

**ESTUDIO LIMNOLÓGICO DEL RÍO ATRATO Y LAS CIÉNAGAS DE
TUMARADÓ EN JURISDICCIÓN DEL PARQUE NACIONAL NATURAL LOS
KATÍOS**



**JOSÉ DAVID OBANDO ERAZO
2120102**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AMBIENTALES
PROGRAMA ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL
SANTIAGO DE CALI
2021**

**ESTUDIO LIMNOLÓGICO DEL RÍO ATRATO Y LAS CIÉNAGAS DE
TUMARADÓ EN JURISDICCIÓN DEL PARQUE NACIONAL NATURAL LOS
KATÍOS**



JOSÉ DAVID OBANDO ERAZO

**Pasantía institucional para optar al título de
Administrador Ambiental**

Coordinadora

ELIZABETH MUÑOZ

Director

ALEJANDRO SOTO DUQUE

Químico, M. Sc en Desarrollo sostenible y Medio Ambiente

Codirector

ANDRÉS CUELLAR CHACÓN

Biólogo, Profesional en Planes de Manejo Ambiental

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AMBIENTALES
PROGRAMA ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL
SANTIAGO DE CALI
2021**

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Administrador Ambiental

CAROLINA GOMEZ

Jurado

ELIZABETH MUÑOZ

Jurado

Santiago de Cali, 8 de abril de 2021

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por guiarme en el transcurso de mi vida académica, su aporte en conocimientos jurídicos y apoyo incondicional para adelantar el presente estudio.

Al Director de Trabajo de Grado Alejandro Soto Duque por su acompañamiento en los procesos académicos que me permitieron el enlace con Parques Nacionales Naturales de Colombia – Territorial Pacífico.

A parques nacionales territorial pacífico por brindarme la información correspondiente a los monitoreos limnológicos de la cuenca baja del río Atrato y las ciénagas de Tumaradó con la cual fue posible llevar a cabo la modelación gráfica y el análisis descriptivo de 7 parámetros limnológicos.

CONTENIDO

	pág.
GLOSARIO	10
RESUMEN	11
INTRODUCCIÓN	13
1. JUSTIFICACIÓN	15
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	19
4. OBJETIVOS	20
4.1 OBJETIVOS GENERALES	20
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
5. ESTADO DEL ARTE	21
6. MARCO TEÓRICO	28
7. MARCO LEGAL	32
8. ÁREA DE ESTUDIO	35
9. METODOLOGÍA DEL MONITOREO LIMNOLÓGICO	36
10. METODOLOGÍA DE INTERPOLACIÓN	38

10.1 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA DEFINIR EL MÉTODO DE INFERENCIA ESPACIAL	38
10.2 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA ELABORAR LA MODELACIÓN GRÁFICA DE LOS PARÁMETROS LIMNOLÓGICOS DEL RÍO ATRATO Y LAS CIÉNAGAS DE TUMARADÓ EN JURISDICCIÓN DEL PARQUE NACIONAL NATURAL LOS KATÍOS.	38
10.2.1 Preparación datos de entrada	38
10.2.2 Análisis estadístico	39
10.2.3 Interpolación Kriging	41
10.3 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA INTERPRETAR LA VARIACIÓN ESPACIAL DE LOS PARÁMETROS LIMNOLÓGICOS DEL RÍO ATRATO Y LAS CIÉNAGAS DE TUMARADÓ EN JURISDICCIÓN DEL PARQUE NACIONAL NATURAL LOS KATÍOS.	42
11. RESULTADOS Y ANÁLISIS	43
11.1 PROFUNDIDAD	43
11.2 TEMPERATURA	45
11.3 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	48
11.4 SALINIDAD	50
11.5 DENSIDAD	52
11.6 VELOCIDAD DEL SONIDO	54
11.7 PRESIÓN	56
12. CONCLUSIONES	57
13. RECOMENDACIONES	59
REFERENCIAS	60
ANEXOS	64

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 <i>Mapa área de estudio.</i>	35
Figura 2. <i>Histograma de frecuencia - temperatura.</i>	40
Figura 3. <i>Análisis de tendencia - temperatura.</i>	41
Figura 4. <i>Profundidad - Variación espacial de la cuenca baja del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó.</i>	44
Figura 5. <i>Temperatura - Variación espacial de la cuenca baja del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó.</i>	47
Figura 6. <i>Conductividad eléctrica - Variación espacial de la cuenca baja del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó.</i>	49
Figura 7 <i>Salinidad - Variación espacial de la cuenca baja del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó.</i>	51
Figura 8. <i>Densidad - Variación espacial de la cuenca baja del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó.</i>	53
Figura 9. <i>Velocidad del sonido - Variación espacial de la cuenca baja del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó.</i>	55
Figura 10. <i>Presión - Variación espacial de la cuenca baja del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó.</i>	56

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. <i>Estudio de caso No. 1</i>	22
Tabla 2. <i>Estudio de caso No. 2</i>	24
Tabla 3. <i>Estudio de caso No. 3</i>	25
Tabla 4. <i>Estudio de caso No. 4</i>	26
Tabla 5. <i>Monitoreo de la Calidad del Agua en Estados Unidos.</i>	28
Tabla 6. <i>Jurisprudencia que ampara al Parque Nacional Natural los Katíos y normatividad relacionada a la Gestión Integral del Recurso Hídrico.</i>	32
Tabla 7. <i>Incidencia de la temperatura sobre el oxígeno disuelto (OD).</i>	46
Tabla 8. <i>Indicador de biodiversidad asociado a la escala de temperatura para la cuenca baja del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó.</i>	47
Tabla 9. <i>Indicador de biodiversidad asociado a la escala de conductividad eléctrica para la cuenca baja del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó.</i>	49
Tabla 10. <i>Indicador de biodiversidad asociado a la escala de salinidad para la cuenca baja del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó.</i>	50
Tabla 11. <i>Incidencia de la temperatura sobre la velocidad el sonido en la cuenca baja del río Atrato y las ciénagas de Tumaradó.</i>	54

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Monitoreo limnológico	64

GLOSARIO

COVARIANZA. indica el grado de variación conjunta entre dos variables aleatorias respecto a sus medias para determinar si existe una dependencia entre sí.

ECOSISTEMA LÓTICO. ecosistema acuático continental en el cual el movimiento del agua es predominante en una dirección debido a factores físicos como: pendiente, caudal, profundidad, entre otros.

ECOSISTEMA LÉNTICO. ecosistema acuático continental que abarca los cuerpos de agua relativamente estancados tales como lagos, lagunas, ciénagas, estanques, entre otros.

HISTOGRAMA. representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados.

INTERPOLACIÓN. obtención de nuevos datos partiendo del conocimiento de un conjunto de datos.

LIMNOLOGÍA. ciencia que estudia los aspectos físicos, químicos y biológicos de los ecosistemas de agua dulce, especialmente los lagos.

VARIOGRAMA. herramienta que permite analizar el comportamiento espacial de una variable sobre un área definida reflejando la forma en que un punto tiene influencia sobre otro punto a diferentes distancias.

RESUMEN

Esta investigación se efectuó en el marco de los monitoreos limnológicos que realiza Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN), en ejercicio de una administración acertada sobre las áreas de conservación; tiene como objetivo establecer la modelación gráfica y el análisis descriptivo de los parámetros limnológicos: presión, profundidad, temperatura, densidad, conductividad eléctrica, salinidad y velocidad del sonido del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó, en jurisdicción del Parque Nacional Natural Los Katíos (PNN Los Katíos). Se implementó la metodología de interpolación Kriging en el Sistema de Información Geográfico (SIG) ArcGIS permitiendo evidenciar que las condiciones limnológicas en los ecosistemas de agua dulce varían según el tipo de ecosistema particular bajo estudio, debido a que el flujo de corriente en sistemas lóticos permite el tránsito de materia orgánica así como de sales minerales evitando su aglutinamiento. En tanto que en ecosistemas lénticos tienden a estancarse elevando principalmente las concentraciones de salinidad y con ello, los niveles de conductividad eléctrica que eventualmente pueden ocasionar afectaciones en los procesos biológicos llevados a cabo por las especies acuáticas; por otra parte, la profundidad es otro factor a tener en cuenta en el análisis general de un estudio limnológico ya que determina las variaciones presentes en la temperatura la cual actúa a su vez como un indicador abiótico de biodiversidad. Asimismo, las actividades antrópicas lícitas e ilícitas se consolidan como el tercer elemento a tener en cuenta en un estudio limnológico pues inciden considerablemente sobre la gran mayoría de características físico-químicas y especialmente sobre dos parámetros que resultan esenciales para el funcionamiento de los ecosistemas como son, el oxígeno disuelto (OD) y el potencial de Hidrogeno (pH). La investigación permitió concluir que, tanto la cuenca baja del río Atrato como las Ciénagas de Tumaradó cuentan con un estado de conservación ecológico favorable para el desarrollo estable de fauna y flora acuática, exceptuando el área norte de la ciénaga denominada *La Última*, en donde se registraron temperaturas elevadas de hasta 30°C que pueden generar cambios metabólicos en las especies afectando su crecimiento, reproducción y determinación de sexo. Finalmente el estudio se proyecta como un punto de apoyo para el desarrollo de futuras investigaciones relacionadas a la conservación y al uso sostenible de los recursos hídricos contenidos en la cuenca baja del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó.

Palabras clave:

Río Atrato, ciénagas de Tumaradó, limnología, Sistemas de Información Geográficos, interpolación, ecosistema lótico, ecosistema léntico.

ABSTRACT

This research was carried out within the framework of the limnological monitoring carried out by the National Natural Parks of Colombia (PNN), in the exercise of a correct administration of the conservation areas; aims to establish graphic modeling and descriptive analysis of limnological parameters: pressure, depth, temperature, density, electrical conductivity, salinity and sound speed of the Atrato River and the Tumaradó swamps, in the jurisdiction of the Los Katíos National Natural Park (PNN Los Katíos). The Kriging interpolation methodology was implemented in the ArcGIS Geographic Information System (GIS) allowing to show that the limnological conditions in freshwater ecosystems vary according to the type of particular ecosystem under study, because the current flow in lotic systems allows the transit of organic matter as well as mineral salts avoiding their agglutination. Whereas in lentic ecosystems they tend to stagnate, mainly raising salinity concentrations and with it, the levels of electrical conductivity that may eventually affect the biological processes carried out by aquatic species; on the other hand, depth is another factor to take into account in the general analysis of a limnological study since it determines the variations present in temperature, which in turn acts as an abiotic indicator of biodiversity. Likewise, licit and illicit anthropic activities are consolidated as the third element to take into account in a limnological study since they have a considerable impact on the vast majority of physical-chemical characteristics and especially on two parameters that are essential for the functioning of ecosystems, such as , Dissolved Oxygen (DO) and Hydrogen Potential (pH). The research allowed to conclude that both the lower basin of the Atrato River and Tumaradó swamps have a favorable ecological conservation status for the stable development of aquatic fauna and flora, except for the northern area of the swamp called La Ultima, where recorded high temperatures of up to 30 ° C that can generate metabolic changes in the species affecting their growth, reproduction and sex determination. Finally, the study is projected as a point of support for the development of future research related to the conservation and sustainable use of the water resources contained in the lower basin of the Atrato River and Tumaradó swamps.

Keywords:

Atrato river, Tumaradó swamps, limnology, Geographic Information Systems, interpolation, lotic ecosystem, lentic ecosystem.

INTRODUCCIÓN

El Chocó biogeográfico comprende una serie de atributos ambientales que se extienden desde el este de Panamá, pasando por la costa pacífica colombiana, hasta el litoral noroeste del Ecuador, generando condiciones de hábitat apropiadas para el desarrollo estable de biodiversidad terrestre y acuática. Uno de los atributos de mayor relevancia para la región es el paso del río Atrato, que cuenta con una longitud de 650 km y actúa como un soporte ecosistémico para la proliferación de una vasta cantidad de organismos, entre los que resaltan “669 especies botánicas, 182 especies de mamíferos, 105 especies de reptiles, 20 especies de anfibios y 412 especies de aves” (PNN, 2010). Razón por la cual en el año 1973 el gobierno nacional junto a Parques Nacionales Naturales de Colombia autorizó la conservación y protección de la cuenca baja del río Atrato dada su vital función como corredor ecológico para la biodiversidad entre la cordillera occidental y el parque nacional el Darién-Panamá. El área alinderada bajo protección se denominó Parque Nacional Natural los Katíos; “cuenta con un área de 72.000 hectáreas comprendiendo los departamentos de Antioquia y Chocó.” (PNN, 2010)

Esta investigación contiene el estudio limnológico de la cuenca baja del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó, tomando como objetivo principal la consolidación de la modelación gráfica e interpretación de los parámetros: presión, profundidad, temperatura, densidad, conductividad eléctrica, salinidad y velocidad del sonido, implementando la metodología de interpolación Kriging en el Sistema de Información Geográfico ArcGIS.

Uno de los motivos de la investigación es aportar al conocimiento de tan vital tema, pues hay ausencia de estudios limnológicos sobre la cuenca baja del río Atrato como en las ciénagas de Tumaradó, suministrando así, el primer estudio limnológico en estas áreas al mismo tiempo que brinda herramientas para generar un punto de apoyo en los Planes de Manejo Ambiental (PMA) que Parques Nacionales Naturales de Colombia desarrolla sobre el PNN Los Katíos.

Acorde con el objetivo central de la investigación, la estructura que se presenta a continuación parte de las causas por las cuales se eligió al río Atrato y las ciénagas de Tumaradó como objeto de estudio, al tiempo que se describen los retrasos que afronta el desarrollo de la limnología en Colombia y específicamente en la cuenca baja del río Atrato. Igualmente se muestran las metodologías implementadas en el desarrollo de la investigación; una por su parte que corresponde al proceso de monitoreo limnológico *in situ* realizado por Parques Nacionales Naturales de Colombia en el año 2017 y la segunda, correspondiente al proceso de interpolación Kriging que se llevó a cabo en el Sistema de Información Geográfico ArcGIS, dando como resultado la modelación gráfica de

los parámetros limnológicos mencionados anteriormente. El primer estudio limnológico en Colombia se llevó a cabo en 1918 por el entomólogo y botánico Edward Bruce Williamson, quien publicó el reporte titulado “A Collecting trip to Colombia, South América”, mediante el cual hace conocer que recorrió parte del río Magdalena desde Santa Marta hasta las poblaciones de Honda y La Dorada recolectando odonatos adultos y documentando las características ambientales del río Magdalena.” (Pérez, 2009, p. 1).

1. JUSTIFICACIÓN

El estudio de los ecosistemas acuáticos mediante el uso de Sistemas de Información Geográficos (SIG) constituye un elemento fundamental a la hora de promover proyectos enfocados hacia la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales, dado que suministra e interpreta información gráfica relacionada a los parámetros físicos, químicos y biológicos de los ecosistemas lóticos y lénticos dando a conocer aspectos cruciales en las dinámicas de los ecosistemas como la distribución espacial de las especies y el modo en que estas se relacionan con su entorno. Inicialmente se seleccionó al río Atrato como objeto de estudio debido a que Parques Nacionales Naturales de Colombia – Territorial Pacífico determinó que es el sistema lótico de mayor relevancia en la región del Chocó Biogeográfico¹.

