

DIAGNÓSTICO FÍSICOQUÍMICO, BIOLÓGICO
Y MICROBIOLÓGICO DE LAS
AGUAS DEL EMBALSE DE LA COPA
(BOYACÁ)



Gabriel Ricardo Cifuentes Osorio ■
Rodolfo Alfonso Gamboa Becerra ■
Zulma Edelmira Rocha Gil ■

UB Universidad de Boyacá

CENTRO DE INVESTIGACIONES PARA EL DESARROLLO -CIPADE-
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Cifuentes Osorio, Gabriel Ricardo

Diagnóstico fisicoquímico, biológico y microbiológico de las
aguas del embalse La Copa (Boyacá) / Gabriel Ricardo
Cifuentes

Osorio, Rodolfo Alfonso Gamboa Becerra, Zulma Edelmira
Rocha

Gil. -- Tunja : Ediciones Universidad de Boyacá, 2014.

119 páginas ; 24 cm.

ISBN 978-958-8642-52-9

1. Microbiología del agua 2. Química del agua 3.

Microbiología sanitaria 4. Análisis del agua - La Copa (Embalse,
Boyacá, Colombia) 5. Embalses - Boyacá (Colombia) I. Gamboa
Becerra, Rodolfo Alfonso, autor II. Rocha Gil, Zulma Edelmira,
autora

III. Tít.

628.161 cd 21 ed.

A1449059

CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel Arango

DIAGNÓSTICO FÍSICOQUÍMICO, BIOLÓGICO
Y MICROBIOLÓGICO DE LAS
AGUAS DEL EMBALSE DE LA COPA
(BOYACÁ)



GRUPO DE INVESTIGACIÓN
Gestión del Recurso Hídrico

Investigadores

GABRIEL RICARDO CIFUENTES OSORIO ■■
RODOLFO ALFONSO GAMBOA BECERRA ■■
ZULMA EDELMIRA ROCHA GIL ■■

UB Universidad de Boyacá

CENTRO DE INVESTIGACIONES PARA EL DESARROLLO -CIPADE-
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

GABRIEL RICARDO CIFUENTES OSORIO

Licenciado en Ciencias de la Educación Biología y Química.

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Especialista en Química Ambiental.

Universidad Industrial de Santander

Magíster en Ciencias Ambientales.

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

Director de Investigaciones. Facultad de Ciencias e Ingeniería.

Universidad de Boyacá

Profesor Titular.

Universidad de Boyacá.

Vinculado desde el año 1995 como profesor de tiempo completo en las áreas de Química General y Química Ambiental. Ha sido Director del Departamento de Química y Bioquímica y Jefe de los Laboratorios de Química y Bioquímica y Análisis Ambiental.

RODOLFO ALFONSO GAMBOA BECERRA

Licenciado en Ciencias de la Educación Biología y Química

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Magíster en Docencia de la Química

Universidad Pedagógica Nacional

Director de Posgrados. Facultad de Ciencias e Ingeniería

Universidad de Boyacá

Profesor Titular

Universidad de Boyacá

Vinculado desde el año 1994 como profesor de tiempo completo en las áreas de Biología Celular y Química Analítica. Ha sido Director del Departamento de Biología y Microbiología

ZULMA EDELMIRA ROCHA GIL

Bióloga.

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Especialista en Gestión Ambiental

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Magíster en Ciencias Ambientales

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

Profesor Titular

Universidad de Boyacá

Universidad de Boyacá. Vinculada desde el año 2009 como profesora de tiempo completo en las áreas de Ecología y Ecosistemas Estratégicos, Evaluación Ambiental e Hidrobiología. Ha sido Coordinadora de Semilleros de Investigación de los Programas de Ingeniería Ambiental e Ingeniería Sanitaria.

