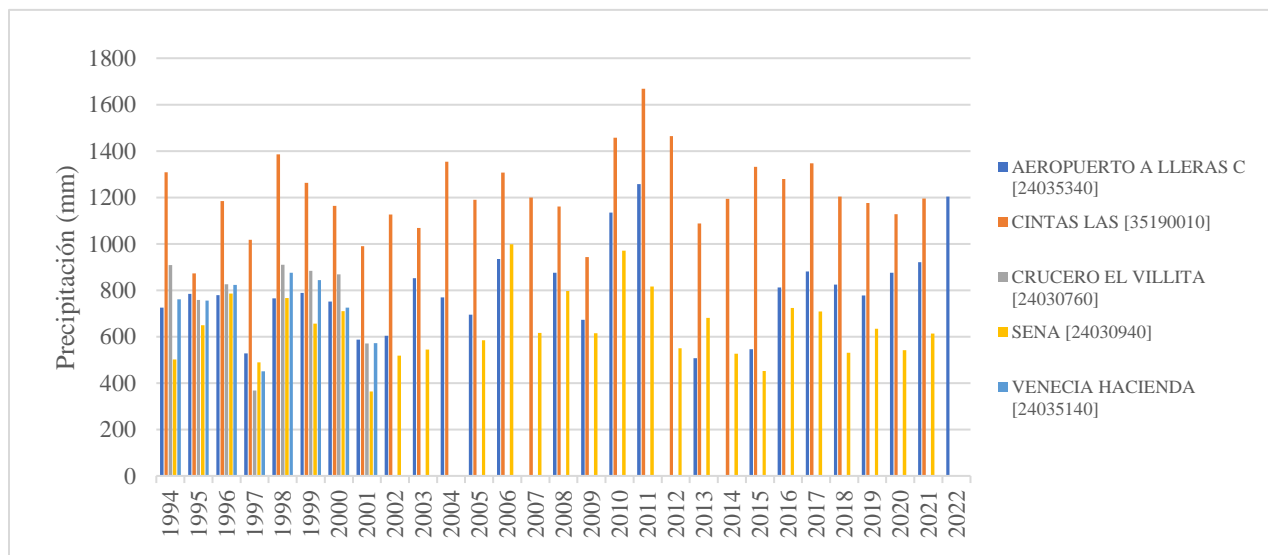
Consolidado Precipitaciones promedio anual Municipio de Cuitiva Boyacá.



Fuente. Consulta y descarga de datos Hidrometeorológicos - IDEAM

Figura 19.

Consolidado Precipitaciones promedio anual Municipio de Sogamoso Boyacá



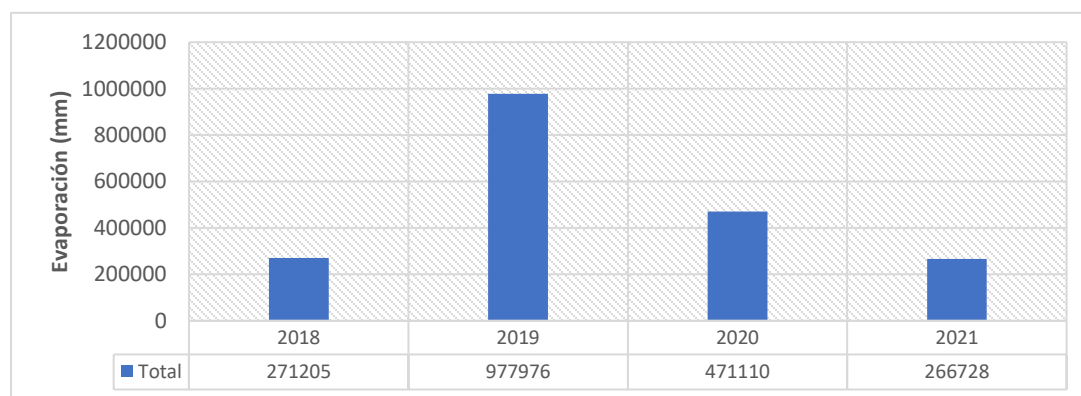
Fuente. Consulta y descarga de datos Hidrometeorológicos – IDEAM

- **Evaporación**

La Laguna de Tota experimenta tasas significativas de evaporación debido a su ubicación geográfica y las condiciones climáticas locales. La evaporación puede influir en el nivel del agua de la laguna y en su calidad. A medida que el agua se evapora, los minerales y los sedimentos pueden concentrarse en el agua restante, lo que puede afectar la calidad del agua y la vida acuática en la laguna, (Nuñez. L. et al., 2014). A continuación, se presenta el consolidado de las precipitaciones promedio anuales para el municipio de Aquitania, según el registro de la estación de Aquitania

Figura 20.

Consolidado Evaporación promedio anual Estación Aquitania - AUT 35095120.



Fuente. Consulta y descarga de datos Hidrometeorológicos – IDEAM

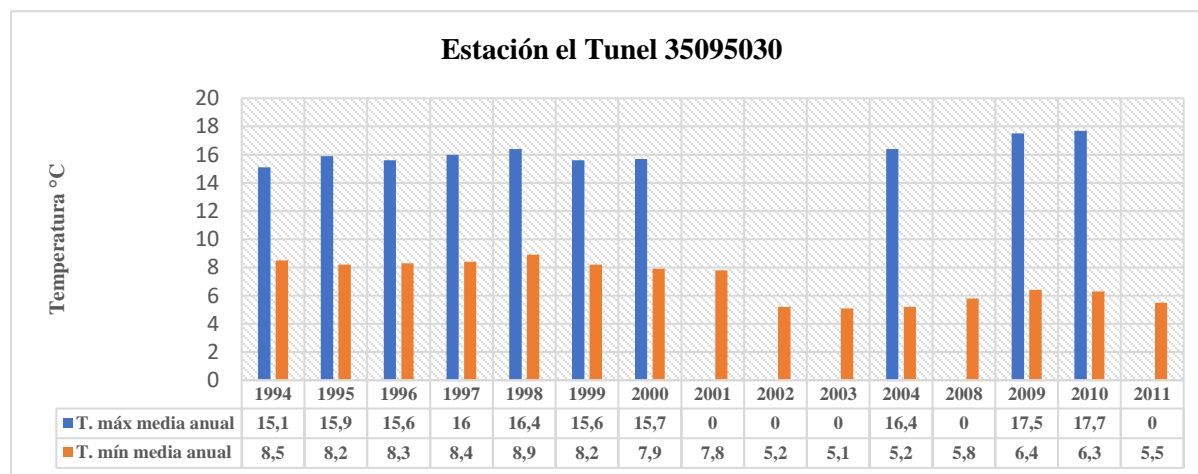
- **Temperatura**

La temperatura en la Laguna de Tota, Boyacá, es crucial para su dinámica, ya que se presentan variaciones estacionales, con inviernos fríos y veranos cálidos. El invierno puede congelar la superficie, afectando la biodiversidad y actividades humanas, mientras que, en el verano, las altas temperaturas influyen en la calidad del agua y la proliferación de algas. Monitorear las temperaturas es esencial para comprender las variaciones y tendencias,

especialmente ante el cambio climático, para la gestión sostenible de la laguna, (Nuñez. L. et al., 2014). A continuación, se presentan los consolidado de las temperaturas máximas y mínimas medias anuales de los municipios de Cuitiva y Sogamoso, según el registro de las estaciones que se encuentran instaladas en la zona.

Figura 21.

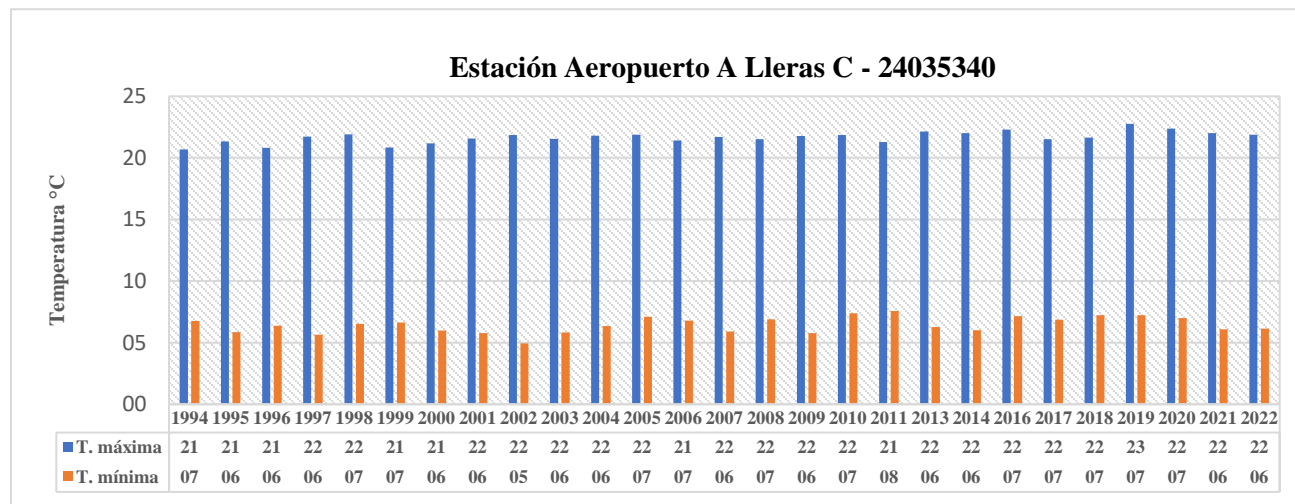
Temperatura máxima y mínima media anual, Cuitiva Boyacá.



Fuente. Consulta y descarga de datos Hidrometeorológicos – IDEAM

Figura 22.