El Parque Nacional Natural los Katíos resalta por su alto grado de importancia al contar con el reconocimiento de Patrimonio Mundial Natural y Reserva de la Biosfera otorgado por la UNESCO, ya que de este modo se posibilita el direccionamiento de recursos económicos y humanos orientados a la mitigación del cambio climático, la conservación de biodiversidad y el desarrollo de la investigación científica. (PNN, 2010)

La investigación tiene como finalidad crear el primer estudio limnológico de la cuenca baja del río Atrato y las ciénagas de Tumaradó con el propósito de fortalecer los PMA que Parques Nacionales Naturales de Colombia desarrolla sobre las áreas de conservación. Vale decir que la investigación busca crear un punto de apoyo para futuras investigaciones encaminadas a la conservación y al uso sostenible de los recursos hídricos que consolide la información en torno al río Atrato y las ciénagas de Tumaradó, teniendo en cuenta que son ecosistemas de importancia mundial al actuar como reservas de la biosfera.

Mediante la revisión bibliográfica sobre los avances limnológicos en el área de estudio, se encontró, que pese a la existencia de numerosas instituciones tanto municipales como departamentales (Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó – CODECHOCÓ, Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – CORANTIOQUIA, Grupo de Limnología Básica y Aplicada de la Universidad de Antioquia), dedicadas al estudio de las aguas

¹ Los datos que se referencian a lo largo del trabajo fueron suministrados de manera digital, por el Biólogo Andrés Cuellar Chacón, funcionario responsable de los Planes de Manejo Ambiental del PNN Los Katíos. Quien referencia que según los estudios realizados por Parques Nacionales Naturales de Colombia – Territorial Pacífico, el río Atrato es el sistema lotico de mayor relevancia en la región del Choco Biogeográfico.

continentales en Chocó y Antioquia, hay poca información en torno a los estudios limnológicos del río Atrato y las ciénagas de Tumaradó. Es el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP), una de las pocas instituciones que realiza aportes en torno a la información batimétrica del río Atrato como son la medición del caudal, longitud, delimitación geográfica, climatología y fauna asociada; a pesar de ello, es evidente que aún existe un vacío significativo en torno a la información relacionada a este cauce, debido en gran parte a su magnitud y a la falta de recursos destinados a la investigación científica.

Por tanto, uno de los grandes aportes de este trabajo es que se constituye en el primer estudio limnológico de la cuenca baja del río Atrato y las ciénagas de Tumaradó, al realizar la representación gráfica e interpretación de 7 parámetros limnológicos (presión, profundidad, temperatura, densidad, conductividad eléctrica, salinidad y velocidad del sonido) fundamentales para el desarrollo estable de la biodiversidad como es el caso de la temperatura, la cual

Desempeña un rol fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas al regular o afectar otros factores abióticos del ecosistema como: la solubilidad de nutrientes, la solubilidad de gases, el estado físico de los nutrientes, el grado de toxicidad y propiedades físico-químicas del medio acuoso como: pH, oxígeno disuelto (OD), solubilidad de gases, densidad y la viscosidad del sustrato. (Gonzales, 2011).

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El estudio de las aguas continentales representa una labor dispendiosa si se tiene en cuenta los alcances socio-ambientales que conlleva, siendo necesaria la inclusión de diversas ramas de la ciencia para brindar resultados completos que sean de utilidad tanto en la conservación de las áreas protegidas como en el uso sostenible de los recursos hídricos. En este sentido, la limnología así como los Sistemas de Información Geográficos constituyen la base de los estudios relacionados a los ecosistemas de agua dulce ya que se plantean como campos multidisciplinarios en donde convergen biólogos, ecólogos, matemáticos, ingenieros ambientales, químicos, físicos, estadistas, entre otros, permitiendo establecer dos elementos de importancia para la conservación. En primer lugar hacen posible determinar el estado ecológico de los cuerpos de agua y en segundo lugar permiten comprender mediante una revisión más profunda e interdisciplinaria las relaciones existentes entre las especies con su entorno. No obstante su importancia, el estudio de estas ciencias en Colombia ha sido escaso y no ha aportado los elementos necesarios para comprender las dinámicas de los ecosistemas, por lo cual es preciso levantar información limnológica del río Atrato y las ciénagas de Tumaradó.

Por otra parte se logró identificar en el transcurso de la investigación, que el desarrollo de los estudios limnológicos en Colombia son relativamente recientes y no tienen continuidad entre sí, lo cual se puede evidenciar a partir de los primeros estudios limnológicos llevados a cabo en la década de los años 50's por el científico especialista en limnología Joaquín Molano Campuzano. Quien realizó mediciones fisicoquímicas en varias lagunas y ríos, en colaboración con el profesor de la Universidad de los Andes Roberto Galán Ponce, quien, "mientras adelantaba estudios limnológicos de carácter aplicado al tratamiento biológico del agua fue retenido y secuestrado impidiendo la publicación de sus investigaciones" (Roldan, 2009, p 227) pausando el desarrollo de los estudios limnológicos en Colombia.

En cuanto a los estudios limnológicos del río Atrato y las ciénagas de Tumaradó, no se encuentran investigaciones al respecto. Existe un monitoreo *in situ* realizado por investigadores del Parque Natural Nacional los Katíos en el mes de noviembre de 2017. Los datos recolectados en ese trabajo han permanecido en los archivos documentales del Parque sin ser procesados, lo cual implica que la información que allí reposa no puede ser utilizada para el conocimiento del área, ya que es abstracta e ininteligible por la densidad de la información allí contenida. En tal sentido el propósito de la recolección de los datos no está cumpliendo el objetivo de hacer conocer las condiciones limnológicas del río Atrato y las ciénagas de Tumaradó.

Por estas razones, estudios como este, son novedosos, pertinentes y de impacto en la comunidad científica, porque busca aportar a la comunidad investigativa la representación gráfica e interpretación de la variación espacial que presentan los datos limnológicos del río Atrato y las ciénagas de Tumaradó, a partir de los datos recolectados en los monitoreos limnológicos llevados a cabo por Parques Nacionales en el año 2017. De no ser así dichos monitoreos no proporcionarían la información necesaria para ser aplicada en proyectos de conservación y del uso sostenible de los recursos hídricos, implicando un retraso en el estudio de los ecosistemas acuáticos vitales para el suministro de los servicios ecosistémicos.

3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

❖ ¿Cómo varían espacialmente los parámetros limnológicos presión, profundidad, temperatura, densidad, velocidad del sonido, conductividad eléctrica y salinidad del río Atrato y de las ciénagas de Tumaradó en jurisdicción del Parque Nacional Natural los Katíos?

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVOS GENERALES

Realizar la modelación gráfica y el análisis descriptivo de las condiciones limnológicas del río Atrato y las ciénagas de Tumaradó en jurisdicción del Parque Nacional Natural los Katíos.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir el método de inferencia espacial que brinde resultados ceñidos a los valores reales.
- Elaborar la modelación gráfica de los parámetros limnológicos del río Atrato y las ciénagas de Tumaradó en jurisdicción del Parque Nacional Natural los Katíos.
- Interpretar la variación espacial de los parámetros limnológicos del río Atrato y las ciénagas de Tumaradó en jurisdicción del Parque Nacional Natural los Katíos.

5. ESTADO DEL ARTE

Una vez realizada la revisión bibliográfica respecto a los estudios limnológicos en Sur América, se estableció que existen cuatro estudios de caso, que se constituyen en herramientas teórico-conceptuales y metodológicas que aportan a esta investigación, las cuales, para su mayor comprensión se presentan a través de cuatro tablas que contienen: objetivos, metodología, resultados y conclusiones.

Tabla 1.
Estudio de caso No. 1

<p>Variaciones limnológicas de un embalse profundo en períodos con distintos patrones de lluvia - Brasil. (Geraldes & Georgel, 2013)</p>	
<u>Objetivo</u>	<p>Este estudio pretende proporcionar información sobre cómo la variación de precipitación puede afectar los parámetros ambientales (fósforo total, temperatura del agua, pH, conductividad, oxígeno disuelto, profundidad de Secchi, clorofila y abundancia de <i>Anabaena</i>) y la composición y abundancia del zooplancton de los crustáceos.</p>
<u>Metodología</u>	<p>Las muestras se recolectaron mensualmente desde octubre de 2000 hasta septiembre de 2002 y desde octubre de 2007 hasta septiembre de 2009 en una única estación de muestreo ubicada en el punto más profundo del embalse. Todos los datos se obtuvieron de la zona eufótica.</p>
<u>Resultados</u>	<p>Los valores más altos de las concentraciones totales de fósforo se informaron junto con los valores máximos de precipitación. Por el contrario, la conductividad disminuyó durante los períodos húmedos. La presencia de <i>Anabaena</i> solo se detectó entre septiembre y diciembre de 2001. La abundancia total de <i>Daphnia longispina</i> mostró grandes diferencias interanuales. Se infirió un patrón estacional claro para <i>Diaphanosoma brachyurum</i> y <i>Ceriodaphnia pulchella</i>. Ambas especies son termofílicas y comienzan a detectarse a principios del verano cuando la temperatura del agua es de alrededor de 15 °C. La abundancia de <i>Copidodiaptomus numidicus</i> no presentó un patrón estacional claro.</p>

Tabla 1. (Continuación)

<p><u>Conclusiones</u></p>	<p>Algunos de los cambios observados en los parámetros ambientales (conductividad, concentraciones totales de fósforo y abundancia de <i>Anabaena</i>) que resultan en cambios en la abundancia de zooplancton son inducidos por la variación de la lluvia. Las especies más afectadas fueron aquellas con falta de estacionalidad (<i>C. numidicus</i>) o especies que se presentan principalmente en invierno / principios del verano (<i>Daphnia longispina</i>). Sin embargo, es probable que una amplia gama de interacciones físicas, químicas y bióticas influyan en la abundancia de zooplancton. Por lo tanto, se recomienda precaución al relacionar la variación observada exclusivamente con la intensidad de la lluvia. De hecho, algunos de los cambios observados fueron inducidos por otros factores que varían sutilmente en un patrón estacional o interanual, independientemente de la intensidad de la lluvia. (Geraldés & Georgel, 2013)</p>
----------------------------	---

Tabla 2.
Estudio de caso No. 2

Limnología de una granja integrada de acuicultura en jaula-estanque – Brasil.(Mauricio Bini, & Machado Velho, 2013)	
<u>Objetivo</u>	Investigamos experimentalmente los efectos del enriquecimiento de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en la densidad, la biomasa y el tamaño celular de las comunidades de nanoflagelados de plancton pigmentados y heterotróficos.
<u>Metodología</u>	El experimento se realizó en mesocosmos en un reservorio tropical durante un período de 19 días. Se llevaron a cabo cuatro tratamientos diferentes: Control (adición no nutritiva - C), adiciones de fósforo (P), adición de nitrógeno (N) y adición de fósforo + nitrógeno (N + P). Cada tratamiento se realizó por triplicado, ordenado al azar, dando así un total de 12 carbohidratos experimentales, que se colocaron transversalmente en el medio del reservorio.
<u>Resultados</u>	En general, las fracciones de nanoflagelados pigmentados y heterotróficos respondieron a la adición de nutrientes, aumentando las densidades y los valores de biomasa en los tratamientos fertilizados. Opuesto a lo esperado, los tratamientos enriquecidos dieron como resultado una ligera disminución en el tamaño celular promedio de la fracción pigmentada. Además, en los tratamientos ricos en nutrientes, los nanoflagelados pigmentados tuvieron mayor abundancia relativa que en el control.
<u>Conclusiones</u>	Nuestros resultados indican que: i) la densidad y la biomasa de los nanoflagelados respondieron al enriquecimiento de nutrientes, principalmente cuando se agregaron N y P juntos; ii) las fracciones pigmentadas y heterotróficas mostraron respuestas temporales distintas a la fertilización; iii) el crecimiento de la comunidad de nanoflagelados parece estar limitado por N y P; iv) el enriquecimiento de nutrientes condujo a una mayor contribución de fracción pigmentada que heterotrófica) entre las variables analizadas, las densidades de nanoflagelados parecen ser más sensibles a los cambios en la disponibilidad de nutrientes que la biomasa o el tamaño celular promedio. (Mauricio Bini, & Machado Velho, 2013).

Tabla 3.
Estudio de caso No. 3

<p>Limnología del yacimiento de Itaipú: grado de eutrofización y distribución horizontal de sus variables limnológicas - Brasil. (Mauricio Bini, & Machado Velho, 2013)</p>	
<p><u>Objetivo</u></p>	<p>Los embalses son hábitats artificiales, intermedios entre ríos y lagos, que presentan características hidrológicas y morfométricas distintas, con un tiempo de residencia medio diferencial del agua. También presentan organizaciones verticales y horizontales adecuadas, y su evolución depende de varias variables que actúan en diferentes escalas espaciales y temporales.</p>
<p><u>Metodología</u></p>	<p>La evolución de la calidad del agua del embalse de Itaipú se evaluó mediante el análisis de las variables físicas, químicas y biológicas, y mediante la aplicación de índices de estado tróficos.</p>
<p><u>Resultados</u> <u>Y</u> <u>Conclusiones</u></p>	<p>Llegamos a la conclusión de que las variables limnológicas presentan un patrón horizontal de variación altamente dependiente del régimen hidrológico. La turbidez y los sólidos suspendidos totales presentaron el mismo patrón de distribución en las zonas de depósito. La zona fluvial tuvo las mayores concentraciones de nutrientes, sólidos en suspensión y turbidez. Los resultados de los Índices de Estado Trófico indican un nivel mesotrófico para las zonas fluviales y de transición, y un nivel oligotrófico para la zona lacustre. (Mauricio Bini, & Machado Velho, 2013)</p>

Tabla 4.
Estudio de caso No. 4

<p>Limnología en la llanura de inundación del río Paraná superior: patrones espaciales y temporales a gran escala, y la influencia de los embalses. (Roberto, Santana, & Thomaz, 2009)</p>	
<u>Objetivo</u>	<p>El conocimiento de los factores limnológicos abióticos es importante para monitorear los cambios causados por los humanos y para explicar la estructura y la dinámica de las poblaciones y comunidades en una variedad de ecosistemas de aguas continentales. En este estudio, utilizamos un conjunto de datos a largo plazo (ocho años) recolectado en 10 hábitats con diferentes características (canales de ríos y lagos conectados y aislados), para describir los patrones espaciales y temporales de algunos de los principales factores limnológicos.</p>
<u>Metodología</u>	<p>En general, el grado de conectividad de los lagos, junto con los ríos a los que están conectados, fueron determinantes importantes de sus características limnológicas. Se esperan estas diferencias, porque los ríos que ingresan a la llanura de inundación provienen de diferentes regiones geológicas y están sujetos a diferentes impactos humanos. A grandes escalas espaciales, estas diferencias contribuyen al aumento de la diversidad del hábitat de la llanura de inundación y, por lo tanto, a su alta biodiversidad.</p>
<u>Resultados</u>	<p>Con respecto a la variación temporal, la transparencia del disco Secchi aumentó y el fósforo total disminuyó en el canal principal del río Paraná durante los últimos 20 años. Aunque estos cambios se atribuyen directamente a las varias cascadas de embalse ubicadas aguas arriba, el cierre de la presa de Porto Primavera en 1998 mejoró este efecto.</p>
<u>Conclusiones</u>	<p>El aumento en la transparencia del agua explica los cambios bióticos dentro de la llanura de inundación. El agua del río Paraná, con bajo contenido de fósforo, probablemente diluye las concentraciones de este elemento en los cuerpos de agua de la llanura de inundación durante las grandes inundaciones, con consecuencias futuras para su productividad. (Roberto, Santana, & Thomaz, 2009)</p>

En cuanto a los estudios limnológicos en Colombia, existe un artículo de Gabriel Roldán Pérez titulado “Desarrollo de la limnología en Colombia: cuatro décadas de avances progresivos” (2009), en el cual se establece las distintas investigaciones que existen en nuestro país sobre los estudios en referencia, planteando que dichas investigaciones se realizan a partir de los años setenta. En este artículo se clasifican los estudios por ecosistemas y por ramas de la limnología así: Lagos y ciénagas, ictiología, macroinvertebrados acuáticos, ríos y corrientes, embalses, estuarios, plantas acuáticas. No obstante el artículo no refiere trabajos relacionados al PNN Los Katíos, ni del río Atrato, ni de las ciénagas de Tumaradó.