© Los autores

Gabriel Ricardo Cifuentes Osorio,
Rodolfo Alfonso Gamboa Becerra, Zulma Edelmira Rocha Gil

RECTORA

Dra. Rosita Cuervo Payeras

VICERRECTOR ACADÉMICO

Ing. Rodrigo Correal Cuervo

VICERRECTOR DESARROLLO INSTITUCIONAL

Ing. Andrés Correal Cuervo

VICERRECTORA INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Ing. Claudia Patricia Quevedo Vargas

VICERRECTORA EDUCACIÓN VIRTUAL

Ing. Carmenza Montañez Torres

CORRECCIÓN DE TEXTO Y ESTILO,

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

División de Publicaciones

©

EDICIONES UNIVERSIDAD DE

BOYACÁ

Carrera 2ª. Este N° 64-169

TELS.: (8) 7452742 - 7450000

Ext. 3106

www.uniboyaca.edu.co

informa@uniboyaca.edu.co

publicaciones@uniboyaca.edu.co

TUNJA-BOYACÁ-COLOMBIA

ISBN: 978-958-8642-52-9

Esta edición y sus características gráficas son propiedad de la

 **Universidad de Boyacá**

© 2014

Queda prohibida la reproducción parcial o total de este libro, por medio de cualquier proceso reprográfico o fónico, especialmente fotocopia, microfilme, offset o mimeógrafo (Ley 23 de 1982).

DOI: <https://doi.org/10.24267/9789588642529>

PRESENTACIÓN

La iniciativa del “Diagnóstico Físicoquímico, Biológico y Microbiológico de las Aguas del Embalse La Copa (Boyacá)”, fue desarrollada por el grupo de investigación en Gestión de Recursos Hídricos de la Universidad de Boyacá, con el propósito de establecer el nivel de variabilidad y el comportamiento de dicho recurso en los diferentes períodos de estacionalidad pluviométrica que se presentan en esta zona del departamento. La evaluación de los primeros dos años de esta investigación, ha permitido establecer la relación entre el estado trófico de este sistema y las comunidades biológicas que habitan el recurso, al igual que los cambios graduales del ecosistema asociados a las características físicoquímicas de sus principales afluentes: río Toca, río San Francisco y río Chorrera.

La estructura de este documento integra la caracterización físicoquímica del embalse La Copa con las comunidades biológicas y se enmarca dentro de dos grandes parámetros, de un lado el comportamiento de las aguas a nivel físicoquímico y de otro, la descripción de la composición y abundancia de la comunidad fitoplanctónica y determinación de la presencia y variación de grupos bacterianos (coliformes) como indicadores biológicos de la calidad del agua, teniendo en cuenta que este recurso es fuente abastecedora del agua potable para acueductos veredales y presenta alteraciones por presencia de actividades socioeconómicas de tipo agrícola principalmente.

De otra parte, con los resultados de esta publicación, se promueve la necesidad de realizar seguimiento y monitoreo en los embalses a nivel regional y nacional, y se espera que la caracterización de los parámetros físicos, químicos y biológicos aquí descritos, puedan ser útiles para los diferentes usuarios del distrito de riego Usochicamocha y en general a los diferentes actores de la cuenca del río Chicamocha, no sólo como referente histórico de su dinámica, sino también en la articulación de políticas para la conservación y manejo del sistema hídrico, en trabajo conjunto hacia el desarrollo sostenible regional.

Finalmente, se resalta el apoyo interinstitucional para la realización de esta publicación, gracias al trabajo realizado con la Universidad Jorge Tadeo Lozano y el Distrito de Riego de Usochicamocha, el cual aportó experiencias y conocimientos, fortaleciendo las capacidades técnicas y científicas para el manejo de estos sistemas, contribuyendo así al proceso de desarrollo a nivel regional y nacional.

Claudia Patricia Quevedo Vargas
Vicerrectora de Investigación Ciencia y Tecnología

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
GENERALIDADES DE LOS EMBALSES	12
Alteraciones físicas en los cuerpos de agua	19
Alteraciones químicas de los cuerpos de agua	20
Los sedimentos y composición	21
Estructura de ecosistemas lénticos	23
Físico - química de los embalses	25
NORMATIVIDAD ASOCIADA A LOS EMBALSES	37
ZONA DE ESTUDIO	39
CARACTERÍSTICAS HIDROCLIMÁTICAS DEL EMBALSE	43
CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA	45
CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA	48
CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA	49
ESTADO ACTUAL DEL EMBALSE	52
Físicoquímico	52
Biológico	75
Microbiológico	84
ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA	93
GLOSARIO	101
BIBLIOGRAFÍA	104