Temperatura máxima y mínima media anual, Sogamoso Boyacá



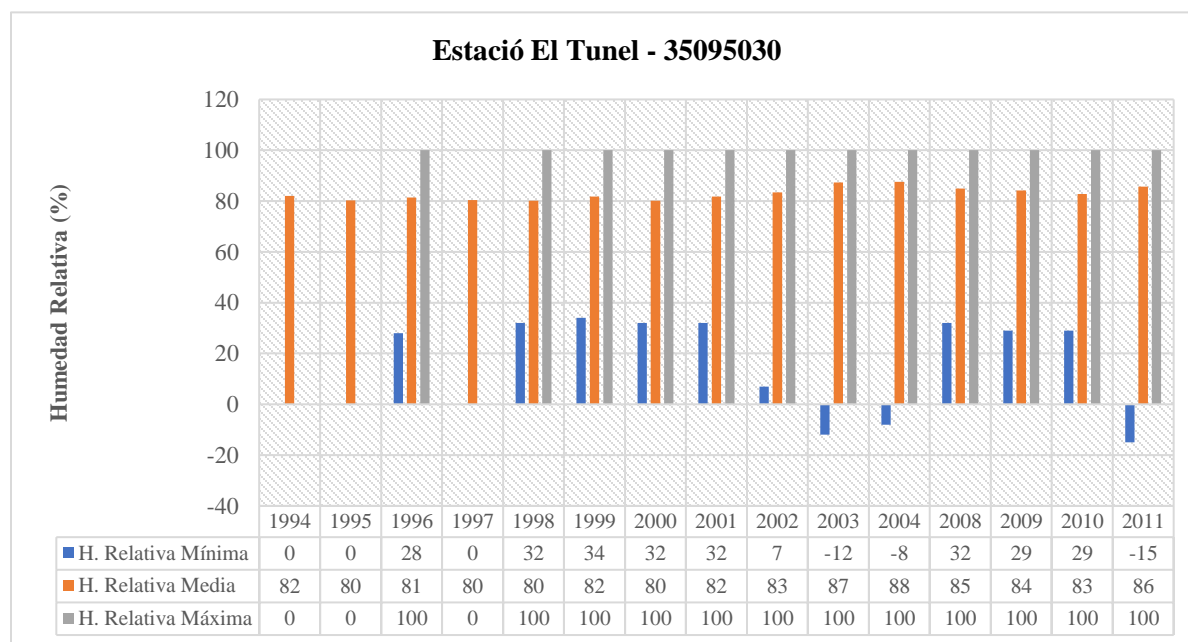
Fuente. Consulta y descarga de datos Hidrometeorológicos – IDEAM

- **Humedad Relativa**

La humedad relativa en la región de la laguna de Tota se refiere a la cantidad de vapor de agua presente en el aire en relación con la máxima cantidad que podría contener a una temperatura dada. Esta medida es fundamental para comprender las condiciones climáticas y su impacto en el ecosistema de la laguna. La humedad relativa puede variar a lo largo del día y las estaciones, afectando la evaporación de la laguna, la calidad del aire y la vida silvestre, (Nuñez. L. et al., 2014). A continuación, se presenta la humedad relativa mínima, media y máxima para los municipios de Cuitiva y Sogamoso, según el registro de las estaciones que se encuentran instaladas en la zona.

Figura 23.

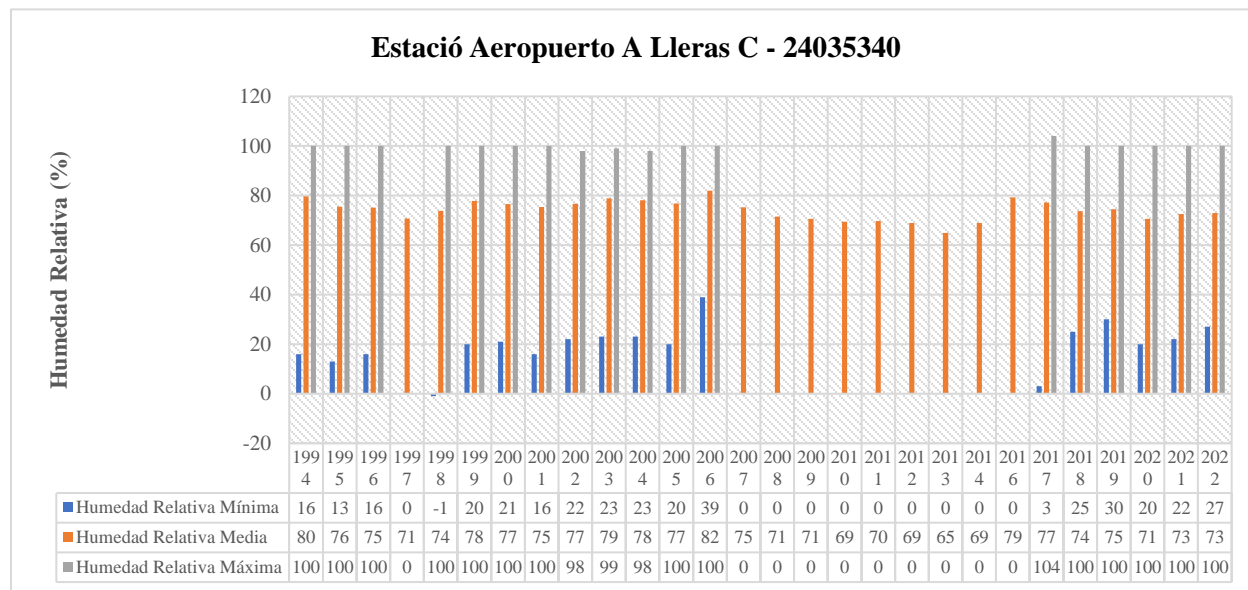
Humedad relativa mínima, media y máxima, Cuitiva Boyacá.



Fuente. Consulta y descarga de datos Hidrometeorológicos – IDEAM

Figura 24.

Humedad relativa mínima, media y máxima, Sogamoso Boyacá.



Fuente. Consulta y descarga de datos Hidrometeorológicos – IDEAM

En cuanto a la humedad relativa mínima, media y máxima en Aquitania Boyacá, se evidencio un 88% para el año 1998, registrado por la Estación el Olarte – 35095040.

Aspectos Sociales

Actividades Socioculturales

La laguna de Tota es un lugar que alberga diversas actividades socioculturales que enriquecen la vida de la comunidad local y atraen a visitantes. Estas actividades destacan la rica historia, tradiciones y belleza natural de la región, algunas de las actividades se encuentran dirigidas al turismo cultural, rutas de senderismo y ecoturismo, gastronomía tradicional, festividades y eventos culturales principalmente.

Acceso a la Laguna de Tota. Dentro de las vías de acceso a la laguna de Tota se encuentran:

- Carretera Principal: Conecta a Sogamoso con el municipio de Aquitania y es una de las principales vías de acceso a la laguna de Tota, por sus buenas condiciones y el paisaje que lo rodea.
- Ruta desde Bogotá: La salida se realiza por la autopista norte hasta Sogamoso, desde donde se toma la carretera principal.
- Ruta desde Tunja: el acceso por Tunja se toma la carretera que conduce a Sogamoso, desde donde se puede tomar la ruta hacia Aquitania y posteriormente hacia la laguna de Tota.
- Otras rutas: Desde Duitama y Paipa por carreteras secundarias que conectan con la vía principal que lleva a la laguna de Tota.

Dentro de la laguna de Tota, el acceso de los turistas está distribuido en diferentes áreas y puntos de interés que permiten explorar y disfrutar de sus atractivos naturales de la siguiente forma.

- Malecón de Aquitania: Ofrece acceso directo a las aguas de la laguna. Aquí es posible pasear por el malecón, disfrutar de las vistas panorámicas, rentar botes y embarcaciones, o simplemente relajarse junto al agua.
- Playas y áreas recreativas: A lo largo de la laguna de Tota, se encuentran diversas playas y áreas recreativas donde se puede acceder y disfrutar de actividades acuáticas, como nadar, hacer picnic o simplemente tomar el sol. Estas áreas suelen contar con servicios básicos, como baños y quioscos de alimentos y bebidas.
- Miradores y puntos panorámicos: Cuenta con varios miradores y puntos panorámicos estratégicamente ubicados que ofrecen vistas impresionantes de la laguna y sus alrededores.

- **Reservas naturales y senderos:** existen reservas naturales y senderos que ofrecen acceso a áreas protegidas y permiten explorar la flora y fauna autóctonas. Estos senderos suelen estar bien señalizados y brindan la oportunidad de realizar caminatas y avistamiento de aves en un entorno natural.

Conservación. La conservación de la laguna de Tota es de vital importancia para proteger su ecosistema único y garantizar su sostenibilidad a largo plazo, dentro de las medidas que se deben tener en cuenta están las siguientes.

Protección de los recursos naturales: Es fundamental implementar políticas y medidas de protección para preservar los recursos naturales de la laguna de Tota. Esto incluye la conservación de la biodiversidad, la protección de las áreas naturales circundantes y la gestión adecuada de los recursos hídricos.

Control de la contaminación: La contaminación del agua y del suelo puede tener efectos devastadores en la laguna de Tota y en su entorno. Es importante implementar medidas para controlar y reducir la contaminación, incluyendo la gestión adecuada de residuos, la regulación de las actividades industriales y agrícolas, y la promoción de prácticas sostenibles.

Gestión de los usos de la tierra: La planificación adecuada y la gestión de los usos de la tierra son esenciales para evitar la degradación de los suelos y la deforestación en la cuenca de la laguna de Tota. Se deben establecer políticas y regulaciones que promuevan la conservación de los suelos, la reforestación y el uso sostenible de los recursos naturales.

Participación comunitaria: La participación de la comunidad local es clave en la conservación de la laguna de Tota. Fomentar la conciencia ambiental, involucrar a la comunidad en la toma de decisiones y promover la educación ambiental son aspectos fundamentales para garantizar la colaboración y el compromiso en la conservación del ecosistema.