Respecto a los estudios en ríos y corrientes menciona los realizados sobre el río Medellín por Bunker (1931). Los trabajos de Fitkau (1964) y Sioli (1964, 1984) realizados en ríos de la Amazonía; en esa zona los más recientes trabajos son los de “Duque y Núñez (1997, 2000), Guisande et al. (2000), Sala et al. (1999), Viña y Duque (1999), Zúñiga de Cardozo (1997)”. El río Magdalena también ha sido objeto de estudio con el documento titulado: “Memoria del foro sobre contaminación del río Magdalena y sus alternativas de solución”, (Universidad del Norte, Barranquilla, 1986). Los trabajos de “Ruiz y Gómez (1988) publican una extensa obra sobre calidad de agua en Colombia, en la cual se incluyen datos fisicoquímicos y biológicos de los ríos Cauca y Magdalena y otra serie de ríos de importancia secundaria. Sánchez et al. (2001) presentan un estudio del alto Magdalena en el Huila”. (Roldan, 2009. pp 230-231).

6. MARCO TEÓRICO

Para realizar la presente investigación fue importante conocer y apropiarse una serie de herramientas teórico–conceptuales que aportaron a la comprensión de la modelación gráfica y al análisis descriptivo de los datos contenidos en los archivos del Parque Nacional Natural los Katíos sobre el monitoreo limnológico de la cuenca baja del río Atrato y las ciénagas de Tumaradó. Es por esto que en el siguiente apartado, se muestran los avances realizados en Estados Unidos sobre el campo de la limnología por medio del Monitoreo de la Calidad del Agua (MCA) y, posteriormente, se muestra la definición de los conceptos esenciales para efecto de la presente investigación.

A partir de la información contenida en el artículo de Rivas R., Francisco; Maldonado Q., Xiomara (2011). La Tabla 5 permite evidenciar los autores u organismos, criterios y metodologías que se proponen para el Monitoreo de la Calidad del Agua en Estados Unidos.

Tabla 5.

Monitoreo de la Calidad del Agua en Estados Unidos.

AUTOR U ORGANISMO/ AÑO	CRITERIO O METODOLOGÍA PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA
Rickert y Hines (1975)	Estudio hidrológico, selección del método de muestreo, identificación, recopilación y compilación de datos, análisis de datos, formulación del método para inferir resultados, planificación de alternativas para prevenir dichos impactos, intercambio de los resultados y evaluación de los programas.
Snider y Shapiro (1976)	Diseño y planificación de la red de monitoreo, personal, instalaciones y equipos necesarios, tipos de muestreo, control de calidad de los datos, distribución de datos e intercambio de los datos.
Ward (1978)	Propone el concepto de “sistema de información de calidad del agua”, en el cual se incluye diseño de un plan de trabajo, pasos para la toma de muestras, análisis de laboratorio necesarios, manejo de datos, análisis de datos e interpretación de la información.

Tabla 5. (Continuación)

Grupo Intergubernamental de Monitoreo de la Calidad del Agua (ITFM) (1995).	Propuso un marco para el MCA que incluye diseño, aplicación, interpretación, evaluación del programa de monitoreo y su subsecuente intercambio con los entes involucrados.
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (NSTC) y el Comité de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente (CENR) (1999).	Elabora las normas internacionales que permiten el monitoreo y el estudio de parámetros para evaluar la condición actual de los recursos ambientales.
Consejo Nacional de Supervisión de Calidad del Agua	Esta guía contiene todos los datos necesarios agrupados en módulos dentro de un plan estructural o marco que aborda qué, quién, dónde, cuándo, por qué y cómo se deben recoger y recolectar los datos. Asimismo, incluye un plan de actividades de campo para la recopilación de datos, análisis de laboratorio y sus requisitos, control de calidad de datos y desarrollo de la base de datos confiable.

Nota. La tabla 5 permite evidenciar los esfuerzos que se han realizado en Estados Unidos desde la década de los setenta con el propósito de construir los criterios, parámetros y metodologías para el Monitoreo de la calidad del Agua, permitiendo evidenciar que al respecto hay avances significativos pues logran la creación de normas internacionales para tal propósito y guías que posibilitan ese monitoreo. La información se obtuvo de: Rivas R., Francisco; Maldonado Q., Xiomara. Acuerdos de monitoreo de calidad del agua en Estados Unidos de Norte América, 2011, P. 175-176 Universidad de los Andes Mérida, Venezuela <https://www.redalyc.org/pdf/4655/465545890013.pdf>

Ahora bien, el primer concepto a desarrollar es el de limnología, ya que es la Rama de las Ciencias Ambientales enfocada al estudio de las aguas continentales y brinda los elementos necesarios para desarrollar investigaciones que requieran un alto grado de complejidad. El segundo concepto es el de Sistemas de Información Geográficos (SIG), dado que se constituye en una herramienta idónea para llevar a cabo procesos de interpolación y crear modelaciones graficas con una varianza mínima a partir de un conjunto de datos.

- Limnología

El estudio del agua dulce superficial está a cargo de la ciencia denominada limnología, la cual abarca a los sistemas lóticos –agua corriente- y a los lénticos -agua estancada. La Limnología como parte de la Ecología, es una ciencia de síntesis que estudia las aguas continentales, lagos, ríos, arroyos y humedales como sistemas; es multidisciplinar porque involucra a todas las ciencias que intervienen en el entendimiento de las aguas naturales (física, química, geología, ciencias biológicas y matemáticas) y a través de integrar hechos y conceptos procedentes de distintos ángulos de la ciencia, genera un cuerpo teórico rico y con suficiente entidad (Vidal, 2005). (Medina, 2016)

- Historia de la limnología

Hackel padre de la ecología, fue uno de los primeros en establecer que los principios ecológicos que rigen la tierra son los mismos que rigen el agua. Pero son los trabajos de Forel (1841-1912), los que marcan el comienzo de la limnología como ciencia, razón por la cual es llamado “el padre de la limnología”. Luego, en 1981 se estableció que el primer laboratorio dedicado al estudio de la limnología fue el Instituto de Limnología de Plön (hoy llamado Instituto Max Planck de Limnología) en Alemania. Para el año 1920 Thienemanm se une a Einer Nauman, creando en 1922, junto con 186 investigadores de diferentes países, La Sociedad Internacional de Limnología (SIL). Por otra parte, en Inglaterra para el año 1931 se crea la Asociación Biológica de Agua Dulce del Reino Unido, laboratorios en los cuales dirigían aplicaciones empíricas (Roldan y Ramírez 2008). (Medina, 2016)

- Sistemas de Información Geográficos (SIG)

Un Sistema de Información Geográfico (SIG) permite relacionar cualquier tipo de dato con una localización geográfica. Esto quiere decir que en un solo mapa el sistema muestra la distribución de recursos, edificios, poblaciones, entre otros datos, de los municipios, departamentos, regiones o todo un país. Este es un conjunto que mezcla hardware, software y datos geográficos, y los muestra en una representación gráfica. Los SIG están diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar la información de todas las formas posibles de manera lógica y coordinada.

Los usuarios pueden editar los mapas, trabajar por capas y manipular la información que almacena el sistema para obtener resultados específicos o generales. Este tipo de sistemas sirve especialmente para dar solución a problemas o preguntas sobre planificación, gestión y distribución territorial o de recursos. Son utilizados en investigaciones científicas, en arqueología, estudios ambientales, cartografía, sociología, historia, marketing y logística, entre otros campos. Todos los sistemas de información geográfica y los resultados de las búsquedas en estos dependen de la calidad y cantidad de información suministrada en su base de datos. (MINISTERIO DE EDUCACION NACIONAL)

7. MARCO LEGAL

En el siguiente apartado se presenta la jurisprudencia y el respaldo jurídico que ampara al Parque Nacional Natural los Katíos, pues se evidencia que dicho parque está salvaguardado como una vasta área geográfica protegida por el Estado colombiano, en tanto que limita a sujetos invasores y colonizadores de estas áreas, protegiéndolo de actividades antrópicas lícitas, como de cultivos para el procesamiento de narcóticos, además de zonas extensivas de ganadería, minería ilegal, extracción de recursos mineros y de contaminación del recurso hídrico. De igual manera, se cita normatividad relacionada tanto a la gestión integral del recurso hídrico, como a los monitoreos limnológicos.

Tabla 6.

Jurisprudencia que ampara al Parque Nacional Natural los Katíos y normatividad relacionada a la Gestión Integral del Recurso Hídrico.

JURISPRUDENCIA O DOCUMENTO	CONTENIDO
Sentencia T-622 de 2016 – sala sexta de revisión de la CORTE CONSTITUCIONAL	Bajo la cual se reconoce al río Atrato, su cuenca y afluentes como una entidad sujeto de derechos a la protección, conservación, mantenimiento y restauración a cargo del estado y las comunidades étnicas.
Acuerdo N° 037 de septiembre 10 de 1973 emitido dentro del Foro Interétnico Solidaridad Chocó	La zona fue reservada, alinderada y declarada Parque Nacional Natural abarcando inicialmente un área de 52,000 ha, ubicadas exclusivamente en jurisdicción del municipio de Riosucio (Chocó). Buscando una mayor representatividad de ecosistemas y una mejor autorregulación ecológica, se modifican los linderos del Parque, aumentando su superficie hasta las 72,000 ha. mediante Acuerdo N° 016 de junio 25 de 1979, aprobado por la Resolución Ejecutiva de la Presidencia de la República N° 239 del 12 de septiembre de 1979.

Tabla 6 (Continuación)

<p>DECRETO 1729 DE 2002 (Agosto 6)</p>	<p>En el cual se reglamenta el manejo de las cuencas hidrográficas y se determina cómo se debe realizar el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos. Asimismo contiene las directrices para planificar el uso sostenible de las cuencas hidrográficas y la ejecución de programas y proyectos específicos dirigidos a conservar, preservar, proteger o prevenir el deterioro y/o restaurar la cuenca hidrográfica.</p>
<p>Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (2010-2022)</p>	<p>Se establece la gestión del recurso hídrico el cual se divide en cuatro grandes grupos: planificación, administración, seguimiento y monitoreo, y manejo de conflictos relacionados con el agua. igualmente se establece que las autoridades ambientales tienen la obligación de elaborar mecanismos para la gestión integral del recurso hídrico como: el plan de gestión ambiental regional (PGAR), el plan de acción (anteriormente plan de acción trienal PAT), los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (POMCA), planes de ordenamiento del recurso hídrico (PORH), el plan de ordenación forestal (POF), así como, planes de manejo (PM) de los ecosistemas más importantes en su jurisdicción (humedales, páramos, manglares, entre otros); además, deben asesorar y concertar los planes de ordenamiento territorial (POT) y los planes de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV); esto debido a que todos estos instrumentos de planeación están relacionados en mayor o menor medida con el recurso hídrico.</p>

Tabla 6. (Continuación)

<p>DECRETO 1541 DE 1978 (Julio 26)</p>	<p>Contiene la reglamentación de las aguas, ocupación de los cauces y la declaración de reservas y agotamiento, en orden a asegurar su preservación para garantizar la disponibilidad permanente del recurso.</p> <p>Las restricciones y limitaciones al dominio en orden a asegurar el aprovechamiento de las aguas por todos los usuarios.</p> <p>Las condiciones para la construcción de obras hidráulicas que garanticen la correcta y eficiente utilización del recurso, así como la protección de los demás recursos relacionados con el agua.</p>
<p>DECRETO 1729 DE 2002 (Agosto 6)</p>	<p>En el cual se reglamenta el manejo de las cuencas hidrográficas y se determina cómo se debe realizar el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos.</p> <p>Asimismo contiene las directrices para planificar el uso sostenible de las cuencas hidrográficas y la ejecución de programas y proyectos específicos dirigidos a conservar, preservar, proteger o prevenir el deterioro y/o restaurar la cuenca hidrográfica.</p>

Nota. La tabla 6 muestra la jurisprudencia que ampara al Parque Nacional Natural los Katíos así como otras disposiciones que establecen el manejo adecuado de los recursos hídricos. Tomado de: CORTE CONSTITUCIONAL - Sala sexta de revisión (2016). Sentencia T-622 Recuperado de <https://justiciaambientalcolombia.org/wp-content/uploads/2017/05/sentencia-t-622-de-2016-rio-atrato-1.pdf> Foro Interétnico Solidaridad Chocó. (s.f.). Guardianes del Atrato. Recuperado de <http://tierradigna.org/pdfs/SomosGuardianesDelAtrato.pdf> Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2002). Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=5534> MINISTERIO DE AGRICULTURA (1978). Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_1541_de_1978.pdf

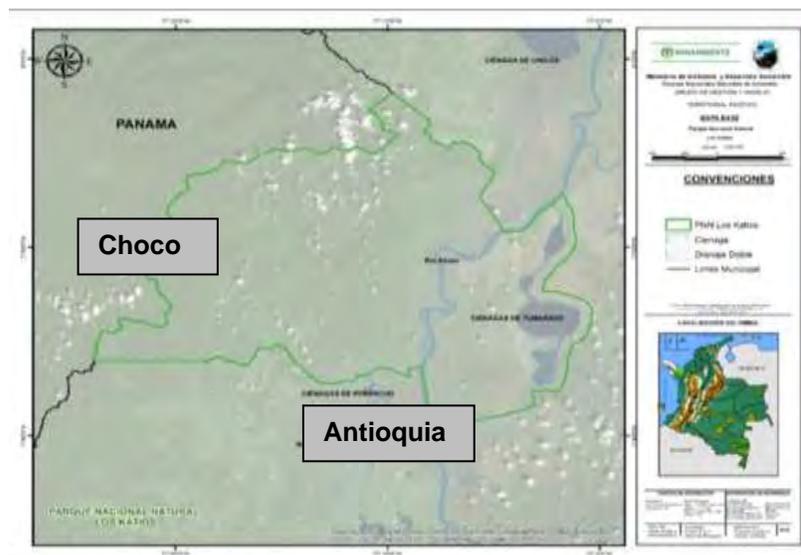
8. ÁREA DE ESTUDIO

El río Atrato se encuentra ubicado a lo largo del pacífico colombiano comprendiendo los departamentos del Chocó y Antioquia. Por su parte, las áreas de interés para el presente estudio corresponden a la cuenca baja del río Atrato y las ciénagas de Tumaradó en jurisdicción del PNN Los Katíos, las cuales se encuentran conformadas por cuatro cuerpos de agua o ciénagas denominadas: La Primera, La Reina (la de mayor extensión, con 1400 ha aproximadamente), Cienaguita y La Última, interconectadas entre sí y con el Atrato por canales naturales. El PNN Los Katíos se ubica al noroccidente de Colombia, en la región conocida como el Bajo Atrato y Darién (Darién y Urabá), en jurisdicción de los departamentos del Chocó:

municipios de Unguía (2%) y Riosucio (63%); y Antioquia: municipio de Turbo (35%). Limita en su costado occidental con la República de Panamá, específicamente con el Parque Nacional Darién declarado por la UNESCO como Patrimonio Mundial Natural y Reserva de la Biosfera. (PNN, 2010)

Figura 1

Mapa área de estudio.