INTRODUCCIÓN

La limnología de los embalses en Colombia ha sido poco estudiada, además, la mayoría de estos sistemas se han construido sin proyectar su uso y manejo en el tiempo. Algunos han presentado históricamente en el país, problemas de eutrofización tales como vegetación inundada, aguas residuales domésticas e industriales, arrastre de sedimentos de zonas erosionadas y de nutrientes provenientes de zonas agrícolas aledañas, que pueden causar pérdidas económicas, sociales y ambientales dependiendo del funcionamiento de este tipo de sistemas hídricos artificiales.

Estudios de las fases tempranas de evolución trófica de los embalses, relacionan el peligro de eutrofización temprana de embalses, especialmente por la colmatación de nutrientes y el consecuente proceso de sucesión secundaria al iniciar la colonización de vegetación, asociada a la introducción antrópica de especies, y, a la vez, al cambio de condiciones de los sistemas por prácticas agrícolas, pecuarias y descargas de aguas industriales y domésticas.

En la actualidad el embalse La Copa, ubicado en el municipio de Toca, Boyacá, construido en el año 1990 para la regulación de sales del río Chicamocha y amortiguación de sistemas corrientes en épocas de lluvias, ha sido caracterizado en estudios exploratorios en el año 1993 por Ruiz y Camacho, y, en el mismo año, por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO; con fines de potencialidad agroalimentaria en países en vía de desarrollado. Actualmente, el sistema tiene una importante función no solamente ecológica por su amortiguación hídrica, sino que además, por ser el principal abastecedor de riego para la cuenca media del río Chicamocha.

En consecuencia, el presente estudio muestra la importancia de realizar seguimiento y monitoreo en este tipo de sistemas hídricos y relaciona las informaciones de comportamiento en cuanto a variables físico-químicas, biológicas y bacteriológicas.

En este informe se incluyen los resultados de un plan de monitoreo anual en los diferentes períodos de cambio de régimen hídrico y los principales puntos de muestreo definidos en el reconocimiento de la zona de estudio. También se incluye el análisis del estado trófico,

a partir de la estimación del ion NH_4 ; del rango propuesto para la clasificación de lagos hecha por Vollenweider (1968) y la aplicación del índice ICOTRO a partir de los valores obtenidos para el ión PO_4 , información base, para identificar estrategias preventivas de manejo sobre las actividades antrópicas realizadas en el área de influencia directa e indirecta de este importante recursos hídrico, definiendo la importancia de realizar estudios periódicos que aporten conocimientos para evitar la alteración y aumento de vida útil de este sistema.

El embalse La Copa representa una alternativa para el desarrollo socioeconómico de los usuarios del distrito de riego del alto Chicamocha y actualmente, no se han realizado estudios relacionados con el estado trófico que permitan determinar las acciones de manejo y la calidad ambiental del mismo. En este sentido, el conocimiento del comportamiento físico-químico, biológico y bacteriológico del embalse, permite establecer elementos de análisis en cuanto a posibles alteraciones ecológicas y evitar o limitar la degradación del ambiente en caso de existir impactos negativos de las actividades socioeconómicas que actualmente se llevan a cabo en el área de influencia del recurso hídrico.

El estudio busca generar conocimiento de las variables físico-químicas y biológicas del recurso hídrico. Además, pretende conocer el estado trófico del sistema, a partir de la valoración de los iones NH_4 y PO_4 , y mediante la descripción de la composición y distribución de la comunidad fitoplanctónica, determinar posibles cambios a través del análisis de abundancias relativas en la composición y distribución de especies fitoplanctónicas, que son la base de la cadena trófica en este tipo de sistemas (Gesamp, 1995, 55). Los resultados físico-químicos y bacteriológicos permiten conocer también, el estado actual del ecosistema y brindan elementos para establecer comparaciones futuras. Esto constituye fundamentos básicos requeridos para el manejo y ordenamiento racional de los recursos, así como, para el control de la calidad ambiental.