Monitoreo y estudios científicos: El monitoreo regular de la calidad del agua, la biodiversidad y otros parámetros ambientales es esencial para comprender los cambios en la laguna de Tota y tomar medidas de conservación adecuadas. Los estudios científicos y la investigación también son importantes para obtener datos precisos y basados en evidencia que respalden las decisiones de conservación.

Responsabilidad Social. La responsabilidad social juega un papel importante en la conservación y preservación de la laguna de Tota, a continuación, se presentan algunas formas en las que la responsabilidad social puede contribuir a la protección de la laguna y su entorno:

Educación ambiental: Promover la educación ambiental entre la comunidad local y los visitantes es esencial para generar conciencia sobre la importancia de la laguna de Tota y su conservación, por medio de programas educativos, talleres y actividades que informen sobre los ecosistemas acuáticos, la biodiversidad y las prácticas sostenibles.

Prácticas sostenibles: Fomentar y promover prácticas sostenibles en todas las actividades relacionadas con la laguna de Tota es fundamental, por medio de la inclusión del uso responsable de los recursos naturales, la gestión adecuada de residuos, el ahorro de energía y agua, y la promoción de opciones turísticas respetuosas con el medio ambiente.

Participación comunitaria: Involucrar a la comunidad local en la toma de decisiones y en las acciones de conservación es esencial. Esto puede lograrse mediante la creación de espacios de participación, la colaboración en proyectos de conservación y el apoyo a iniciativas comunitarias relacionadas con la protección de la laguna.

Cooperación interinstitucional: La colaboración entre diferentes actores, como las autoridades ambientales, las empresas, las organizaciones no gubernamentales y la comunidad local, es fundamental para abordar los desafíos de conservación de la laguna de Tota de manera

efectiva. El establecimiento de alianzas y la coordinación de esfuerzos pueden generar soluciones más sólidas y sostenibles.

Turismo responsable: Fomentar el turismo responsable es crucial para minimizar el impacto negativo en la laguna de Tota. Esto implica promover prácticas turísticas sostenibles, respetar los ecosistemas y la cultura local, y apoyar a los proveedores de servicios turísticos comprometidos con la conservación y el desarrollo sostenible.

Educación Ambiental. La educación ambiental desempeña un papel crucial en la laguna de Tota, ya que promueve la conciencia y comprensión de la importancia de este ecosistema único y fomenta prácticas sostenibles para su conservación, mediante actividades como:

Programas educativos: Se pueden desarrollar programas educativos tanto para la comunidad local como para los visitantes de la laguna de Tota. Estos programas pueden incluir charlas, talleres, exhibiciones y actividades prácticas que aborden temas como la biodiversidad, la conservación del agua, la protección de los recursos naturales y la importancia de los ecosistemas acuáticos.

Visitas guiadas: Organizar visitas guiadas a la laguna de Tota, tanto para escolares como para el público en general, es una excelente manera de brindar información y experiencias prácticas. Los guías capacitados pueden explicar los valores naturales, los procesos ecológicos y los desafíos de conservación de la laguna, creando conciencia y promoviendo la comprensión.

Señalización e interpretación: Colocar señalización informativa e interpretativas en áreas estratégicas alrededor de la laguna de Tota, para proporcionar a los visitantes datos relevantes sobre la importancia ecológica, la biodiversidad y las mejores prácticas de conservación. Esto ayuda a educar de manera continua a los visitantes y a fomentar un comportamiento responsable.

Involucramiento comunitario: La educación ambiental debe extenderse a la comunidad local, ya que son actores clave en la conservación de la laguna de Tota. Se pueden organizar actividades específicas para involucrar a la comunidad, como jornadas de limpieza, programas de reforestación y capacitaciones sobre prácticas sostenibles. Esto promueve la responsabilidad y el sentido de pertenencia hacia el ecosistema local.

Colaboración con escuelas y universidades: Establecer alianzas con instituciones educativas locales, como escuelas y universidades, permite integrar la educación ambiental en los programas académicos. Esto puede incluir proyectos de investigación, actividades de campo y capacitaciones para estudiantes y docentes, generando un impacto a largo plazo en la conciencia ambiental.

Participación Comunitaria. La participación comunitaria es fundamental en la conservación y manejo sostenible de la laguna de Tota, al involucrar a la comunidad local en la toma de decisiones y en las acciones de protección y preservación del ecosistema de la laguna se fomenta un sentido de responsabilidad y compromiso, algunas de las formas en que se puede promover la participación son:

Creación de espacios de participación: Es importante establecer espacios de diálogo y participación comunitaria para involucrar a la comunidad local en la toma de decisiones sobre la gestión de la laguna. Estos espacios permiten que los residentes, pescadores, agricultores y otros actores locales aporten sus conocimientos y experiencias para tomar decisiones informadas.

Educación ambiental: Promover la educación ambiental en la comunidad local es clave para generar conciencia sobre la importancia de la laguna de Tota y los desafíos de conservación que enfrenta, mediante talleres, capacitaciones y programas educativos que brinden información sobre los ecosistemas acuáticos, la biodiversidad y las prácticas sostenibles. Al aumentar el

conocimiento, se fortalece la capacidad de la comunidad para participar activamente en la conservación.

Proyectos de conservación comunitaria: Fomentar y apoyar proyectos de conservación comunitaria en la laguna de Tota permite a los residentes locales tener un papel activo en la protección del ecosistema. Estos proyectos pueden incluir iniciativas de reforestación, monitoreo de la calidad del agua, limpieza de las orillas de la laguna y promoción de prácticas agrícolas sostenibles. Esto fortalece el sentido de pertenencia y responsabilidad de la comunidad hacia la laguna.

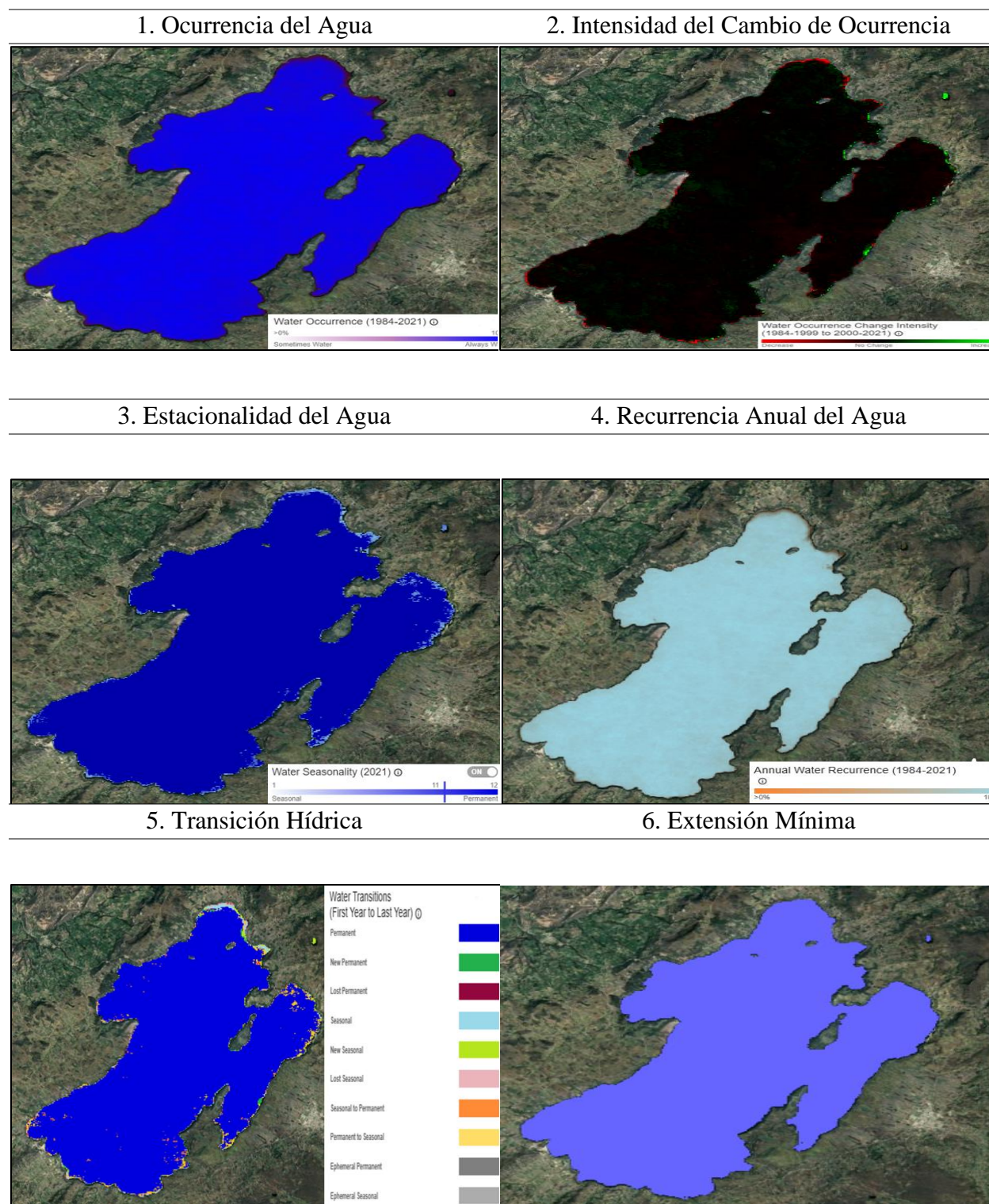
Desarrollo de capacidades: Brindar capacitación y apoyo técnico a la comunidad local en temas relacionados con la conservación y el manejo sostenible de la laguna de Tota. Esto puede incluir talleres sobre prácticas agrícolas sostenibles, técnicas de pesca responsable y gestión adecuada de los recursos naturales. Al fortalecer las capacidades de la comunidad, se promueve una mayor participación y empoderamiento.