Nota. La ilustración referenciada fue suministrada de manera digital por el Biólogo Andrés Cuellar Chacón, funcionario responsable de los Planes de Manejo Ambiental del PNN Los Katíos.

9. METODOLOGÍA DEL MONITOREO LIMNOLÓGICO

El trabajo de campo y la recolección de muestras que corresponden al monitoreo limnológico se realizó durante el mes de noviembre de 2017; para ello fue necesario realizar el desplazamiento del grupo de trabajo de Parques Nacionales Territorial Pacífico a los sitios de muestreo mediante transporte fluvial. Una vez establecidos en los puntos de muestreo se procede a registrar en la tabla de acrílico: fecha, hora, profundidad y posición geográfica (latitud y longitud del punto de muestreo). Llegados a este punto la secuencia del monitoreo está conformada por cinco pasos principales:

- Registro de la información general del muestreo (estación, fecha, hora, posición geográfica, profundidad).
- Registro de la transparencia de la columna de agua utilizando el disco Secchi.
- Colecta de muestras discretas de agua con la botella Niskin en las profundidades definidas (se recomienda como mínimo tres profundidades 1m, 10m y 30m)
- Registro de los parámetros: presión, profundidad, temperatura, conductividad, conductividad específica, salinidad, velocidad de sonido y densidad.
- Arrastres de oblicuos de zooplancton en las 20 estaciones de muestreo con una duración promedio de cinco minutos, empleando una red bongo de 30 cm de diámetro con aberturas de malla de 250 micras y 500 micras, además de dos flujómetros General Oceanics® para calcular el volumen de agua filtrada.

Para establecer la posición geográfica de la estación de muestreo se utiliza un Geoposicionador Satelital, registrando la latitud y longitud de la estación de muestreo. Esta información se almacena en el instrumento para regresar al mismo punto en cada esfuerzo de muestreo. Igualmente es importante registrarla en las fichas de registro del monitoreo en caso de requerir volver a grabar la posición en el instrumento.

Para establecer la transparencia de la columna de agua se utiliza un disco de acrílico de 30 cm de diámetro, que se encuentra dividido en cuatro partes iguales, con los colores blanco y negro intercalados. Este disco recibe el nombre de disco

Secchi. El instrumento se sujeta a una cuerda graduada cada metro, con una longitud mínima de 15m. El observador debe ir contando los metros de la cuerda hasta la profundidad en la que se deja de visualizar el color blanco del disco. Esta distancia corresponde a la profundidad a la cual se encuentra disponible el 1% de la radiación solar que alcanza la superficie de la columna de agua, definiendo la zona fótica. Para tomar las muestras discretas de agua se utiliza una botella Niskin que se hace descender a las profundidades estándar: 1, 10, 30 y 50m. Esta botella incorpora un mecanismo de cierre automático que se activa con un peso o mensajero que desciende por la cuerda guía que sostiene la botella, activando el disparador. Una vez la botella es izada de regreso a la plataforma de muestreo se procede a tomar el registro directo de temperatura y salinidad.

10. METODOLOGÍA DE INTERPOLACIÓN

10.1 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA DEFINIR EL MÉTODO DE INFERENCIA ESPACIAL

La elección del método de inferencia espacial o interpolación se realizó teniendo en cuenta que existen dos grupos fundamentales para dicho propósito, los métodos globales y los métodos locales. Los métodos globales por su parte están diseñados para utilizar todos los puntos de muestreo para la estimación de nuevos puntos, lo cual para efecto del presente estudio no es favorable debido a que los ecosistemas bajo estudio cuentan con dinámicas diferenciadas. Los métodos locales, por otra parte, emplean los puntos de muestreo más cercanos al tiempo que realizan comparaciones estadísticas entre sí para dar origen a estimaciones en áreas no muestreadas con una dispersión mínima, ofreciendo resultados veraces ceñidos a la realidad, razón por la que es el método seleccionado para realizar el proceso de interpolación. Cabe señalar que los métodos locales se rigen por la teoría geostadística la cual trabaja a partir de información georeferenciada.

Una vez identificado el método de interpolación a implementar, se encontró que dentro de la teoría de la geostadística se desarrollan varios programas que permiten generar superficies continuas (interpolación) a partir de muestras georeferenciadas como IDW, Spline, Kriging, entre otros. Por lo cual fue necesario concertar con el Biólogo Andrés Cuellar Chacón de PNN de Colombia – Territorial Pacífico, teniendo en cuenta su conocimiento en previos procesos similares y al grado de precisión que brindan los programas según los cálculos estadísticos que se realicen en su software. En este sentido el método Kriging está planteado de manera que brinda el mejor estimador lineal con una varianza mínima, ofreciendo resultados sujetos a los valores reales, por lo cual es el programa que se implementó para desarrollar el proceso de interpolación.

10.2 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA ELABORAR LA MODELACIÓN GRÁFICA DE LOS PARÁMETROS LIMNOLÓGICOS DEL RÍO ATRATO Y LAS CIÉNAGAS DE TUMARADÓ EN JURISDICCIÓN DEL PARQUE NACIONAL NATURAL LOS KATÍOS.

10.2.1 Preparación datos de entrada

Los datos utilizados en el presente proceso fueron obtenidos a partir de la plataforma de datos abiertos de Parques Nacionales Naturales de Colombia,

recogidos en los monitoreos limnológicos correspondientes a su labor, donde se encuentran valores definidos para los siguientes parámetros limnológicos: presión, profundidad, temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, velocidad de sonido y densidad en formato csv.

Para el uso adecuado de la información descrita anteriormente, se prepararon los archivos de manera en que las coordenadas se identifiquen de forma separada al igual que los parámetros y se calcularon promedios para definir datos exactos a cada estación de muestreo.

A partir de lo anterior se identificaron en total 117 estaciones de muestreo, cuyas coordenadas fueron transformadas a planas con proyección MAGNA Colombia Oeste, correspondiente a la zona de estudio, esto con el fin de que el proceso de interpolación se desarrolle con precisión; así mismo las estaciones de muestreo y los parámetros limnológicos fueron almacenados en un mismo documento en formato xls.

La plataforma utilizada para el proceso de interpolación, la posterior edición y el análisis geoestadístico fue realizado en ArcGIS, donde se procede a importar el archivo de Excel y los archivos shape con la delimitación del área del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó, correspondientes a la zona de estudio. Se creó un geodatabase y se inicia el proceso de interpolación con el uso de la herramienta Kriging.

Kriging es un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada con base en un conjunto de muestras dispersas. Este proceso de interpolación está basado en modelos estadísticos que incluyen la autocorrelación, es decir, las relaciones estadísticas entre los puntos medidos. Gracias a esto, las técnicas de estadística geográfica no sólo tienen la capacidad de producir una superficie de predicción, sino que también proporcionan una medida de certeza o precisión de las predicciones.

10.2.2 Análisis estadístico

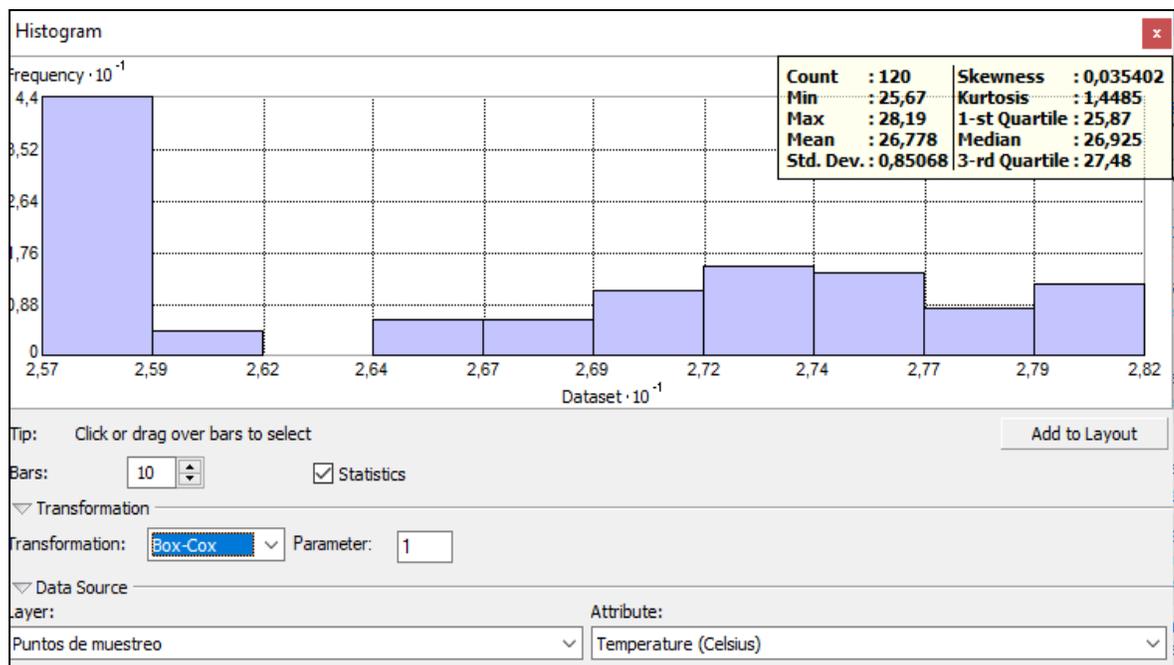
En primer lugar se debe tener en cuenta que Kriging crea los variogramas y las funciones de covarianza, para calcular los valores de dependencia estadística (denominada autocorrelación espacial) a partir de la cual se calcula la autocorrelación espacial.

A partir de lo anterior el primer paso para llevar a cabo el proceso de interpolación consiste en analizar cada uno de los datos estudiados, con el fin de identificar dependencias y tendencias en cuanto a la correlación espacial de las muestras, y de esta manera se determina el tipo de modelo que se usará en el proceso de interpolación.

Lo explicado previamente se realiza a través del uso de la herramienta Geoestatistical Analyst (Análisis geoestadístico), la cual brinda la posibilidad de identificar por medio de histogramas el comportamiento espacial de los datos estudiados y sus datos estadísticos. (Ilustración 2 y 3).

Figura 2.

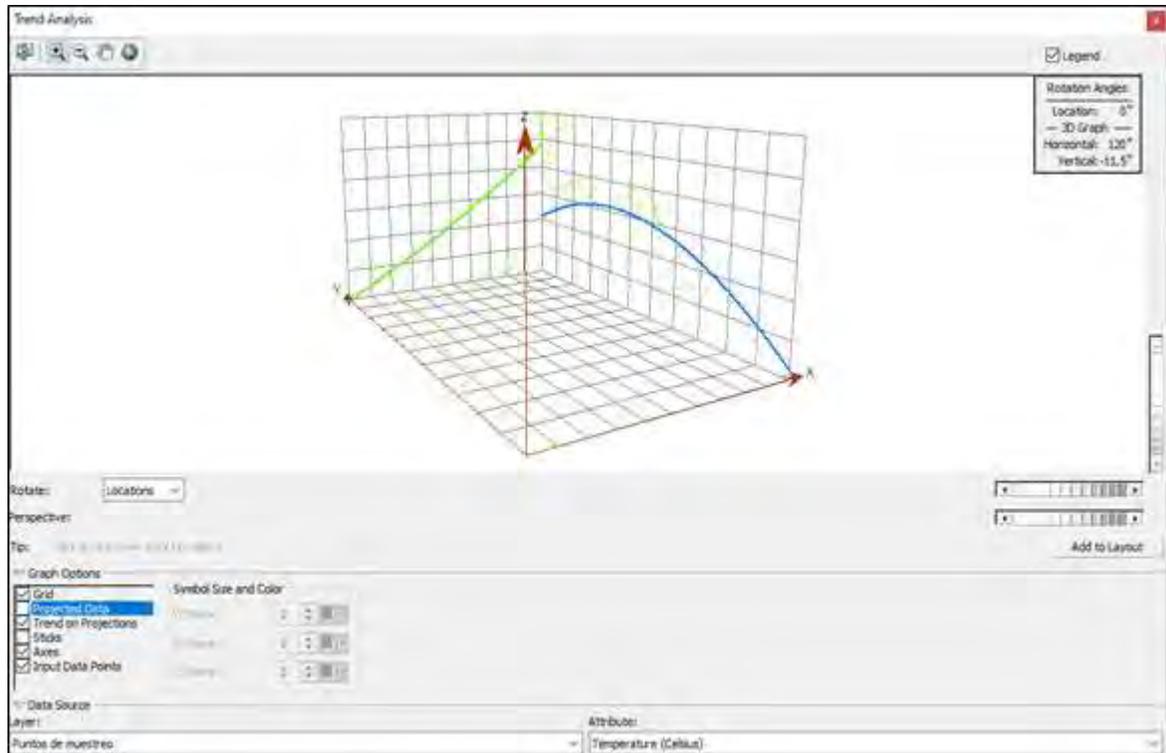
Histograma de frecuencia - temperatura.



Nota. Como se puede observar el histograma permite identificar el comportamiento de los parámetros limnológicos a manera de frecuencia, de modo que, en la parte superior derecha se pueden visualizar los valores estadísticos de: cantidad, mínimo, máximo, media y desviación estándar correspondientes a la variable de interés que en este caso es Temperatura.

Figura 3.

Análisis de tendencia - temperatura.



Nota. El análisis de tendencia permite reconocer los comportamientos espaciales de los datos estudiados, de manera que se pueda identificar el tipo de variograma que se adecue mejor a los datos estudiados. En este caso, se reconoce un tipo de variograma exponencial.

10.2.3 Interpolación Kriging

Tras el análisis de los parámetros limnológicos y la identificación de la correlación espacial de los mismos, se lleva a cabo el proceso de interpolación con el uso de la herramienta Kriging de Spatial Analyst, la cual permite hacer una predicción espacial del área de estudio con base en los parámetros suministrados.

Para el estudio actual las predicciones se realizaron con variograma exponencial partiendo del análisis estadístico llevado a cabo en el paso anterior, y se delimitaron los resultados al shape del área de estudio por medio de las opciones Processing Extent y Raster Analysis.

Así mismo en el ráster de salida se establecieron los rangos y tonalidades pertinentes, de acuerdo a las características de cada variable.

10.3 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA INTERPRETAR LA VARIACIÓN ESPACIAL DE LOS PARÁMETROS LIMNOLÓGICOS DEL RÍO ATRATO Y LAS CIÉNAGAS DE TUMARADÓ EN JURISDICCIÓN DEL PARQUE NACIONAL NATURAL LOS KATÍOS.

La interpretación de los parámetros limnológicos se realizó en base a la modelación gráfica y a los rangos establecidos en las convenciones tanto de manera numérica como gráfica. De igual manera se recurrió a archivos bibliográficos para determinar los rangos de las variables en base a su repercusión para sostener la biota acuática.

El análisis descriptivo de los parámetros limnológicos se realizó a partir de la comparación de las características análogas de cada grafica como: tamaño, forma y color, y a partir de la identificación de similitudes en la variación de ciertos parámetros.

11. RESULTADOS Y ANÁLISIS

11.1 PROFUNDIDAD

Este parámetro permitió identificar que las condiciones batimétricas de la cuenca baja del río Atrato y las ciénagas de Tumaradó varían considerablemente teniendo en cuenta que las profundidades registradas comprenden una escala desde los 2 a los 11 metros de profundidad, siendo el río más profundo que las ciénagas debido a la acumulación de materia orgánica así como sedimentos que presentan las ciénagas a causa de la ausencia del flujo de corriente, lo cual con el paso del tiempo disminuye progresivamente su profundidad a medida que aumenta su vegetación hasta provocar su pérdida total.