Promoción del turismo responsable: El turismo responsable puede generar beneficios económicos y sociales para la comunidad local, al tiempo que promueve la conservación de la laguna de Tota. Fomentar el turismo sostenible y promover la cultura y las tradiciones locales puede generar un mayor sentido de orgullo y beneficio para la comunidad.

Estudio multitemporal de la laguna de Tota

Tabla 16.

Distribución espacial y temporal de la laguna de Tota.



Fuente. Global Surface Water Explorer - <https://global-surface-water.appspot.com/>

Situaciones de Acción

Contaminación de la Laguna por Actividades Productivas

Las actividades productivas alrededor de la laguna de Tota, a pesar de sus beneficios económicos, se han convertido en una creciente problemática ambiental. Esta situación afecta los procesos ecológicos, la pérdida del banco de agua de la laguna, la salud y el desarrollo de las comunidades. Es por ello por lo que actualmente se considere a la laguna como uno de los ecosistemas más amenazados del planeta, (Jaramillo, D. et al., 2021).

Cultivos Agrícolas. La actividad agrícola en los cultivos de cebolla cerca del lago de Tota utiliza alrededor de 430 toneladas de plaguicidas anualmente sin control adecuado. Los agricultores mezclan varios agroquímicos en una sola aplicación, incluyendo fungicidas, bioestimulantes, adyuvantes, fertilizantes y herbicidas altamente tóxicos. Existe un riesgo de que estas sustancias se filtren al lago, provocando problemas ambientales como la mineralización, turbiedad y eutrofización al igual que problemas a la salud para las poblaciones expuestas, Jaramillo, D. et al. (2021). Es preocupante que la mayoría de los agricultores no hayan recibido capacitación en el uso adecuado de estas sustancias. A nivel mundial, el uso de pesticidas es extenso y se prevé un aumento en el futuro debido al crecimiento de la población y la seguridad alimentaria.

Por otro lado, la fertilización de los cultivos con abonos como la gallinaza aporta una gran cantidad de nitrógeno, fosforo, azufre y en algunas ocasiones residuos de antibióticos, lo que amenaza constantemente y en un nivel elevado la contaminación del recurso hídrico por las escorrentías superficiales que arrastrarían sustancias nocivas y organismos patógenos contenidos en estos fertilizantes.

Piscicultura o Acuicultura. Las actividades piscícolas en la laguna de Tota también representan problemáticas ambientales debido al uso de especies dañinas, que minimizaron las cantidades de especies propias de la laguna y afectan la calidad del agua, ya que sus heces y los residuos de comida crean acumulación de fósforo y concentraciones de amonio.

Por otro lado, los productores en su afán de generar bacterias que permitan que la especie sea más resistente a enfermedades, utilizan químicos y antibióticos que modifican de forma negativa las características fisicoquímicas y calidad del agua.

Ganadería Bovina. Las actividades bovinas generan la producción de CO₂, amoníaco y metano por medio de sus heces fecales, también durante las actividades de pastoreo se produce la disminución de los nutrientes del suelo y la contaminación de los afluentes de agua, por otro lado, se evidencia afectación por la erosión del suelo y la transformación del paisaje.

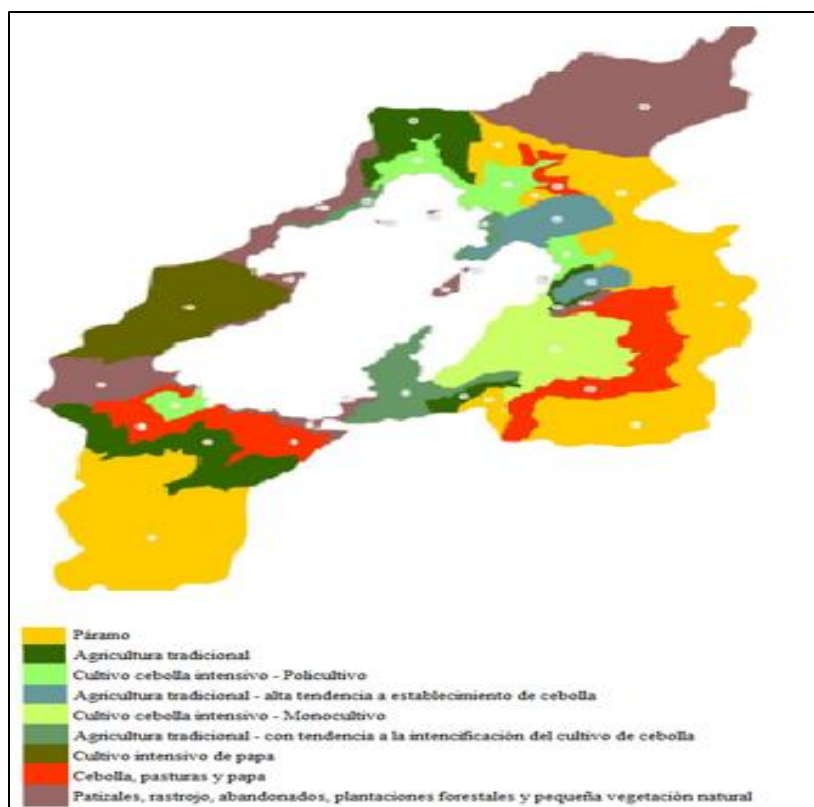
Actividades Adicionales. Las actividades hoteleras, industriales y propias de los hogares, hacen parte de los problemas más críticos en la laguna de Tota a causa de los vertimientos de aguas residuales, las cuales agregan un alto contenido de cargas orgánicas que modifican las propiedades microbiológicas y fisicoquímicas de aguas superficiales y subterráneas, ocasionando toxicidad, eutrofización y enfermedades cancerígenas.

Según Jaramillo, D. et al. (2021), aunque se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales de Aquitania, se realiza un inadecuado tratamiento a estas aguas y es posible evidenciar la presencia de bacterias coliformes, compuestos orgánicos biodegradables, sólidos suspendidos y sólidos inorgánicos disueltos entre otros. El mal manejo que se brinda a estas aguas residuales está condicionado a la falta de inversión económica, con lo cual se afectan la operación y el mantenimiento adecuado.

En la figura 3 es posible evidenciar la distribución de las áreas de la laguna de Tota, en función de las actividades productivas que se llevan a cabo en sus alrededores, de acuerdo con el estudio realizado y especificado en el plan de ordenamiento y manejo de la cuenca del lago de Tota, capítulo VI correspondiente a los sistemas productivos para el año 2005.

Figura 25.

Distribución de áreas productivas en la laguna



Fuente. Modificado del Plan de ordenación y manejo de la cuenca del lago de Tota

Según Corpoboyacá (2005) en el plan de ordenación y manejo de la cuenca de Tota, la problemática ambiental que generan estas actividades productivas se ven reflejadas en la afectación de los recursos que provee la laguna de Tota tal como se evidencia a continuación.

Tabla 17.*Problemáticas ambientales causadas por las actividades productivas*

Efecto	Recurso			
	Flora y Fauna	Agua	Suelos	Aire
Cultivos	X	X	X	X
Hoteles	X	X		
Pesca	X			
Residuos	X	X	X	X
Canteras	X		X	
Planta de tratamiento		X		
Deforestación	X		X	
Incendios	X		X	

Fuente. Modificado de Corpoboyacá – Plan de ordenación y manejo de la cuenca de Tota

Interacciones

La laguna de Tota presenta diversas interacciones entre los elementos del ecosistema, como el agua, los seres vivos y los seres humanos, y afectan tanto a la salud del ecosistema como al bienestar de las comunidades locales.

Dentro de las interacciones es importante la integración y participación de la comunidad, quienes son encargados de poner en marcha actividades de inversión, supervisión y evaluación de forma efectiva y sostenible. Esto implica incluir a las comunidades en la planificación y toma de decisiones, promoviendo la co-creación de proyectos, la gestión participativa y la valoración de los conocimientos tradicionales. La participación comunitaria fortalece la relación entre las actividades de inversión y el sistema socio-ecológico, permitiendo una gestión más integrada y equitativa.

Es importante considerar los aspectos ecológicos y sociales al momento de llevar a cabo actividades de inversión, supervisión y evaluación en la Laguna, más aún al considerar los desafíos del cambio climático, en donde se hace fundamental adoptar un enfoque que considere

la interdependencia entre el sistema socio-ecológico y las decisiones de inversión, asegurando la protección y sostenibilidad a largo plazo de la laguna y su entorno.

Actividades de Inversión. Las inversiones destinadas a proyectos de adaptación al cambio climático en la Laguna de Tota pueden tener un impacto significativo en el sistema socio-ecológico. Estos proyectos pueden incluir acciones como la restauración de ecosistemas, la implementación de prácticas agrícolas sostenibles, la gestión del agua y la promoción de energías renovables. Estas inversiones buscan mejorar la resiliencia del sistema socio-ecológico frente a los impactos del cambio climático, protegiendo tanto los recursos naturales como las comunidades locales.

Actividades de Supervisión. Las actividades de supervisión enfocadas al cambio climático en la Laguna son esenciales para comprender la magnitud de los desafíos y tomar decisiones informadas. Esto implica realizar estudios científicos, monitorear la calidad del agua, la biodiversidad y los cambios en los patrones climáticos. La información obtenida a través de estas actividades de supervisión y monitoreo proporciona la base para la implementación de estrategias y acciones de adaptación y mitigación.

Actividades Evaluativas. La evaluación del rendimiento de los proyectos de inversión en la Laguna de Tota permite determinar si se están logrando los objetivos y resultados esperados. Esto incluye evaluar el impacto ambiental, social y económico de las inversiones realizadas y su contribución a la resiliencia socio-ecológica frente al cambio climático. La evaluación también puede identificar áreas de mejora y ajustes necesarios en los proyectos existentes, garantizando su eficacia y sostenibilidad a largo plazo.

Análisis Socio-ecológico

Conflictos Socio-ecológicos de la Laguna de Tota

Dentro de los conflictos socio-ecológicos presentes en la laguna de Tota, se identifican los siguientes.

Conflictos por el Uso de los Recursos Naturales. Estos conflictos se encuentran relacionados con la sobreexplotación de estos recursos por las actividades humanas, generando un impacto negativo en la laguna y el ecosistema, dentro de los conflictos más destacados se encuentran los siguientes.

Pesca Indiscriminada. La pesca excesiva y no regulada en la Laguna de Tota ha llevado a una disminución de las poblaciones de peces y a la alteración del equilibrio ecológico en el ecosistema acuático. Esto afecta negativamente a los pescadores locales y a la seguridad alimentaria de las comunidades que dependen de la pesca como fuente de sustento.

Contaminación del Agua. La actividad agrícola intensiva en las tierras circundantes a la laguna ha llevado a la contaminación del agua debido al uso de agroquímicos y fertilizantes. Esto provoca la eutrofización de la laguna, un proceso en el que los nutrientes en exceso estimulan el crecimiento de algas y plantas acuáticas, reduciendo el oxígeno disponible y afectando la vida acuática.

Deforestación. La tala indiscriminada de bosques y la expansión de la frontera agrícola en las zonas aledañas a la laguna han causado la pérdida de hábitats naturales y la degradación del suelo. La deforestación contribuye a la erosión y al arrastre de sedimentos hacia la laguna, afectando su calidad de agua y reduciendo la biodiversidad.

Turismo no Sostenible. El creciente turismo en la Laguna de Tota ha generado presiones adicionales sobre los recursos naturales. La falta de una gestión adecuada y de regulaciones para

el turismo puede llevar a la degradación de los ecosistemas costeros, la contaminación del agua y la pérdida de la belleza natural de la laguna.

Conflictos de Interés Entre los Actores. Estos conflictos reflejan la competencia por el uso de los recursos naturales y la falta de consenso en cuanto a su manejo, dentro de los conflictos por intereses entre los actores a continuación se relacionan los más relevantes.

Agricultores vs. Pescadores. Existe un conflicto entre los agricultores, que requieren el uso de agua para riego, y los pescadores, que dependen de la calidad y cantidad de agua en la laguna para la pesca. El consumo excesivo de agua en la agricultura puede agotar los recursos hídricos y afectar negativamente la disponibilidad de agua para la pesca.

Comunidades Locales vs. Industrias. Las comunidades locales que dependen de la laguna para su sustento se ven confrontadas con industrias o proyectos de desarrollo que pueden causar la contaminación del agua, la deforestación o la alteración de los ecosistemas. Estos conflictos surgen debido a los impactos negativos que estas actividades pueden tener en la vida de las comunidades y su entorno natural.

Turismo vs. Conservación. El turismo puede generar ingresos económicos significativos, pero también puede causar daños a los ecosistemas naturales si no se maneja adecuadamente. Existe un conflicto entre los intereses económicos y los de conservación, ya que algunas prácticas turísticas no sostenibles pueden degradar los ecosistemas y amenazar la biodiversidad de la laguna.

Gobierno vs. Comunidades Locales. Los conflictos también pueden surgir entre el gobierno y las comunidades locales en relación con las decisiones de gestión y regulación de los recursos naturales de la laguna. Las comunidades locales pueden sentirse excluidas de los

procesos de toma de decisiones y percibir que sus intereses y necesidades no son considerados adecuadamente.

Conflictos por la Degradación del Ecosistema. Estos conflictos están relacionados con las actividades humanas que han provocado cambios negativos en la calidad del agua, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos de la laguna, entre los conflictos más relevantes por la degradación del ecosistema se encuentran.

Contaminación del Agua. La contaminación proveniente de actividades agrícolas, ganaderas y domésticas ha afectado la calidad del agua de la laguna. Los desechos químicos, como los pesticidas y los fertilizantes, y los vertidos de aguas residuales contaminan el ecosistema acuático, amenazando la salud de los organismos y alterando los procesos naturales del ecosistema.

Eutrofización. La acumulación excesiva de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, ha llevado a la eutrofización de la laguna. Esto estimula el crecimiento descontrolado de algas y plantas acuáticas, agotando el oxígeno disponible para los organismos acuáticos y generando desequilibrios en la cadena alimentaria.

Pérdida de Biodiversidad. La degradación del ecosistema ha llevado a la pérdida de biodiversidad en la laguna. La contaminación, la sobreexplotación de recursos y la destrucción de hábitats naturales han afectado a especies de flora y fauna, reduciendo la diversidad biológica y comprometiendo el equilibrio ecológico.

Impacto en las Comunidades Locales. La disminución de las poblaciones de peces, la calidad del agua comprometida y la reducción de los servicios ecosistémicos impactan negativamente en la pesca, la agricultura y el turismo, afectando los medios de vida y el bienestar de las comunidades.

Factores de Vulnerabilidad Relacionados con el Cambio Climático en la Laguna de Tota

La vulnerabilidad de la laguna de Tota se ve reflejada por factores que aumentan la susceptibilidad a los impactos negativos del cambio climático, generando afectaciones al ecosistema y a la comunidad que presentan algún tipo de dependencia de él, algunos de los factores más importantes se relacionan a continuación.

Incremento de la Temperatura Media. El incremento de la temperatura media en la laguna de Tota aumenta el riesgo y los desafíos del aumento de la temperatura, la cual afecta a los ecosistemas y las comunidades que interactúan con la laguna, algunos de estos factores de vulnerabilidad se relacionan a continuación.

Ecosistemas Acuáticos. El aumento de la temperatura puede alterar los ecosistemas acuáticos de la laguna, provocando cambios en la composición y distribución de las especies acuáticas, afectando los ciclos de reproducción de los peces y aumentando la proliferación de algas y organismos no deseados. Estos cambios pueden tener impactos negativos en la biodiversidad y en las actividades económicas que dependen de la pesca y el turismo.

Caudal de Ríos y Arroyos. El incremento de la temperatura puede contribuir con la reducción de las precipitaciones, lo que afecta el caudal de los ríos y arroyos que alimentan la laguna. Esto puede disminuir la disponibilidad de agua dulce, afectar la calidad del agua y provocar escasez hídrica, lo cual tiene una grave repercusión sobre las actividades agrícolas, el suministro de agua potable y el desarrollo de otras actividades humanas.

Pérdida de Hábitats Terrestres. El aumento de la temperatura puede modificar los patrones de vegetación terrestre en los alrededores de la laguna, los cambios en los hábitats terrestres pueden afectar a las especies animales que dependen de ellos y a los servicios

ecosistémicos que proporcionan, como la protección contra la erosión del suelo y la regulación del ciclo del agua.

Aumento en los Riesgos de Incendios Forestales. El incremento en la temperatura y la aridez vinculada al cambio climático podría intensificar las posibilidades de desencadenar incendios en áreas forestales. Los incendios pueden destruir los bosques y hábitats naturales, afectando negativamente la biodiversidad y la calidad del aire, además de representar una amenaza para las comunidades locales y sus propiedades.

Cambios en los Patrones de Precipitación. Los cambios en los patrones de precipitación aumentan los riesgos y desafíos asociados con los cambios en la cantidad y distribución de las precipitaciones, y afectan tanto al ecosistema como a las comunidades locales, a continuación, se relacionan los factores más relevantes.

Escasez de Agua. Los cambios en los patrones de precipitación pueden provocar una disminución en la cantidad total de agua disponible en la laguna y sus alrededores. La escasez de agua puede afectar la disponibilidad de recursos hídricos para el consumo humano, la agricultura y la conservación de los ecosistemas acuáticos. Esto pone en riesgo la seguridad hídrica y la sostenibilidad de las actividades económicas y sociales que dependen del agua.

Sequías Prolongadas. Los cambios en las precipitaciones pueden aumentar la frecuencia y duración de las sequías en la región. Las sequías prolongadas pueden tener impactos significativos en la agricultura, la ganadería y la disponibilidad de alimentos, además de afectar la flora y fauna que dependen de un suministro adecuado de agua. También pueden contribuir a la propagación de incendios forestales y a la degradación del suelo.

Alteración de los Ciclos Naturales. Los cambios en los patrones de precipitación pueden alterar los ciclos naturales de los ecosistemas en la Laguna de Tota. Esto incluye la afectación de

los ritmos de floración, migración de especies, reproducción de fauna y flora, y otros procesos ecológicos importantes. Estas alteraciones pueden tener consecuencias negativas en la biodiversidad, la estructura de los ecosistemas y los servicios ecosistémicos que proporcionan.

Aumento de Eventos Extremos. El aumento de eventos extremos presenta riesgos y desafíos asociados con tormentas intensas, inundaciones y sequías, y afectan tanto al ecosistema como a las comunidades locales, a continuación, se relacionan los factores de vulnerabilidad relacionados con el aumento de los eventos extremos en la Laguna de Tota.

Inundaciones. El cambio climático puede contribuir al aumento de las precipitaciones intensas, lo que incrementa el riesgo de inundaciones en la región. Las inundaciones pueden afectar los ecosistemas acuáticos y terrestres, así como la calidad del agua en la laguna, de igual forma se presentarían daños a las viviendas, la infraestructura y los cultivos, además de generar pérdidas económicas significativas.

Sequías. El cambio climático también puede aumentar la frecuencia y la intensidad de las sequías en la región. Las sequías prolongadas pueden tener impactos graves en la agricultura, la ganadería y la disponibilidad de agua potable. Además, pueden contribuir a la desertificación, la pérdida de biodiversidad y la propagación de incendios forestales, afectando tanto al ecosistema como a las comunidades locales.

Deslizamientos de Tierra. Los eventos climáticos extremos pueden desencadenar deslizamientos de tierra, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas. Estos deslizamientos pueden afectar la estabilidad de los suelos y la calidad del agua en la laguna, además de poner en riesgo la seguridad de las comunidades y causar daños en infraestructuras, viviendas y tierras de cultivo.