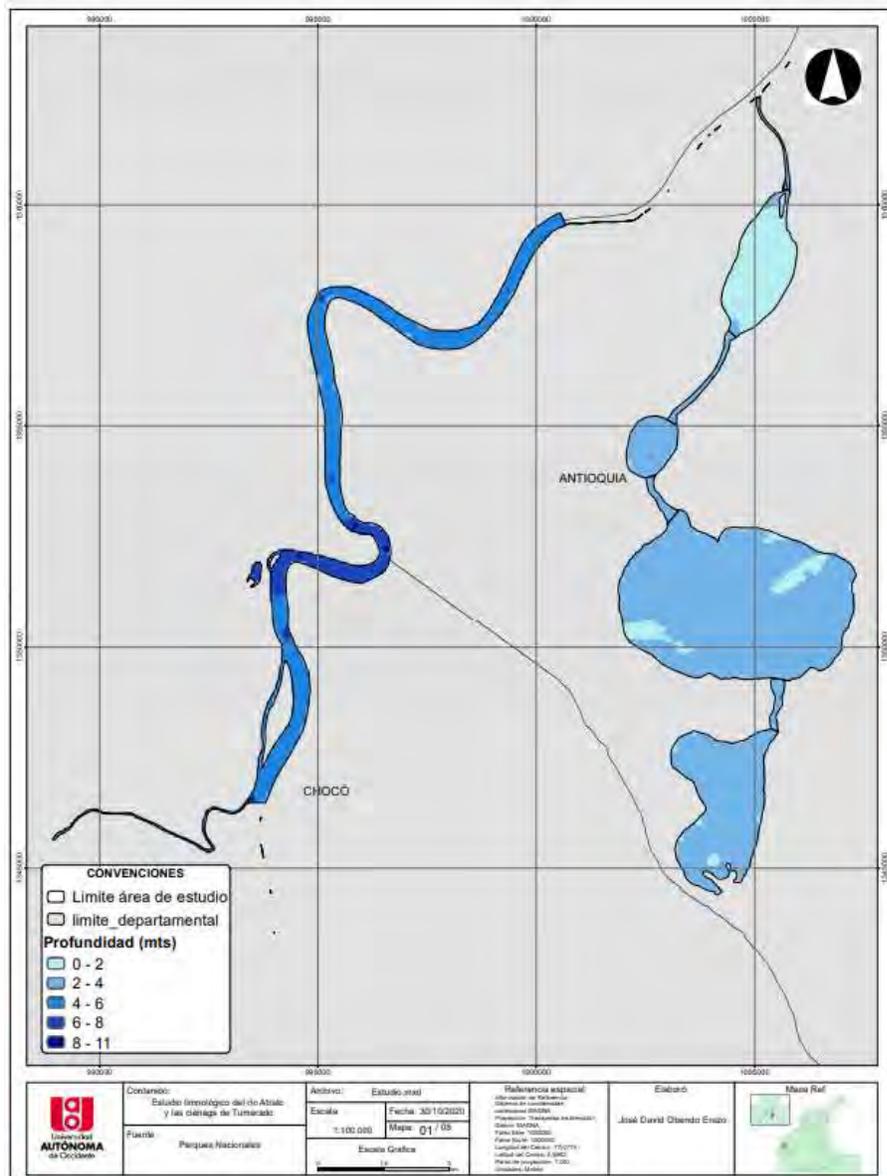
Con respecto a la repercusión que tiene la profundidad sobre la abundancia de biodiversidad es importante señalar que este parámetro influye sobre dos elementos de vital importancia para los ecosistemas acuáticos. Los parámetros a los que se hace referencia corresponden a la temperatura y a la velocidad del caudal por cuanto determinan la oferta de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua. En este sentido, a menor profundidad mayor temperatura, por lo tanto, se espera una menor concentración de oxígeno disuelto que resulta nocivo para el desarrollo estable de la biodiversidad acuática y viceversa.

Como se mencionó, la profundidad determina la velocidad del caudal, que a su vez, cumple un papel importante en la oxigenación de los cuerpos de agua, de modo que a mayor profundidad se espera una menor velocidad de caudal y por ende una baja concentración de OD. Sin embargo, el río Atrato es una excepción, pues es considerado uno de los ríos más caudalosos de Colombia al contar con un caudal constante de 4.900 m³/s. Además, con respecto a esta dinámica en particular se encontró que, “los ríos cuyo caudal varía muy poco durante el año, las comunidades acuáticas residentes se mantienen relativamente estables, aunque puede haber influjos de especies visitantes al cambiar las condiciones físico-químicas y biológicas en otras áreas del ecosistema.” (FAO).

Asimismo, La profundidad registrada en la ciénaga La Última indica que esta se encuentra dentro de la zona fótica, lo cual implica un acaparamiento mayor de radiación solar, provocando un incremento en la temperatura que a su vez tiende a ocasionar cambios en el metabolismo de las especies modificando los ciclos de reproducción, el tamaño de las especies y la determinación de sexo. (Figura 4).

Figura 4.

Profundidad - Variación espacial de la cuenca baja del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó.



11.2 TEMPERATURA

La temperatura se concibe como uno de los parámetros limnológicos vitales para el desarrollo estable de la biota acuática, por cuanto “regula los procesos metabólicos de las especies así como los procesos relacionados con la transformación de alimento” (Calderer, 2001). La variación espacial de las temperaturas registradas obedecen al régimen de profundidad, de manera que el río Atrato, al contar con una mayor profundidad presenta temperaturas constantes de hasta 4°C por debajo de las temperaturas registradas en las ciénagas, lo que sugiere una distribución diferenciada de especies acuáticas entre el río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó, teniendo en cuenta que al ser organismos de sangre fría no tienen la capacidad de regular su temperatura interna.

Con respecto a las especies que se espera habiten la cuenca baja del río Atrato se encontró que “Las especies residentes son reófilas conformadas por dos grupos. En el primero se encuentran las especies que viven sobre o entre las rocas así como en la vegetación del fondo, son de tamaño pequeño y están adaptadas a sujetarse o adherirse al substrato como *Chiloglanis*. El segundo grupo está conformado por las especies que van en contra de la corriente como las del género *Barbus*.” (FAO) Lo anterior fue posible deducir dado que la cuenca baja del río Atrato se encuentra en la clasificación de ritron debido a que cuenta con un caudal turbulento y temperaturas relativamente bajas.

Las temperaturas constantes que se registraron en la cuenca baja del río Atrato entre 26 y 27°C, sumado al flujo de corriente y a la ausencia de actividades antrópicas son factores que permiten estimar niveles adecuados de oxígeno disuelto para sostener las funciones vitales de las especies por lo que se le asignó la categoría de excelente. Por el contrario, la ciénaga denominada La Última, no cuenta con las condiciones limnológicas apropiadas para el sostenimiento de la biota acuática por cuanto a una temperatura de 30°C se espera una baja concentración de oxígeno disuelto de 7,6 ml/L como se muestra en la tabla 7 extraída de Folleto Informativo:

Tabla 7.

Incidencia de la temperatura sobre el oxígeno disuelto (OD).

temperatura (°C)	OD (mg/l)	temperatura (°C)	OD (mg/l)
0	14.6	16	9.9
1	14.2	17	9.7
2	13.8	18	9.6
3	13.5	19	9.3
4	13.1	20	9.1
5	12.8	21	8.9
6	12.5	22	8.7
7	12.1	23	8.6
8	11.8	24	8.4
9	11.6	25	8.3
10	11.3	26	8.1
11	11.0	27	8.0
12	10.8	28	7.8
13	10.5	29	7.7
14	10.3	30	7.6
15	10.1	31	7.5

Nota. la tabla 7 tiene por objetivo mostrar la disminución que se da en la concentración de oxígeno disuelto con el aumento de la temperatura reafirmando la importancia que tiene este parámetro como indicador abiótico de la capacidad que tiene un río para sostener la biodiversidad acuática. La tabla 7 se extrajo de : <https://docplayer.es/135770-Folleto-informativo-oxigeno-disuelto-od.html>.

Con respecto a lo anterior, el estudio realizado por Calderer Reig (2001) afirma que “La mayoría de especies presentan un rápido crecimiento con el aumento de la temperatura hasta un cierto punto (temperatura óptima) pasado el cual, generalmente, el crecimiento desciende precipitadamente, por lo que las altas temperaturas resultan adversas.” A pesar de esto, las ciénagas La Primera y La Reina presentaron dos áreas en las cuales la temperatura es óptima, por lo cual se estima que en esas áreas se concentre la mayor cantidad de biodiversidad.

Es importante tener en cuenta que la ponderación de la variable temperatura corresponde a su repercusión en la capacidad del agua para sostener la vida

acuática. Estos factores de ponderación se ajustaron con base en los pesos del ICA-NSF mencionados por Deininger (1980). (Pérez, 2008).

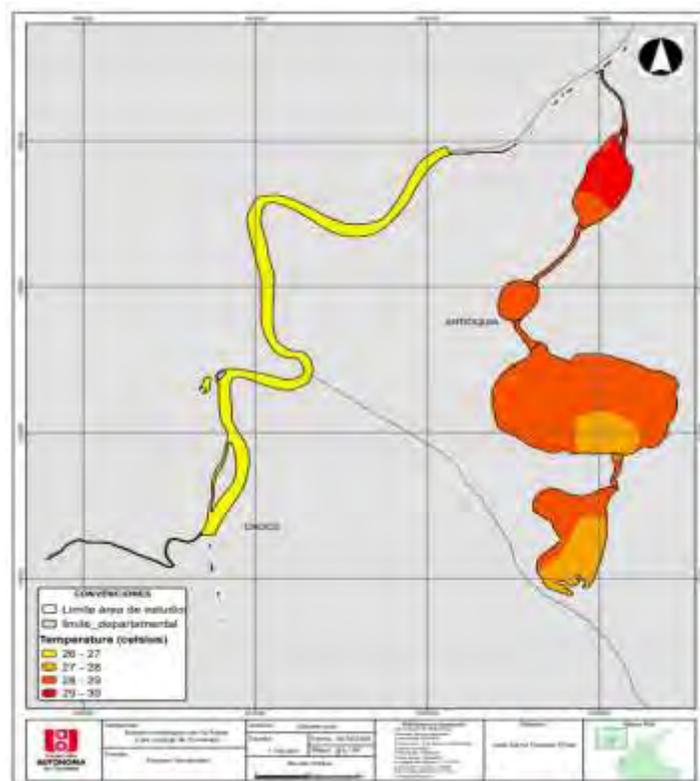
Tabla 8.

Indicador de biodiversidad asociado a la escala de temperatura para la cuenca baja del río Atrato y las Ciénegas de Tumaradó.

Escala de temperatura (°C)	28.6 - 27.2	27.1 - 25.8	25.7 - 24.4	23.0 ó 30.0	34.2 ó 20.2	>37
Categoría	Óptima	Excelente	Buena	Regular	Mala	No apta
abundancia de biodiversidad	Elevada	Alta	Moderada	Escasa	Baja	Inexistente

Figura 5.

Temperatura - Variación espacial de la cuenca baja del río Atrato y las Ciénegas de Tumaradó.



11.3 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Las variaciones presentes en la conductividad eléctrica de la cuenca baja del río Atrato y las ciénagas de Tumaradó se consolidan como un indicador clave para determinar la abundancia de biodiversidad por cuanto definen el grado de dureza de los cuerpos de agua. Es importante señalar que, dichas variaciones están directamente relacionadas con las concentraciones de salinidad de modo que, a mayor concentración de sales minerales se prevé mayores niveles de conductividad y por ende se espera que sean aguas duras, nocivas para el desarrollo estable de la biota acuática y viceversa, es decir, las aguas blandas benefician las dinámicas biológicas de las especies acuáticas.

En este sentido las ciénagas La Primera y La Última registraron los mayores niveles de conductividad entre 120 a 155 micro Siemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$), debido principalmente a que son las áreas con mayor concentración de sales minerales (Figura 7). A pesar de esto, se registraron bajos niveles de conductividad debido principalmente a que son ecosistemas de agua dulce y no presentan impactos ambientales a causa de actividades antrópicas aledañas. Lo descrito anteriormente implica que los ecosistemas bajo estudio, cuentan con aguas blandas por lo que se consideran óptimas para el sostenimiento y la conservación de la biodiversidad. Con respecto a la definición del concepto, el IDEAM afirma que:

La conductividad eléctrica es la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, valencia y de la temperatura. Las soluciones de los compuestos inorgánicos son buenas conductoras a diferencia de las moléculas orgánicas que al no disociarse en el agua conducen la corriente a muy baja escala. (IDEAM, 2006, p. 2)

Otro elemento que es posible extraer a partir de las similitudes gráficas que presentaron los parámetros temperatura y conductividad eléctrica en los cuerpos de agua (Ilustración 5 y 6) es la existencia de una relación entre sí, indicando que la temperatura también influye sobre las variaciones que pueda presentar la conductividad eléctrica. La escala de conductividad se extrajo de (infoAgro)

Tabla 9.

Indicador de biodiversidad asociado a la escala de conductividad eléctrica para la cuenca baja del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó.

Escala de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0-140	140-300	300-500	500-640	640-840	> 840
Partes por millón $\text{CaCO}_3(\text{ppm})$	0 - 70	70 - 150	150 - 250	250 - 320	320 - 420	> 420
Categoría	muy blanda	Blanda	Ligeramente dura	Moderadamente dura	Dura	Muy dura
abundancia de biodiversidad	Elevada	Alta	Moderada	Escaza	Baja	Inexistente

Figura 6.

Conductividad eléctrica - Variación espacial de la cuenca baja del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó.



11.4 SALINIDAD

Como primer elemento a destacar se evidencio que los ecosistemas lénticos, tienden a almacenar una mayor concentración de sales minerales a comparación de los ecosistemas lóticos, lo cual se debe a factores como: la ausencia del flujo de corriente, por cuanto se produce la acumulación y descomposición de materia orgánica y al régimen de temperatura dado que determina el grado de evaporación de las sustancias presentes en los cuerpos de agua, esto teniendo en cuenta que las sales minerales se evaporan a una mayor temperatura que el agua pura, provocando un incremento en la concentración de sales (Figura 9).

Sin embargo, en contraste con lo anterior, se logró determinar mediante el proceso de interpolación que la concentración de salinidad presente tanto en la cuenca baja del río Atrato como en las ciénagas de Tumaradó, está en el rango optimo por lo que no representa un factor limitante para el desarrollo estable de la fauna y flora acuática. Cabe mencionar que las categorías que se muestran a continuación se concertaron en base a las condiciones que requieren las especies de agua dulce, por lo que concentraciones de salinidad superiores a 0.5 g/L son consideradas nocivas para el funcionamiento y las dinámicas de los ecosistemas.

La salinidad de los mares, lagos, ríos o acuíferos puede tener un origen natural, relacionado fundamentalmente con su estructura geológica, su secuencia sedimentológica o su contexto climático o tener un origen antropogénico, incorporándose al agua a partir de vertidos o lixiviados de todo tipo. (Rivera, 2016)

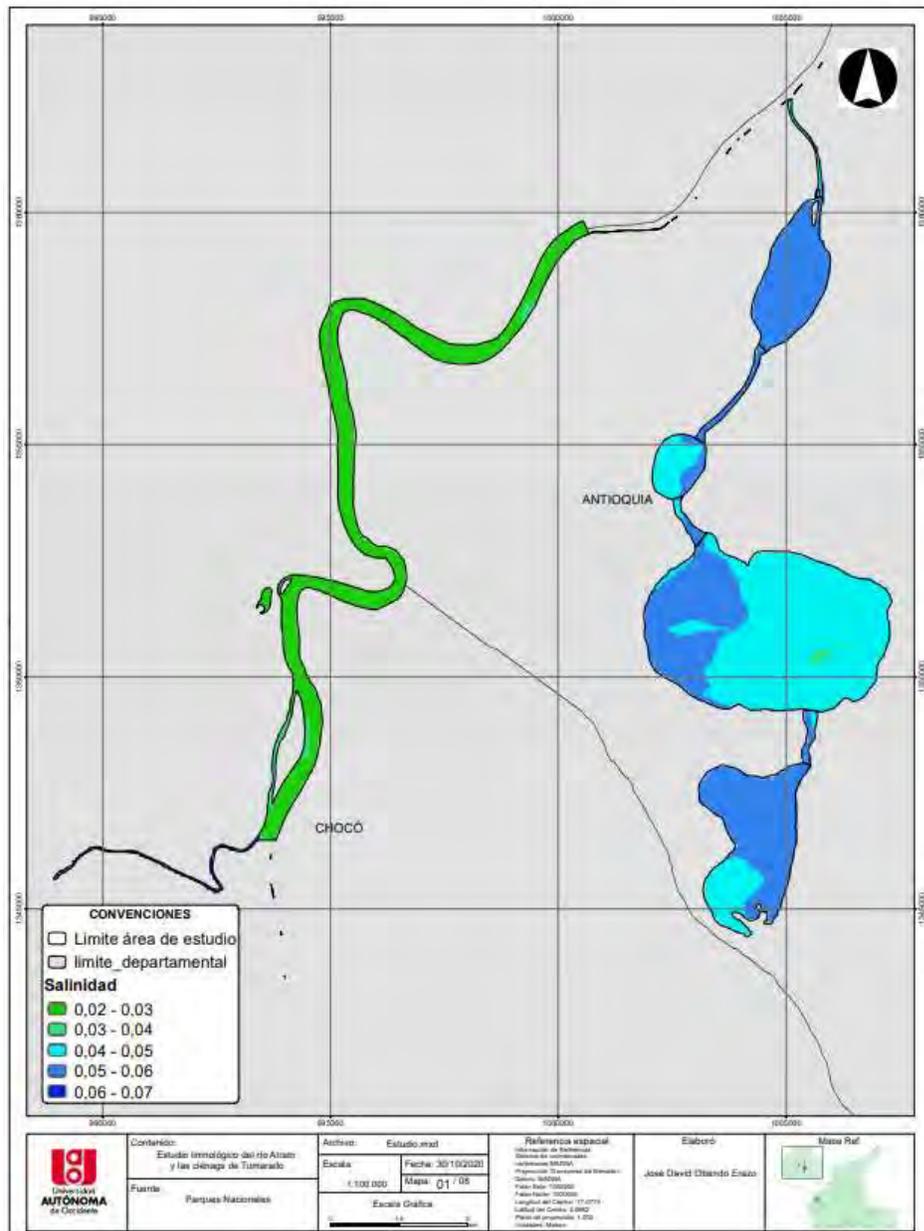
Tabla 10.

Indicador de biodiversidad asociado a la escala de salinidad para la cuenca baja del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó.

Escala de salinidad (g/L)	< 0.5	0.5 - 30	30 - 50	> 50
Clasificación	Agua dulce	Agua salobre	Agua de mar	Salmuera
Categoría	Óptimo	Mala	No apta	No apta

Figura 7

Salinidad - Variación espacial de la cuenca baja del río Atrato y las Ciénegas. de Tumaradó.



11.5 DENSIDAD

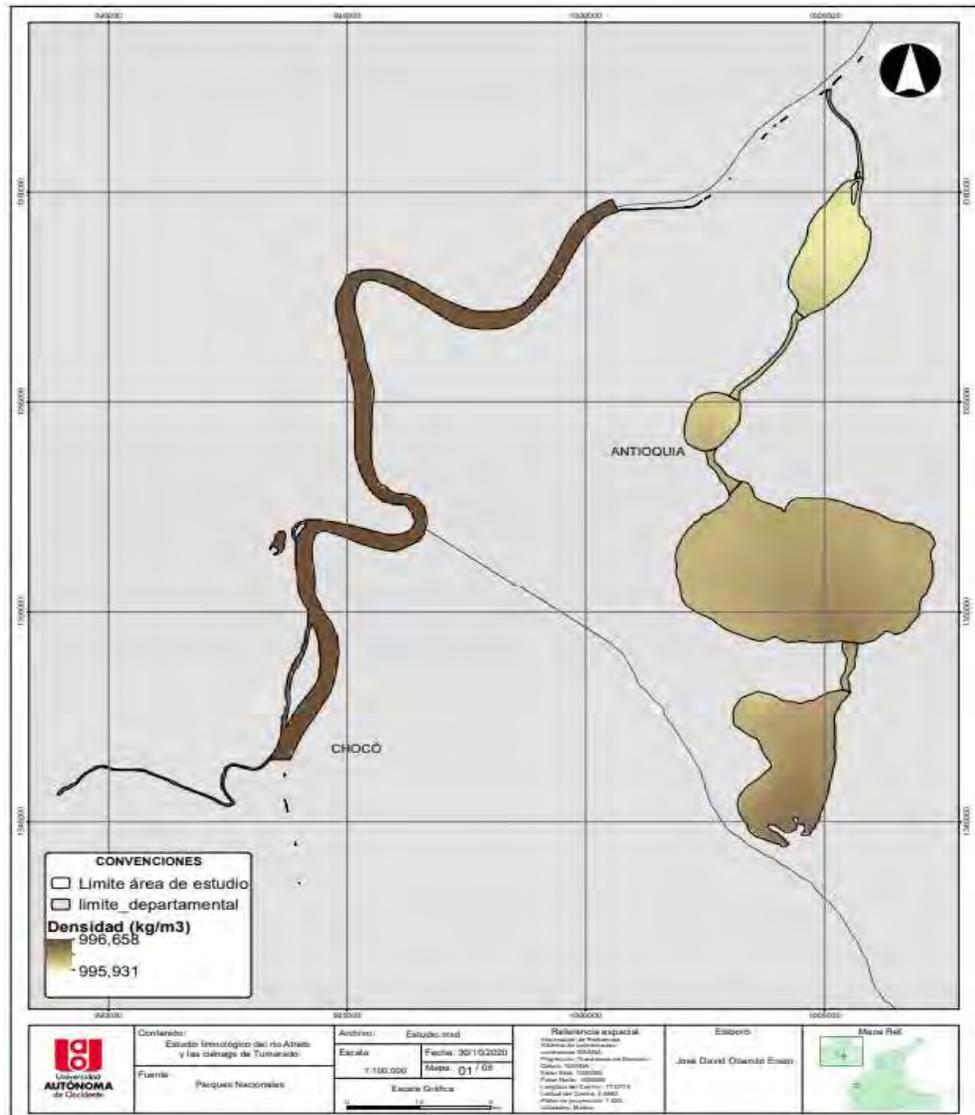
El parámetro densidad no presentó variaciones significativas entre el río Atrato y las ciénagas de Tumaradó, por el contrario se mantuvo constante con valores cercanos al límite establecido para agua dulce que es de 1000 kg/m³, (Figura 8) por lo que se puede deducir que los cuerpos de agua no presentan alteraciones antrópicas licitas o ilícitas ya que de haberlas implicarían un aumento en la densidad; a pesar de ello, es posible notar que el río es levemente más denso en comparación a las ciénagas lo que se puede explicar debido a su caudal y profundidad.

Debido a que los valores registrados para este parámetro corresponden a los valores establecidos para los cuerpos de agua continentales, es posible afirmar que la cuenca baja del río Atrato y las ciénagas de Tumaradó no presentan afectaciones medio ambientales que se puedan derivar de actividades agrícolas, asentamientos urbanos o industriales por lo que presentan un estado de conservación favorable.

En cuanto a su definición, la densidad es una propiedad que tienen todas las sustancias y depende de su naturaleza (principalmente, del tipo de elementos químicos que contengan y la forma en que se ordenan entre sí), por lo que puede utilizarse para distinguirlas e identificarlas. Pero también depende de la temperatura a la que se encuentren. Normalmente, los objetos se expanden ligeramente al calentarse y se contraen al enfriarse. Esto provoca cambios en su volumen (el espacio que ocupan) y, por tanto, hace cambiar su densidad. (FundacionDescubre. n,f)

Figura 8.

Densidad - Variación espacial de la cuenca baja del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó.



11.6 VELOCIDAD DEL SONIDO

La información registrada en la cuenca baja del río Atrato y las ciénagas de Tumaradó, permitió evidenciar que la velocidad del sonido es relativamente constante en los cuerpos de agua con valores comprendidos entre los 1.501 a 1.509 m/s. No obstante, el proceso de interpolación dio a conocer que las fluctuaciones presentes en las ciénagas de Tumaradó están directamente relacionadas con el régimen de temperatura en el siguiente orden, por cada grado de aumento en la temperatura se genera un incremento de 2m/s. Relación que se ve reflejada en la ciénaga La Última, la cual a una temperatura de 30°C presenta una velocidad del sonido de hasta 10 m/s por encima de la velocidad del sonido registrada en el río Atrato (Figura 10).

Con respecto a la relación descrita anteriormente, el documento de Tapia Gómez estableció que “por cada grado de aumento en la temperatura, la velocidad del sonido se incrementa en 2.5 m/s” (Tapia Gómez, 2014, p. 5). Sin embargo, para efecto del presente estudio dicha relación es 0.5 m/s menor que la descrita en el documento de Tapia Gómez como se muestra en la tabla 10.

Tabla 11.

Incidencia de la temperatura sobre la velocidad el sonido en la cuenca baja del río Atrato y las ciénagas de Tumaradó.

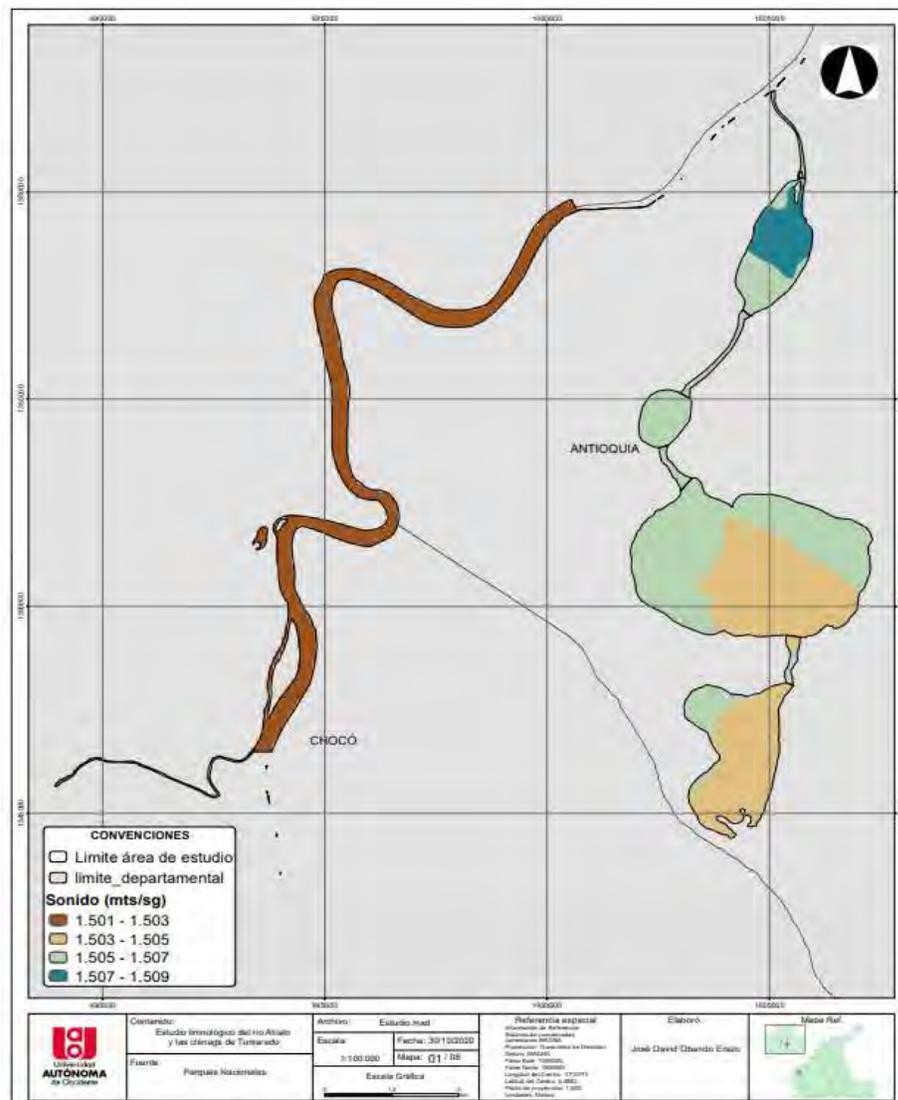
TEMPERATURA	VELOCIDAD DEL SONIDO
26 °C	1.501 m/s
27 °C	1.503 m/s
28 °C	1.505 m/s
29 °C	1.507 m/s
30 °C	1.509 m/s

El análisis descriptivo de las variaciones presentes en la velocidad del sonido se realizó en base a la temperatura, debido a que es el parámetro de mayor influencia sobre la velocidad del sonido en ecosistemas acuáticos. Existen otros factores limnológicos que determinan en menor medida las variaciones que pueda presentar la velocidad del sonido como es el caso de la presión y profundidad, sin embargo, para efecto del presente estudio se estableció que estos parámetros no tienen relevancia por cuanto “en los primeros 50 metros de profundidad la acción de la presión sobre la velocidad del sonido es mínima” (Cifuentes). Además de los parámetros mencionados, la salinidad es otro factor a tener en cuenta en la

interpretación de las variaciones presentes en la velocidad del sonido por cuanto cada milésima de sales minerales representa un incremento en la velocidad del sonido de 1.3 m/s (Tapia Gómez, 2014, p. 5).

Figura 9.

Velocidad del sonido - Variación espacial de la cuenca baja del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó.



11.7 PRESIÓN

El proceso de interpolación reafirmo que las variaciones presentes en la presión tanto en ecosistemas loticos, lenticos así como oceánicos están relacionadas al régimen de profundidad, de manera que el tramo más profundo del río Atrato con 11 metros, es el tramo que presenta la mayor presión registrada en toda el área de estudio de hasta 10 decibar o 100.000 Pascales. Esto, en contraste a las variaciones presentes en la ciénaga denominada La Última, la cual a una profundidad de 2 metros en toda su superficie, arroja una presión homogénea de hasta 2 decibar o 20.000 Pascales lo cual se repite en las ciénagas La Primera en un área reducida y en La Reina en dos tramos de sus orillas. A pesar de ello, las variaciones registradas en la presión de los cuerpos de agua bajo estudio no tienen repercusión sobre los procesos biológicos llevados a cabo por las especies acuáticas. Con respecto a su definición se tiene que, la presión es una magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie, y sirve para caracterizar cómo se aplica una determinada fuerza resultante sobre una línea. En el Sistema Internacional de Unidades la presión se mide en pascales (Pa), que es equivalente a una fuerza total de un newton (N) actuando uniformemente sobre un área de un metro cuadrado (m²). (Domínguez & Ferrer, 2017)

Figura 10.

Presión - Variación espacial de la cuenca baja del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó.