Impacto en la Biodiversidad. Los eventos climáticos extremos pueden tener consecuencias significativas para la biodiversidad de la Laguna de Tota. Pueden alterar los hábitats naturales, provocar la pérdida de especies y afectar las interacciones ecológicas. Esto puede desequilibrar los ecosistemas y afectar los servicios ecosistémicos que proporcionan, como la polinización, la regulación del clima y la provisión de alimentos.

Acidificación del Agua. La acidificación del agua se refiere al aumento de la acidez en los cuerpos de agua debido a la absorción de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico, algunos de los factores de vulnerabilidad relacionados con la acidificación del agua en la laguna de Tota se relacionan a continuación.

Aumento de la Concentración de CO₂. El aumento de las emisiones de CO₂ debido a actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles, conduce a un mayor contenido de CO₂ en la atmósfera. Una parte significativa de este CO₂ es absorbida por los cuerpos de agua, incluida la Laguna de Tota. La absorción de CO₂ contribuye a la acidificación del agua, disminuyendo su pH y volviéndola más ácida.

Impacto en los Organismos Acuáticos. La acidificación del agua puede tener consecuencias negativas para los organismos acuáticos en la Laguna de Tota. Los niveles más altos de acidez pueden afectar la capacidad de los organismos marinos y de agua dulce para formar conchas y esqueletos de carbonato de calcio, lo que puede comprometer su desarrollo y supervivencia. Esto incluye a especies de peces, moluscos y organismos planctónicos que son fundamentales para el equilibrio del ecosistema acuático.

Desajustes en la Cadena Alimentaria. La acidificación del agua puede tener efectos en cascada en la cadena alimentaria de la laguna. Los cambios en la disponibilidad y calidad de los organismos acuáticos afectados por la acidificación pueden impactar a las especies que dependen

de ellos como fuente de alimento, incluyendo a peces, aves y otros animales. Esto puede desequilibrar el ecosistema y afectar negativamente a las comunidades locales que dependen de la pesca.

Disminución de la Biodiversidad. La acidificación del agua puede provocar una disminución en la biodiversidad de la Laguna de Tota. Especies sensibles a la acidificación pueden experimentar una disminución en sus poblaciones o incluso su desaparición. Esto puede tener consecuencias negativas para la estructura y función del ecosistema, así como para los servicios ecosistémicos que brinda, como la regulación del clima y la provisión de alimentos.

Efectos Negativos del Cambio Climático Sobre la Laguna de Tota

La interacción del cambio climático con la laguna de Tota puede generar alteraciones de sus características fisicoquímicas, las cuales se convierten en efectos negativos para la biodiversidad que la conforman, dichos efectos se reflejan en los cambios de las temperaturas, cambios del nivel del agua, Cambios en la calidad del agua y cambios en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos.

Factores que Intervienen en la Calidad del Agua. El agua está compuesta por una serie de factores que interactúan y pueden afectar negativamente la calidad del agua, comprometiendo su potabilidad y su capacidad para mantener ecosistemas acuáticos saludables. Algunos de los factores más relevantes para determinar la calidad del agua se relacionan a continuación al igual que su importancia y las afectaciones que puede generar al presentarse cambios en sus características fisicoquímicas.

Tabla 18.*Importancia de los factores que intervienen en la calidad del agua*

Factor	Importancia	Afectación
pH	Es un indicador de acidez o alcalinidad del agua muy importante, que refleja la calidad del agua, el rango adecuado para la mayoría de los organismos acuáticos oscila entre los 6,5 y 8,5	El cambio de pH en rangos superiores o inferiores pueden afectar los organismos acuáticos. Es importante realizar un monitoreo constante y mitigar los efectos del cambio climático.
Conductividad	Mide la cantidad de iones y otros compuestos disueltos en el agua	La conductividad elevada puede indicar altas concentraciones de sales y contaminantes que afectan los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua
Dureza	Hace referencia a la cantidad de minerales como el calcio y el magnesio, presentes en el agua	Un nivel elevado de dureza puede afectar de forma negativa la calidad del agua y la vida acuática
Oxígeno Disuelto	Hace parte de los factores indispensables para la vida acuática	Una baja concentración indica que el agua es de mala calidad y afecta de forma negativa los organismos acuáticos.
Nitratos y Nitritos	Indican la presencia de materia orgánica en descomposición	Las concentraciones elevadas se presentan en aguas de mala calidad y es perjudicial para la vida acuática. También pueden generar eutrofización y disminuir la biodiversidad de la laguna, es importante realizar monitoreos constantes y controlar su concentración, para minimizar sus impactos negativos.
Clorofila	Es un pigmento importante para algas y vegetales acuáticos que habitan en las lagunas, es responsable del	La presencia de concentraciones elevadas indica la presencia de eutrofización, lo cual corresponde a una alta concentración de nutrientes

Factor	Importancia	Afectación
	proceso de fotosíntesis y la producción de oxígeno	afectando de esta forma la calidad del agua. El cambio climático representa efectos tanto negativos como positivos en la clorofila, dependiendo de las condiciones de la laguna y la forma en que se combinen los diferentes factores.

Afectaciones del Cambio Climático Sobre los Factores del Agua de la Laguna.

Dentro de la calidad del agua de la laguna de Tota, los efectos del cambio climático actúan sobre factores como el pH, la conductividad, la dureza, el oxígeno disuelto, los nitratos y nitritos y la clorofila, factores indispensables para mantener el adecuado equilibrio biológico, algunos de los efectos negativos para cada uno de dichos factores bajo la influencia del cambio climático se especifican en la siguiente tabla.

Tabla 19.

Afectación de la calidad del agua por los efectos negativos del cambio climático

Factor	Afectación	Consecuencia
pH	Aumento del metabolismo de los organismos acuáticos	Disminución del pH de la laguna por el aumento de la temperatura
	Aumento de la producción de dióxido de carbono	
	Disolución del dióxido de carbono atmosférico en el agua	Disminución del pH de la laguna por dióxido de carbono
	Generación de gases por actividades agrícolas	Disminución del pH de la laguna por actividades humanas
	Generación de gases por actividades industriales	
Alteración de la cantidad de las precipitaciones	Afectación del pH por cambios en la precipitación	
Alteración por la frecuencia de las precipitaciones		

Factor	Afectación	Consecuencia
Conductividad	Aumento de la frecuencia de las lluvias Aumento de la intensidad de las lluvias Aumento del agua fresca que ingresa a la laguna	Aumento de la conductividad por variaciones en las precipitaciones
	Aumento en la velocidad de las reacciones químicas de la laguna	Aumento de la conductividad por variaciones en la temperatura
	Aumento de la temperatura Disminución de la cantidad de hielo Cambios en la composición de la biomasa Cambios de las actividades biológicas	Afectación de la conductividad por cambios en la composición de la biomasa
	Aumento de la evapotranspiración Disminución de flujo de agua dulce	Disminución de la conductividad por cambios en el flujo de agua dulce
Dureza	Aumento de la temperatura Aumento de la evaporación del agua	Aumento de las concentraciones de sales minerales duros en el agua
	Aumento de las precipitaciones Modificación de los patrones de precipitación Aumento de la cantidad de agua dulce que se filtra de la laguna generando disminución de la dureza del agua Disminución de la cantidad de precipitación, disminuyendo la cantidad de agua dulce disponible, aumentando la dureza	Aumento o disminución de la dureza del agua, por cambios en la cantidad de la precipitación
	Cambio de los patrones del flujo de los ríos y arroyos que alimentan la laguna Aumento del flujo de agua dulce, disminuyendo la dureza del agua Disminución del flujo de agua dulce, aumentando la dureza del agua	Aumento o disminución de la dureza del agua por el flujo de los ríos y arroyos
	Disminución de la capacidad de retener oxígeno Aumento de la actividad biológica de la laguna	Aumento de la demanda de oxígeno por el aumento de la temperatura
Oxígeno Disuelto	Disminución del flujo de agua Disminución de la renovación de agua fresca y oxigenada de la laguna, ocasionando la disminución de la concentración de oxígeno	Dilución de la concentración de oxígeno y afectaciones de la vida acuática por la alteración del flujo de agua de la laguna

Factor	Afectación	Consecuencia
	Aumento en la cantidad de agua dulce que entra a la laguna, ocasionando la dilución de la concentración de oxígeno	
	Contaminación y alteración de los patrones de lluvia	
	Aumento de Nitrógeno	Disminución de la concentración de oxígeno disuelto, por el aumento de la concentración de nutrientes en la laguna
	Aumento de Fosforo	
	Aumento en la producción de algas y otros organismos acuáticos	
	Aumento de la demanda de oxígeno	
Nitratos y Nitritos	Aumento de las precipitaciones	Aumento de la concentración de nitratos y nitritos por precipitaciones
	Aumento de la entrada de aguas a la laguna	
	Aumento de la temperatura	Aumento de la concentración de nitratos y nitritos por la temperatura
	Aceleración de la actividad biológica en la laguna	
	Aumento de la producción de nitrógeno	
Intensificación de la contaminación de la laguna	Aumento de nitratos y nitritos por contaminación	
Alteración de los patrones de circulación del agua	Dispersión y concentración de nitratos y nitritos por circulación del agua	
Clorofila	Aumento de la temperatura	Disminución de la cantidad de clorofila por cambios en la temperatura
	Aumento de la tasa de fotosíntesis	
	Aumento de la producción de clorofila	
	Aumento de la tasa de mortalidad de las algas y los vegetales acuáticos	
	Reducción de la cantidad de luz solar disponible sobre la superficie de la laguna, afectando las algas y los vegetales	Afectación de la producción de clorofila por cambios en la cantidad de luz solar
	Afectación en el proceso de fotosíntesis	
	Aumento de la concentración de gases de efecto invernadero	Afectación de la producción de clorofila por concentración de gases
Aumento de la acidificación de las aguas de la laguna		
Afectación del crecimiento de algas y vegetales acuáticos		