12. CONCLUSIONES

El monitoreo limnológico y la posterior modelación gráfica de los parámetros presión, profundidad, temperatura, densidad, conductividad eléctrica, salinidad y velocidad del sonido evidenciaron que las condiciones ecológicas de la cuenca baja del río Atrato y las Ciénagas de Tumaradó son favorables para el desarrollo estable de la biodiversidad acuática debido a que los parámetros registrados indicaron la ausencia de actividades antrópicas, implicando la conservación de sus condiciones ambientales prístinas.

Lo anterior da a conocer que el PNNK no presenta impactos ambientales a causa de actividades antrópicas ilícitas como la minería ilegal, ya que de ser así afectaría considerablemente los valores físico-químicos registrados en el monitoreo limnológico. Por el contrario, los valores hallados en los 7 parámetros indicaron que los cuerpos de agua tienen las características de un entorno acuático prístino e inalterado, propiciando las condiciones necesarias para la proliferación de una vasta cantidad de especies acuáticas.

La investigación busca aportar sus resultados a la comunidad investigativa en general y a Parques Nacionales Naturales de Colombia, con el objetivo de fortalecer los Planes de Manejo Ambiental que lleva a cabo sobre el PNNK y que velan por la conservación de los ecosistemas terrestres y acuáticos. De igual manera, la investigación solventa la problemática encontrada ya que representa el primer informe limnológico de la cuenca baja del río Atrato y las ciénagas de Tumaradó, teniendo en cuenta la poca o escasa información bibliográfica en torno a estas áreas.

La modelación gráfica de los parámetros limnológicos permitió evidenciar que las variaciones espaciales corresponden a la correlación que tienen entre sí. Con respecto a esto se logró determinar que las variables: profundidad y temperatura dan cuenta de las variaciones presentes en la presión, densidad, conductividad eléctrica, salinidad y velocidad del sonido.

Los parámetros temperatura, conductividad eléctrica y salinidad fueron determinantes para interpretar el estado ecológico de los cuerpos de agua bajo estudio, como es el caso de la conductividad eléctrica, la cual a niveles de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicarían un estado de degradación generado por actividades antrópicas, mientras que las mediciones reales mostraron valores inferiores que dan cuenta de un ecosistema sin alteraciones o impactos ambientales.

Desde la perspectiva de la conservación del medio ambiente y los recursos naturales, se espera que las ciénagas de Tumaradó alberguen la mayor cantidad de biodiversidad al ser cuerpos de agua en reposo que cuentan con una mayor concentración de nutrientes y minerales aportados por la materia orgánica proveniente del dosel y subdosel que se traduce en alimento y refugio para una vasta cantidad de especies terrestres y acuáticas como: aves, reptiles, mamíferos, peces y anfibios.

13. RECOMENDACIONES

- Crear un equipo científico interdisciplinario que realice estudios, muestreos y levantamiento de información en torno al río Atrato y las ciénagas de Tumaradó ya que de esta manera se posibilita la elaboración de políticas, acciones e intervenciones para la conservación y el uso sostenible de estos ecosistemas.
- Colombia, siendo un país rico en biodiversidad y en recursos hídricos, debe asumir políticas de conservación en los ecosistemas de agua dulce que se han establecido en la normatividad internacional contextualizados a las realidades nacionales y locales para el ejercicio de su estudio y conservación.
- Dado que el único muestreo limnológico del río Atrato y de las ciénagas de Tumaradó en el PNN Los Katíos se realizó en el año 2017, es importante actualizar dicha información e integrarla a los estudios limnológicos nacionales de manera que hagan parte del Atlas nacional que brinde información a futuros estudios.
- A partir de este estudio en el cual se levanta la modelación gráfica y se realiza el análisis descriptivo del mismo en el río Atrato y las ciénagas de Tumaradó, es posible llevar a cabo otras investigaciones que permitan conocer en detalle los aspectos de la biología acuática en los cuerpos de agua mencionados. De ahí que, las investigaciones que se derivan del presente estudio requieren un trabajo interdisciplinario conformado por químicos, físicos, matemáticos, estadistas, ingenieros ambientales, biólogos, ecólogos, entre otros, así como recursos económicos, por cuanto representan nuevas investigaciones.
- Realizar nuevos monitoreos limnológicos con el fin de ejercer seguimiento a la información planteada en este documento de manera que se implemente en la toma de decisiones para la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales contenidos en la cuenca baja del río Atrato y las ciénagas de Tumaradó.

REFERENCIAS

- Cifuentes, J. (s.f.). *El océano y sus recursos iii. las ciencias del mar: oceanografía física, matemáticas e ingeniería*. Recuperado de http://www.cetis127.edu.mx/ciencia/ciencia1/ciencia2/17/htm/SEC_8.HTM
- Corte Constitucional - Sala sexta de revision . (2016). *Sentencia T-622* . Recuperado de <https://justiciaambientalcolombia.org/wp-content/uploads/2017/05/sentencia-t-622-de-2016-rio-atrato-1.pdf>
- Dominguez, Esteban; Ferrer, Julian (s.f) Recuperado de [https://books.google.es/books?id=j_rIDgAAQBAJ&pg=PA40&dq=pascal+\(Pa\)+que+es+equivalente+a+una+fuerza+to&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwighOzF2cvZAhUBNxQKHkYkJBQAQ6AEIMzAC#v=onepage&q=pascal%20\(Pa\)%20que%20es%20equivalente%20a%20una%20fuerza%20to&=false](https://books.google.es/books?id=j_rIDgAAQBAJ&pg=PA40&dq=pascal+(Pa)+que+es+equivalente+a+una+fuerza+to&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwighOzF2cvZAhUBNxQKHkYkJBQAQ6AEIMzAC#v=onepage&q=pascal%20(Pa)%20que%20es%20equivalente%20a%20una%20fuerza%20to&=false)
- Dutra, A. (s.f.). *Ambientes acuáticos lóticos y lénticos*. Uruguay. Recuperado de http://aulas.uruguayeduca.edu.uy/pluginfile.php/134136/mod_resource/content/1/Ssist%20ecol%20y%20biomas.pdf
- Filho, R., Junior, P., Benassi, y Pereira. (04 de 09 de 2011). *Limnología del yacimiento de Itaipú: grado de eutrofización y distribución horizontal de sus variables limnológicas*. Recuperado de <http://ezproxy.uao.edu.co:2066/eds/detail/detail?vid=4&sid=39fd3104-bdd6-4728-b401-a571ff19eb82%40sessionmgr4008&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=edssci.S1519.69842011000500010&db=edssci>
- Folleto Informativo - Oxígeno Disuelto (OD) (s.f) Recuperado de <https://docplayer.es/135770-Folleto-informativo-oxigeno-disuelto-od.html>
- Foro Interétnico Solidaridad Choco. (s.f.). *Guardianes del Atrato*. Recuperado de <http://tierradigna.org/pdfs/SomosGuardianesDelAtrato.pdf>
- Fundación Descubre (s.f.) – Densidad Recuperado de: <https://clickmica.fundaciondescubre.es/conoce/descubrimientos/la-densidad/>

- Geraldes, A. M., y Georgel, C. (19 de 04 de 2013). *Variações na limnologia de um reservatório profundo em períodos com diferentes padrões de precipitação*. Recuperado de <http://ezproxy.uao.edu.co:2066/eds/detail/detail?vid=1&sid=39fd3104-bdd6-4728-b401-a571ff19eb82%40sessionmgr4008&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZH MtbGI2ZQ%3d%3d#AN=edssci.S2179.975X2012000400009&db=edssci>
- Goeldner Pereira, D., Amodêo Lansac-Tôha, F., Mayer Pauleto, G., Mauricio Bini, L., y Machado Velho, L. F. (19 de 04 de 2013). *Efeito da concentração de nitrogênio e fósforo na abundância e tamanho celular da comunidade de nanoflagelados planctônicos*. Recuperado de <http://ezproxy.uao.edu.co:2066/eds/detail/detail?vid=2&sid=39fd3104-bdd6-4728-b401-a571ff19eb82%40sessionmgr4008&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZH MtbGI2ZQ%3d%3d#AN=edssci.S2179.975X2016000100301&db=edssci>
- Gonzales, C. (10 de 2011). *Monitoreo de la calidad del agua*. Recuperado de <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-860/maguatemperatura.pdf>
- infoAgro. (s.f.). *Conductividad eléctrica (CE)*. Recuperado el 21 de 10 de 2020, de [https://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_conductividad_electrica.asp?k=53#:~:text=La%20unidad%20de%20medici%C3%B3n%20utilizada,miliSiemens%20\(mS%2Fcm\).&text=donde%201%20ppm%20%3D%201%20mg,de%20medida%20para%20s%C3%B3lidos%20disueltos](https://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_conductividad_electrica.asp?k=53#:~:text=La%20unidad%20de%20medici%C3%B3n%20utilizada,miliSiemens%20(mS%2Fcm).&text=donde%201%20ppm%20%3D%201%20mg,de%20medida%20para%20s%C3%B3lidos%20disueltos).
- Medina , S. (2016) *Estado actual de la limnologia en Colombia*. [Trabajo fin de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas] <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2932/1/MedinaNietoDianaSofia2016.pdf>
- Ministerio de Agricultura (1978). Decreto 1541 DE 1978 Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_1541_de_1978.pdf

Suarez, Doris. (12 del 07 de 2006) *Conductividad eléctrica por el método electrométrico en aguas*. Recuperado de:
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>

Tapia Gomez, A. (07 de 2014). *Velocidad del sonido en el medio acuático*. Recuperado de
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/24858/3.PFG_Documento_Traducido_Tercera_Lengua.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Unesco. (2017). *Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe*. Recuperado de Ciencias Naturales-biodiversidad:
<http://www.unesco.org/new/es/office-in-montevideo/natural-sciences/ecological-sciences/mab-lac-themes/biodiversidad/>

Welcomme, R.L., *Ecología de las pesquerías fluviales* - FAO, (s.f) Recuperado de:
<http://www.fao.org/3/x6853s/X6853S02.htm>

ANEXOS

Anexo A. Monitoreo limnológico

Puntos de muestreo	Ubicación	8/11/17 hora	Rango profundidad		Rango temperatura		Rango conductividad eléctrica		Rango salinidad		Rango velocidad del sonido	
1	Lat: 7.7087846	16:39	0.15	3.73	27.511	27.533	100.64	100.47	0.0503	0.0502	1503.23	1503.35
	Long: -77.0410242											
2	Lat: 7.7132758	16:50	0.15	3.44	27.512	27.512	100.63	100.72	0.0502	0.0503	1503.24	1503.29
	Long: -77.0448726											
3	Lat: 7.7169914	16:55	0.15	1.74	27.48	27.49	95.815	95.51	0.0482	0.0481	1503.17	1503.21
	Long: -77.0449216											
4	Lat: 7.7191295	17:00	0.15	4.02	27.9	27.59	83.41	94.06	0.0428	0.0474	1504.38	1503.49
	Long: -77.0492474											
5	Lat: 7.7214326	17:04	0.15	1.60	28.41	28.35	88.25	91.24	0.0446	0.0458	1505.45	1505.33
	Long: -77.0518155											
6	Lat: 7.7248023	17:09	0.15	1.48	28.37	28.34	90.16	90.76	0.0454	0.0457	1505.35	1505.30
	Long: -77.0481271											
7	Lat: 7.7232114	17:13	0.15	7.47	27.69	27.27	94.98	96.05	0.0478	0.0485	1503.69	1502.76
	Long: -77.0436724											
8	Lat: 7.7211548	17:19	0.15	6.1	27.72	27.48	94.39	94.17	0.0475	0.0475	1503.75	1503.28
	Long: -77.0393077											
9	Lat: 7.7253141	17:25	0.15	1.85	27.91	27.87	91.76	91.73	0.0463	0.0463	1504.23	1504.17
	Long: -77.0349978											
10	Lat: 7.730101	17:29	0.15	1.6	27.92	27.89	91.22	90.92	0.0461	0.0460	1504.25	1504.19
	Long: -77.0343355											
11	Lat: 7.7336478	17:33	0.15	7.23	27.96	27.93	92.23	92.83	0.0465	0.0467	1504.35	1504.40
	Long: -77.0387067											
12	Lat: 7.7357036	17:38	0.15	7.73	28.14	28.04	92.36	92.50	0.0464	0.0465	1504.78	1504.68
	Long: -77.0426996											
13	Lat: 7.7374547	17:43	0.15	7.86	28.29	27.78	92.25	92.78	0.0463	0.0468	1505.16	1504.02
	Long: -77.0461174											
14	Lat: 7.7391079	17:50	0.15	7	28.78	28.18	92.00	93.37	0.0459	0.0468	1506.33	1505.00
	Long: -77.0503101											
15	Lat: 7.7398722	17:55	0.15	1.85	28.47	28.44	89.77	90.55	0.0452	0.0455	1505.60	1505.54
	Long: -77.0530706											
16	Lat: 7.7425162	18:00	0.15	2.71	28.84	28.81	92.74	92.75	0.0462	0.0462	1506.48	1506.45
	Long: -77.0490247											
17	Lat: 7.7401627	18:04	0.15	4.77	28.31	28.30	92.32	92.25	0.0463	0.0463	1505.20	1505.26
	Long: -77.0447936											
18	Lat: 7.7383622	18:08	0.15	5.35	28.13	28.09	91.82	92.36	0.0462	0.0465	1504.76	1504.75
	Long: -77.0407974											
19	Lat: 7.7371313	18:14	0.15	5.06	28.11	28.07	91.56	92.42	0.0461	0.0465	1504.72	1504.69
	Long: -77.0365449											
20	Lat: 7.7373198	18:19	0.15	3.32	28.11	28.02	90.76	90.20	0.0458	0.0456	1504.71	1504.55
	Long: -77.0347946											
21	Lat: 7.7398259	18:22	0.15	3.62	28.14	28.14	91.04	91.04	0.0459	0.0459	1504.80	1504.85
	Long: -77.0347058											
22	Lat: 7.743914	18:26	0.15	5.23	28.32	28.18	92.25	89.97	0.0463	0.0454	1505.24	1504.96
	Long: -77.0324196											
23	Lat: 7.7505459	18:30	0.15	10.4	28.36	28.32	91.31	90.60	0.0459	0.0456	1505.32	1505.40
	Long: -77.0312636											
#	Ubicación	9/11/17 hora	Rango profundidad		Rango temperatura		Rango conductividad eléctrica		Rango salinidad		Rango velocidad del sonido	
24	Lat: 7.7545974	8:48	0.15	2.83	27.72	27.65	90.78	90.72	0.0460	0.0460	1503.76	1503.63
	Long: -77.0318681											
25	Lat: 7.7545962	8:53	0.15	1.99	27.99	27.78	90.56	90.11	0.0458	0.0457	1504.44	1503.93
	Long: -77.0390305											
26	Lat: 7.7613737	8:58	0.15	4.01	28.02	27.73	84.56	87.60	0.0433	0.0447	1504.50	1503.84
	Long: -77.0318029											
27	Lat: 7.7677899	9:03	0.15	4.87	28.23	28.10	86.21	85.14	0.0438	0.0435	1505.01	1504.77
	Long: -77.0251409											
28	Lat: 7.772693	9:11	0.15	2.67	28.49	28.33	86.03	83.14	0.0436	0.0425	1505.64	1505.29
	Long: -77.0163942											
29	Lat: 7.7777862	9:15	0.15	1.99	28.22	28.14	81.76	81.08	0.0420	0.0418	1504.99	1504.81
	Long: -77.0162294											
30	Lat: 7.7753777	9:20	0.15	4.82	28.52	28.36	89.80	89.52	0.0452	0.0451	1505.70	1505.40
	Long: -77.0252075											
31	Lat: 7.7730989	9:25	0.15	5.83	28.38	27.90	88.02	87.29	0.0445	0.0445	1505.37	1504.30
	Long: -77.0341651											
32	Lat: 7.7727271	9:30	0.15	5.57	28.31	28.02	90.20	88.26	0.0454	0.0448	1505.20	1504.60
	Long: -77.0433099											
33	Lat: 7.7712462	9:35	0.15	5.91	28.58	28.12	90.06	89.90	0.0453	0.0454	1505.85	1504.82
	Long: -77.0522453											
34	Lat: 7.7699907	9:41	0.15	3.90	28.63	28.35	90.65	89.96	0.0455	0.0453	1505.98	1505.36
	Long: -77.0614119											
35	Lat: 7.769983	9:43	0.15	2.05	28.63	28.45	90.27	89.53	0.0453	0.0451	1505.97	1505.56
	Long: -77.0644292											
36	Lat: 7.7745353	9:46	0.15	2.59	28.57	28.42	90.40	89.74	0.0454	0.0452	1505.82	1505.52
	Long: -77.0636063											

37	Lat: 7.7768314	9:50	0.15	5.62	28.77	28.25	90.13	89.85	0.0452	0.0453	1506.31	1505.14
	Long: -77.0546916											
38	Lat: 7.7791431	9:56	0.15	4.17	28.37	28.06	88.98	88.92	0.0449	0.0450	1505.35	1504.66
	Long: -77.0456253											
39	Lat: 7.784928	10:01	0.15	1.87	28.37	28.30	88.74	88.48	0.0448	0.0447	1505.35	1505.22
	Long: -77.0389798											
40	Lat: 7.783582	10:06	0.15	3.29	28.44	28.31	89.30	89.44	0.0450	0.0451	1505.51	1505.25
	Long: -77.0482267											
41	Lat: 7.7853051	10:09	0.15	4.23	28.57	28.20	90.36	89.70	0.0454	0.0453	1505.83	1505.00
	Long: -77.0518554											
42	Lat: 7.7862799	10:12	0.15	2.07	28.56	28.22	89.92	89.44	0.0452	0.0452	1505.81	1505.01
	Long: -77.0545642											
43	Lat: 7.7906873	10:15	0.15	8.71	28.73	28.21	90.48	89.65	0.0453	0.0453	1506.22	1505.11
	Long: -77.0565841											
44	Lat: 7.7950859	10:20	0.15	10.0	28.69	28.24	90.51	89.64	0.0454	0.0452	1506.12	1505.19
	Long: -77.0580984											
45	Lat: 7.7976618	10:28	0.15	2.04	28.69	28.47	89.30	88.57	0.0449	0.0447	1506.12	1505.63
	Long: -77.0625087											
46	Lat: 7.7990926	10:34	0.15	10.5	28.85	28.28	89.86	89.48	0.0450	0.0452	1506.49	1505.30
	Long: -77.0579476											
47	Lat: 7.8000749	10:39	0.15	1.69	29.20	28.70	91.41	89.87	0.0455	0.0451	1507.33	1506.18
	Long: -77.0532488											
48	Lat: 7.8048195	10:43	0.15	2.32	29.19	28.84	91.03	89.98	0.0453	0.0451	1507.31	1506.52
	Long: -77.052434											
49	Lat: 7.8063144	10:46	0.15	6.09	28.85	28.46	90.40	89.30	0.0453	0.0450	1506.50	1505.67
	Long: -77.057116											
50	Lat: 7.8077139	10:49	0.15	2.03	29.11	28.95	90.62	90.30	0.0452	0.0452	1507.12	1506.77
	Long: -77.0580651											
51	Lat: 7.8070101	10:52	0.15	7.82	29.12	28.47	91.21	89.57	0.0454	0.0451	1507.14	1505.72
	Long: -77.0538878											
52	Lat: 7.8070978	10:55	0.15	4.27	28.81	28.62	90.47	89.90	0.0453	0.0452	1506.41	1506.02
	Long: -77.0525358											
53	Lat: 7.8155181	11:01	0.15	10.6	29.11	28.50	90.88	90.06	0.0453	0.0453	1507.12	1505.95
	Long: -77.0454331											
54	Lat: 7.8262649	11:07	0.15	9.41	28.94	28.54	90.72	90.52	0.0944	0.0455	1506.71	1505.91
	Long: -77.0409849											
55	Lat: 7.8305802	11:12	0.15	1.58	29.22	28.85	90.99	88.06	0.0453	0.0443	1507.39	1506.53
	Long: -77.0431909											
56	Lat: 7.8312185	11:15	0.15	2.52	28.91	28.75	90.79	90.48	0.0454	0.0453	1506.65	1506.30
	Long: -77.0382586											
57	Lat: 7.831388	11:18	0.15	2.84	29.30	28.79	91.50	90.18	0.0455	0.0452	1507.57	1506.41
	Long: -77.0347039											
58	Lat: 7.8312619	11:21	0.15	1.84	29.44	28.86	92.03	88.26	0.0456	0.0444	1507.90	1506.56
	Long: -77.0315349											
59	Lat: 7.8350973	11:24	0.15	1.68	29.27	28.95	91.54	90.68	0.0455	0.0453	1507.50	1506.77
	Long: -77.0291288											
60	Lat: 7.8372437	11:27	0.15	2.46	29.30	28.94	91.39	90.77	0.0454	0.0454	1507.58	1506.75
	Long: -77.0321822											
61	Lat: 7.8396456	11:31	0.15	1.65	29.22	29.13	91.25	90.95	0.0454	0.0453	1507.39	1507.19
	Long: -77.0352678											
62	Lat: 7.8423583	11:34	0.15	2.04	29.26	28.99	83.94	89.90	0.0453	0.0450	1507.47	1506.86
	Long: -77.0395183											
63	Lat: 7.8466464	11:37	0.15	1.71	29.23	29.13	90.98	90.44	0.0453	0.0451	1507.40	1507.18
	Long: -77.0375591											
64	Lat: 7.8491037	11:40	0.15	3.07	29.15	28.75	91.41	89.93	0.0455	0.0451	1507.21	1506.32
	Long: -77.034559											
65	Lat: 7.8502896	11:46	0.15	1.59	29.11	29.07	91.39	91.39	0.0455	0.0455	1507.13	1507.05
	Long: -77.0324277											
66	Lat: 7.8504309	11:48	0.15	1.88	29.27	29.13	91.47	91.32	0.0455	0.0455	1507.50	1507.21
	Long: -77.0312595											
67	Lat: 7.8568293	11:52	0.15	9.67	29.00	28.70	91.17	90.63	0.0455	0.0454	1506.87	1506.30
	Long: -77.0296381											
68	Lat: 7.8613542	11:56	0.15	9.28	29.01	28.576	91.277	90.31	0.045	0.0454	1506.89	1505.99
	Long: -77.0300812											
69	Lat: 7.8654317	11:59	0.15	8.36	28.56	28.510	90.279	90.26	0.0453	0.0454	1505.80	1505.81
	Long: -77.031969											
70	Lat: 7.8688943	12:03	0.15	7.69	28.59	28.39	90.43	89.84	0.0454	0.0453	1505.87	1505.53
	Long: -77.0348333											
71	Lat: 7.8729144	12:07	0.15	8.09	28.55	28.50	90.22	90.01	0.0453	0.0453	1505.79	1505.79
	Long: -77.0355698											
72	Lat: 7.875209	12:10	0.15	10.9	26.75	26.74	60.17	60.31	0.0337	0.0338	1501.32	1501.54
	Long: -77.0358847											
73	Lat: 7.8778333	12:16	0.15	6.74	26.84	26.80	60.71	60.60	0.0339	0.0339	1501.53	1501.54
	Long: -77.0350528											
74	Lat: 7.8725451	13:46	0.15	10.1	26.84	26.83	58.78	58.80	0.0331	0.0331	1501.53	1501.69
	Long: -77.0426452											
75	Lat: 7.8714237	14:03	0.15	11.0	26.85	26.83	58.15	58.26	0.0328	0.0329	1501.56	1501.72
	Long: -77.0417292											
76	Lat: 7.8690921	14:08	0.15	2.19	26.91	27.02	58.68	57.97	0.0330	0.0327	1501.73	1502.02
	Long: -77.0410246											
77	Lat: 7.8551978	14:16	0.15	10.4	26.82	26.83	57.67	57.69	0.0327	0.0327	1501.50	1501.67
	Long: -77.053204											
78	Lat: 7.855624	14:19	0.15	10.2	26.87	26.86	57.40	57.42	0.0325	0.0325	1501.62	1501.86
	Long: -77.0542112											

79	Lat: 7.8474063 Long: -77.0747088	14:39	0.15	3.76	26.94	26.92	56.93	56.86	0.0323	0.0323	1501.75	1501.80
80	Lat: 7.8331539 Long: -77.0861179	14:50	0.15	7.53	26.88	26.88	56.10	56.11	0.0320	0.0320	1501.65	1501.77
81	Lat: 7.8332661 Long: -77.0874108	14:54	0.15	11.0	26.89	26.87	55.81	55.90	0.0319	0.0319	1501.67	1501.90
82	Lat: 7.8340041 Long: -77.0886934	15:02	0.15	7.92	26.88	26.86	56.62	56.40	0.0322	0.0321	1501.65	1501.72
83	Lat: 7.8259827 Long: -77.1052368	15:12	0.15	3.63	26.91	26.94	55.66	55.66	0.0318	0.0318	1501.71	1501.85
84	Lat: 7.8247261 Long: -77.1061712	15:15	0.15	11.0	26.89	26.88	55.56	55.62	0.0318	0.0318	1501.66	1501.82
85	Lat: 7.8237093 Long: -77.1084226	15:19	0.15	2.48	26.88	26.91	56.15	57.21	0.0311	0.0319	1501.50	1501.86
86	Lat: 7.8313895 Long: -77.1245879	15:27	0.15	3.47	26.95	26.93	56.42	56.54	0.0322	0.0322	1501.56	1501.64
87	Lat: 7.8315832 Long: -77.1260239	15:29	0.15	11.0	26.88	25.12	56.66	56.58	0.0328	0.0329	1501.62	1501.90
88	Lat: 7.8323545 Long: -77.1272325	15:33	0.15	7.11	26.86	26.86	55.58	56.62	0.0318	0.0320	1501.75	1501.87
89	Lat: 7.8144666 Long: -77.126984	15:42	0.15	2.82	26.87	26.85	56.18	57.11	0.0327	0.0327	1501.73	1501.74
90	Lat: 7.8137911 Long: -77.1250971	15:44	0.15	10.4	26.87	26.87	55.57	56.88	0.0325	0.0329	1501.67	1501.90
91	Lat: 7.8136216 Long: -77.1230407	15:47	0.15	5.65	26.90	26.91	55.36	55.36	0.0317	0.0317	1501.70	1501.80
92	Lat: 7.7955065 Long: -77.1224337	15:55	0.15	4.46	26.84	26.84	55.36	55.36	0.0317	0.0317	1501.53	1501.60
93	Lat: 7.7945759 Long: -77.1238959	15:57	0.15	11.0	26.87	26.85	55.45	55.46	0.0327	0.0325	1501.61	1501.83
94	Lat: 7.7946417 Long: -77.1253851	16:00	0.15	7.38	26.86	26.86	55.43	55.40	0.0318	0.0316	1501.59	1501.71
95	Lat: 7.7802375 Long: -77.1142355	16:14	0.15	2.38	26.86	26.87	55.61	55.36	0.0322	0.0324	1501.60	1501.66
96	Lat: 7.7802574 Long: -77.112845	16:16	0.15	11.0	26.83	26.83	55.56	55.45	0.0316	0.0320	1501.52	1501.98
97	Lat: 7.7798173 Long: -77.111852	16:21	0.15	4.67	26.84	26.84	55.60	55.60	0.0318	0.0318	1501.54	1501.62
98	Lat: 7.7776491 Long: -77.1304931	16:30	0.15	1.82	26.78	26.73	55.78	55.09	0.0319	0.0316	1501.39	1501.30
99	Lat: 7.7788511 Long: -77.1308362	16:33	0.15	11.0	26.79	26.79	55.84	55.44	0.0319	0.0317	1501.41	1501.91
100	Lat: 7.7799462 Long: -77.1306543	16:39	0.15	5.96	26.81	26.80	56.77	56.77	0.0323	0.0323	1501.46	1501.55
101	Lat: 7.7622704 Long: -77.1348395	16:48	0.15	2.54	26.85	26.85	59.922	59.90	0.0336	0.033	1501.58	1501.60
102	Lat: 7.7622081 Long: -77.1332409	16:51	0.15	11.0	26.80	26.81	55.11	55.24	0.0316	0.0317	1501.44	1501.80
103	Lat: 7.7622205 Long: -77.1320641	16:56	0.15	4.82	26.76	26.76	54.92	54.91	0.0315	0.0315	1501.35	1501.41
104	Lat: 7.7439725 Long: -77.1298169	17:04	0.15	1.26	26.91	26.84	56.69	55.47	0.0327	0.0320	1501.73	1501.72
105	Lat: 7.7440448 Long: -77.1318277	17:07	0.15	10.6	26.78	26.77	56.18	56.62	0.0325	0.0325	1501.56	1501.81
106	Lat: 7.7447544 Long: -77.1334391	17:11	0.15	7.95	26.80	26.80	55.43	55.24	0.0320	0.0311	1501.41	1501.72
107	Lat: 7.7293346 Long: -77.1408011	17:19	0.15	11.0	26.75	26.75	56.62	56.80	0.0313	0.0327	1501.56	1501.83
108	Lat: 7.7287468 Long: -77.1397991	17:23	0.15	11.4	26.75	26.75	56.12	56.68	0.0325	0.0325	1501.52	1501.80
109	Lat: 7.7287267 Long: -77.1379522	17:27	0.15	3.51	26.8	26.8	55.21	55.43	0.0322	0.0327	1501.55	1501.88
110	Lat: 7.7015111 Long: -77.1361424	17:37	0.15	4.18	26.75	26.74	56.18	55.24	0.0318	0.0320	1501.44	1501.60
111	Lat: 7.7013622 Long: -77.1373923	17:40	0.15	11.3	26.77	26.74	56.62	56.16	0.0312	0.0322	1501.73	1501.72
112	Lat: 7.700829 Long: -77.1392049	17:45	0.15	3.71	26.75	26.73	55.43	56.88	0.0321	0.0322	1501.56	1501.72
113	Lat: 7.6745011 Long: -77.1344481	17:55	0.15	6.95	26.67	26.67	55.26	56.62	0.0318	0.0325	1501.41	1501.65
114	Lat: 7.6739099 Long: -77.1333482	17:57	0.15	11.0	26.68	26.66	56.18	55.44	0.0324	0.0325	1501.52	1501.72
115	Lat: 7.6739882 Long: -77.131697	18:00	0.15	3.23	26.70	26.68	56.87	56.63	0.0320	0.0327	1501.58	1501.84
116	Lat: 7.7275595 Long: -77.1425964	18:19	0.15	4.14	27.77	27.47	55.43	56.11	0.0317	0.0316	1501.42	1501.81
117	Lat: 7.7854331 Long: -77.1184204	18:42	0.15	11.0	26.77	26.78	56.80	55.24	0.0327	0.0321	1501.71	1501.60

IMPORTANTE: El anexo citado es propiedad de Parques Nacionales Naturales de Colombia, y contiene información privilegiada, confidencial o sensible. Por tanto, usar esta información para propósitos ajenos al ejercicio de la Administración,

Conservación y Manejo de Áreas Protegidas en Colombia, divulgarla o reproducirla total o parcialmente, se encuentra prohibido por la legislación vigente.