Es importante tener en cuenta que la laguna debe contar con unas características adecuadas para su correcto funcionamiento y el de la biodiversidad que alberga, tales características están dadas por:

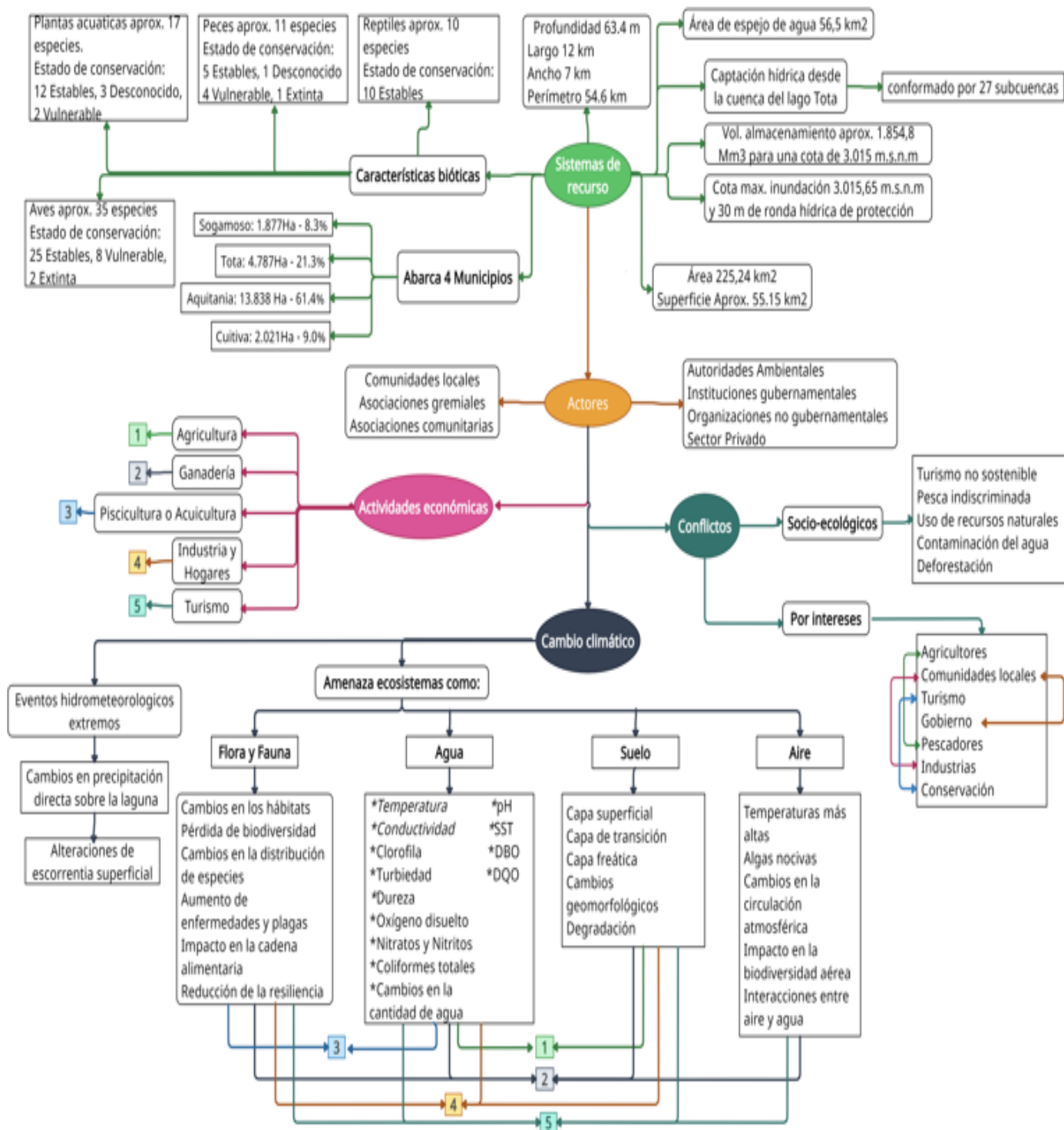
- Agua de calidad: El agua debe estar libre de contaminantes, con la concentración adecuada de nutrientes y pH, los cuales son fundamentales para el crecimiento de la vida acuática.
- Profundidad: la profundidad hace parte de las características importantes, ya que de ella depende la cantidad y variedad de especies que hacen parte de la vida acuática, lo cual ayuda con el equilibrio biológico adecuado de la laguna.
- Área: La superficie de la laguna debe ser lo suficientemente grande para poder albergar las diversas poblaciones de vida acuática, las cuales son las que permiten el equilibrio biológico.
- Circulación: El equilibrio biológico y la circulación de la materia orgánica y desechos hacen parte de las actividades más importantes que se deben presentar en la laguna, este proceso se genera por la correcta circulación del agua en la laguna, de esta forma es posible evitar la acumulación de dichos residuos y mantener un equilibrio de las especies dentro de la laguna.
- Vegetación acuática: La vida dentro de la laguna está dada por la vegetación acuática, ya que esta presta su servicio como hábitat y alimento de todos los organismos de la laguna, de igual forma ayudan a proteger el equilibrio biológico adecuado.
- Protección de contaminantes: Se deben bloquear aquellas entradas de contaminantes externos, originados por vertimientos de origen agrícola o industrial, con el fin de proteger la calidad del agua y se equilibrio biológico.

- **Conectividad:** La laguna debe tener conexiones en su entorno, que le permitan una correcta circulación del agua y la entrada y salida de especies, de esta forma es posible mantener un adecuado equilibrio ecológico.

En la figura 26 se presenta la interacción existente entre los factores socio-ecosistémicos y la laguna de Tota, permitiendo evidenciar como las dinámicas económicas desarrolladas en las proximidades de la laguna (identificadas bajo los números del 1 al 5), tienen un impacto significativo en la degradación de sus ecosistemas (relación de los números), aumentándose bajo la influencia del cambio climático.

Figura 26.

Análisis socio-ecológico en relación con el cambio climático para la laguna de Tota Boyacá



Conclusiones

El desarrollo de esta tesis ha proporcionado una valiosa comprensión sobre las complejas interacciones que se presentan entre la Laguna de Tota y las comunidades que dependen de ella como fuente vital para llevar a cabo actividades económicas y sociales. A través de esta investigación, se ha logrado evidenciar la magnitud de los impactos y desafíos que enfrenta este importante recurso hídrico y los valiosos ecosistemas que lo conforman, todo ello en el contexto del creciente desafío del cambio climático, es por ello que resulta importante resaltar la importancia de los tres aspectos fundamentales de la laguna de Tota.

Durante la caracterización física, biótica y socioeconómica de la laguna fue posible obtener la comprensión integral de la estructura, la biodiversidad y las dinámicas sociales que se generan. Este análisis proporciona una base que permite comprender las complejas interacciones en la laguna y la comprensión de las diferentes perspectivas que a futuro puede apoyar investigaciones y estrategias de conservación.

Por otra parte, las interacciones socio-ecológicas complejas y dinámicas entre la sociedad y los ecosistemas de la laguna de Tota, en donde las actividades económicas y sociales realizadas por las comunidades locales, influyen negativamente en la salud del ecosistema acuático, de igual forma como los cambios que presenta el medio ambiente impactan en la vida y el bienestar de las personas.

De igual forma, se perciben los factores de vulnerabilidad ante el cambio climático, en donde la laguna de Tota estaría expuesta a eventos climáticos extremos en periodos frecuentes, dentro de los cuales estarían las sequías y las inundaciones, estos eventos conllevan a la afectación y la disponibilidad del recurso hídrico. Por su parte las actividades agrícolas y

ganaderas agregan un impacto mayor al punto de alterar la sostenibilidad de la laguna y los sistemas ecológicos que interactúan con ella.

Finalmente, los conflictos socio-ecológicos generados entre los diferentes actores que presentan intereses por el uso de los recursos naturales de la laguna, impiden que se cumpla con los esfuerzos de conservación para la adaptación del cambio climático mediante una gestión sostenible y de integración.

Recomendaciones

Después de la verificación de información, recolección de datos, estudios realizados y las proyecciones en cuanto a los escenarios de variabilidad que se pueden presentar en la laguna de Tota por el cambio climático, a continuación, se relacionan las recomendaciones más importantes.

Fortalecer la gobernanza ambiental, de forma que se involucren a todos los actores mediante estrategias de participación ciudadana, en donde prevalezca la toma de decisiones de forma colectiva, de tal forma que se genere una gestión responsable e integrada del recurso hídrico.

Desarrollar planes de adaptación al cambio climático, teniendo como base los factores de vulnerabilidad ya identificados, que sean específicos para la laguna de Tota, que incluyan las medidas pertinentes para el manejo del agua, prácticas agrícolas sostenibles, el uso de energías limpias y sobre todo estrategias que permitan la conservación de los ecosistemas acuáticos.

Implementaciones efectivas para promover practicas sostenibles de las actividades económicas que generan mayor impacto sobre la laguna de Tota, para lo cual se pueden proponer incentivos que motiven a la comunidad a adoptar prácticas amigables con el medio ambiente y certificaciones sostenibles.

Es importante establecer un sistema que permita monitoreas y hacer seguimiento continuo de los indicadores ambientales y socioeconómicos de la laguna de Tota, lo anterior con el fin de evaluar la eficiencia de las medidas implementadas e identificar las tendencias que permitan realizar los ajustes pertinentes a las variables que presenten más afectación de acuerdo con las evidencias recolectadas, de tal forma que se aplique una gestión adaptativa.

Investigar métodos avanzados de modelación climática y ecológica enfocada en cuerpos de aguas lénticos, que permitan prever los escenarios de forma más precisa y entender las complejas interacciones que se presentan en la laguna.

Incluir tecnologías emergentes como sensores y sistemas de información geográfica que permita monitorear en tiempo real, con el fin de poder tener acceso de forma oportuna a los cambios que se presenten en la laguna de forma inesperada.

Realizar análisis tomando como referencia periodos de tiempo más largos y datos históricos que permitan realizar proyecciones a largo plazo con el fin de poder evaluar tendencias e incorporar medidas preventivas efectivas.

Desarrollar estrategias de manejo enfocadas en la educación y sensibilización del recurso hídrico y los desafíos que presenta frente al cambio climático, estas estrategias se pueden realizar mediante campañas de sensibilización enfocadas a las comunidades, los actores y aquellas personas encargadas de la toma de decisiones, con el fin de promover la conservación y uso responsable de la laguna de Tota.

Establecer colaboraciones con organizaciones internacionales enfocadas en cambio climático y conservación de ecosistemas acuáticos, con el fin de adquirir conocimientos y experiencias globales, así como estudiar la viabilidad de financiamientos para la conservación de la laguna.

Fomentar la investigación continua por medio de becas, colaboraciones con instituciones académicas y gubernamentales que permitan mantener una actualización constante de las últimas tendencias y descubrimientos referentes al cambio climático y la ecología existente en el sistema acuático.

Bibliografía

Amaya, A. (2019). *Análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales de salud, municipio de Tota Boyacá 2019*. ESE Centro de Salud Tota, 3-115.

https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/asis2019/asis_tota_2019.pdf

Cáceres, A. (8 de julio de 2019). *Estudio de los cuerpos lénticos en el escenario de cambio climático, una mirada a Colombia*. Revista pertinencia académica, (3), 29-45.

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/21499/2019angelacaceres?sequence=1>

Castro, A, D. (2018). *Caracterización y análisis de la calidad del agua de la laguna de Tota, Boyacá*. Universidad de los Andes, facultad de ingeniería [tesis de pregrado, Universidad de los Andes]. Repositorio Institucional Uniandes, 10-75.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/45359/u826908.pdf?sequence=1>

Calvachi, B. Moncaleano, A., Sánchez, D. (2005). *Estado actual de la fauna silvestre en el lago de Tota. Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca del lago Tota. Convenio número 038 de 2004*. Corpoboyacá – PUJ, (pp. 1-48). <https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/diagnostivo-estado-actual-fauna-silvestre-lago-tota.pdf>

Conpes 3801. (2014). *Manejo ambiental integral de la Cuenca hidrográfica del lago de Tota*. Consejo Nacional de Política Económica y Social, 1-62.

<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3801.pdf>

DCCD UAM. (2012, 8 de octubre). *¿Qué es el cambio Climático?* [Video]. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=fPyNZHZXo80>

El planeta Z. (2021, 8 de abril). *Causas y Consecuencias del Cambio Climático* [Video].

YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=CIrNSNnbvJU>

Franco-Vidal, L., Delgado, J., Andrade, G. (2012). *Factores de la vulnerabilidad de los humedales altoandinos de Colombia al cambio climático global*. 22(2), 70-81.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/71886/37018-173134-1-PB.pdf>

Franco-Vidal, L., Ruiz-Agudelo, C. A., Delgado, J., Andrade, G. y Guzmán, A. (2015).

Interacciones socioecológicas que perpetúan la degradación de la laguna de Fúquene, Andes orientales de Colombia. *Ambiente y Desarrollo*, 19(37), 49-66.

<https://www.conservation.org.co/media/R1-2015-Franco-Ruiz-CA-.pdf>

Fernández, J. L. (2012). *El cambio climático: Sus causas y efectos medioambientales*. Dialnet, 71-98. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4817473>

Fernández, R. L. (2020). Ecosistemas lénticos: qué son y ejemplos. *Ecología verde*.

<https://www.ecologiaverde.com/ecosistemas-lenticos-que-son-y-ejemplos-2132.html>

García, G. M., Carbajal, E. Y. & Jiménez, E. H. (2006). *La gestión integral de los recursos hídricos como estrategia de adaptación al cambio climático*. *Redalyc.org*, 9(1), 19-29.

<https://www.redalyc.org/pdf/2913/291323498002.pdf>

IDEAM. (2022). *Estudio Nacional del agua ENA 2022 - Anexo 2 Indicadores hídricos por subzona hidrográfica*. [a00953c3-975e-4c0b-8714-86aed6ce0dca \(ideam.gov.co\)](https://www.ideam.gov.co)

IDEAM. *Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos*. Consultado el 2 de marzo del 2023.

<http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Jaramillo, D. Rodríguez, N., Salazar, M., Hurtado, C., Rondón, M. (2021). Contaminación del lago de Tota y modelos biológicos para estudios de genotoxicidad. *Scielo* 11(2).

[Contaminación del Lago de Tota y Modelos Biológicos para estudios de Genotoxicidad](#)
[\(scielo.org.co\)](#)

La agricultura y el cambio climático. (2015). EEA agency of the European Union.

<https://www.eea.europa.eu/es/pressroom/infografia/el-cambio-climatico-y-la-agricultura/view>

López, B. M. (2014, 13 de febrero). *Un enfoque desde la complejidad de los sistemas socioecológicos* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=-Qn8u8v3fHg>

National Geographic. (2023). *¿Qué es el calentamiento global?*.

<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-es-el-calentamiento-global>

McGinnis, M. D., and E. Ostrom. 2014. *Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges.* Ecology and Society 19(2): 30.

<https://www.ecologyandsociety.org/vol19/iss2/art30/>

Mesa, D. (2020). *Análisis de salud con el modelo de los determinantes sociales de salud, municipio de Aquitania Boyacá 2020.* ESE Salud Aquitania, 1-108.

https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/asis2020/asis_aquitania_2020.pdf

Nunez, C. (2019). *¿Qué son los gases efecto invernadero y cuáles son sus efectos?*. *National*

Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/gases-efecto-invernadero-que-son-efectos>

Núñez, L., Triana, J., Verdugo, N., Sopó, G., Martínez, O. (2014). *Informe Batimetría Lago de Tota.* Instituto de Hidrografía, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/16003/Batimetria%20Lago%20de%20Tota/6d14d1a2-a91b-4a20-86e3-58cb4242a616>

- Pabón, J. D. (2012). Cambio climático en Colombia: Tendencias en la segunda mitad del siglo XX y escenarios posibles para el siglo XXI. *Scielo.org*. 36(139), 261-278.
<http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v36n139/v36n139a10.pdf>
- Peña, J. G. (2020). *Modelación hidrológica en la cuenca del Lago de Tota*. Bogotá, D.C. AICCA, GEF, CAF, CONDESAN, Minambiente, IDEAM. <https://condesan.org/wp-content/uploads/2021/03/ModelacionHidrologica.pdf>
- Pérez, A., Macias, J. (2005). *Diagnóstico cuantitativo del recurso hídrico. Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca del lago Tota*. Convenio número 038 de 2004 – Corpoboyacá – PUJ. <https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/diagnostivo-cuantitativo-lago-tota.pdf>
- Ramírez, A., Merizalde, C. Y González, J. (2005). *Diagnóstico socioeconómico de los municipios de la cuenca del lago Tota*. Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca del lago de Tota. Convenio número 038 de 2004 – Corpoboyacá – PUJ.
<https://corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/diagnostico-socio-economico-lago-tota.pdf>
- Ramírez, A., Paeres, A., (2005). *Caracterización fisicoquímica del lago de Tota y sus principales tributarios. Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca del lago Tota*. Convenio número 038 de 2004. Corpoboyacá – PUJ. <https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/diagnostivo-caracterizacion-fisico-quimica-lago-tota.pdf>
- Rangel, O., Aguirre, J. (1983, 31 de octubre). Comunidades acuáticas altoandinas – I vegetación sumergida y de rivera en el lago de Tota, Boyacá, Colombia, 8(65), *Biblioteca digital UNAL*, 720-741. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/44563/34860-136045-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Ricaurte, P. (2005). *Problemática ambiental. Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca de Tota*. Convenio número 038 de 2004. Corpoboyacá – PUJ, 1-28.
<https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/diagnostivo-problematika-ambiental-lago-tota.pdf>
- Rocha. L. (2021, 21 de abril). Que son las emisiones de dióxido de carbono y por qué es vital reducirlas antes del 2050. *Infobae*. <https://www.infobae.com/sociedad/2021/04/22/que-son-las-emisiones-de-dioxido-de-carbono-y-por-que-es-vital-reducirlas-antes-del-2050/>
- Rodríguez R. K., Herrera H. C., y Martínez C. F. (2021). *Entre conservar y producir. La relación sociedad-naturaleza y los conflictos socio ecológicos en el lago de Tota, Boyacá, Colombia*. 33, 1-21.
<https://regionysociedad.colson.edu.mx:8086/index.php/rys/article/view/1419/1737>
- Salomón. S., Rivera. C., Zapata. A. (2020, abril-junio). Floraciones de cianobacterias en Colombia: estado del conocimiento y necesidades de investigación ante el cambio global, *Scielo*, 376-391. <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v44n171/0370-3908-racefn-44-171-376.pdf>
- UNESCO, ONU-Agua, 2020: *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático*, París, UNESCO.
<https://es.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2020>
- Urquiza, A., Cadenas, H. (2015). Sistemas socio-ecológicos: elementos teóricos y conceptuales para la discusión en torno a vulnerabilidad hídrica, *Revista de investigación*.
<https://journals.openedition.org/orda/1774>
- WAWES. (2016). *Contabilidad Ambiental y Económica para el agua: caso piloto para la Cuenca del Lago de Tota*. Wealth Accounting and Valuation of Ecosystem Services, 1-

78. <https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/05/Informe-cuenta-del-agua-Lago-Tota-.pdf>