La Copa, al igual que otros embalses del mundo y de hecho en Colombia, ha generado desde su construcción y funcionamiento variaciones en la dinámica de las cuencas hidrográficas y asociado a esto, efectos socioeconómicos en las comunidades que dependen de éstas. Sumado a lo anterior, -en nuestro país- el inadecuado manejo de estas alternativas de almacenamiento de agua, presentan problemas de eutrofización relacionados con la presencia de vegetación inundada,

aguas residuales domésticas e industriales, arrastre de sedimentos de zonas erosionadas y de nutrientes provenientes de zonas agrícolas aledañas que causan a menudo, la disminución de la vida útil o la ineficacia de los servicios ambientales para los cuales fueron construidos estos embalses.

Actualmente, el embalse presenta una fuerte presión antrópica, por lo cual se proyectan cambios en la presencia de materia orgánica en el cuerpo de agua y en los sedimentos del sistema; debido probablemente al incremento de la carga orgánica de vertimientos y aguas lluvias provenientes de los afluentes de los floricultivos y de la actividad agrícola y pecuaria en esta región.

De otra parte, las condiciones fisicoquímicas y la estructura y composición de las comunidades biológicas presentes en el embalse también podrían ser alteradas, teniendo en cuenta el posible incremento en la concentración de nutrientes y la capacidad natural de dilución y reciclaje de material de este sistema. Con ello se ocasiona una desestabilización del ecosistema que lleva a la degradación del mismo y que en la mayoría de las veces, es irreversible. Carpenter, & Cottingham, 1997). El acelerado aumento de floricultivos y actividades agropecuarias en general en la ribera del embalse (sin una planificación adecuada), puede incrementar significativamente la cantidad de residuos sólidos y líquidos que se descargan al embalse contaminando y generando la aparición de procesos eutróficos localizados como ha sucedido en otros embalses en el mundo.

En el embalse actualmente se vierten aguas residuales provenientes de cultivos y vertimientos domésticos, también hay presencia de pastoreo de animales y actividades agrícolas intensivas. Por lo anterior, se plantea de forma particular, que la composición y estructura de la comunidad fitoplanctónica y bacteriológica, junto con el análisis físico-químico del embalse La Copa, pueden ser elementos de análisis para conocer el estado trófico y dinámica de este tipo de sistema.

GENERALIDADES DE LOS EMBALSES

Los embalses o también llamados presas de agua han sido empleados para diversos usos a nivel mundial, desde la antigüedad se han empleado para la regulación de ríos; abastecer de agua potable a poblaciones y generar energía, entre otras. Algunas de estas infraestructuras, como la presa Aswan High en Egipto, captura agua de inundación durante las estaciones lluviosas y libera el agua durante tiempos de sequía; pero a pesar de estos enormes beneficios, la presa también ha producido varios efectos negativos, como el traslado de 90.000 campesinos egipcios, ya que algunas tierras del desierto que se fertilizaban con los nutrientes que transportaba el río, ahora son sedimentados en el fondo de este embalse (Presa Aswan High, 2009).

Actualmente varias organizaciones como la WWF (World Wide Foundation for Nature) han presentado informes sobre la situación de presas en el mundo, como en el caso de España y, según sus datos, hay más de 15 ríos con impacto negativo por construcción de embalses, que deberían demolerse, ya que se encuentran presas que dejan secos los cauces y no cumplen la función para la cual se construyeron. Todo esto hace que se presenten graves problemas de orden social y económico, debido a la reubicación de poblaciones y cambios en la actividad económica de las comunidades que dependen directa o indirectamente de las cuencas intervenidas (García, 2009).

Por lo anterior, la mayoría de países han iniciado una serie de trabajos orientados en comprender el comportamiento ambiental de estos importantes recursos hídricos con el fin de darles un adecuado manejo, a partir de la caracterización limnológica, desde el momento en que se ponen en funcionamiento y durante el tiempo proyectado para su servicio. A nivel mundial es conocido el deterioro de estos cuerpos de agua por ser receptores de sustancias tóxicas, contaminantes orgánicos e inorgánicos, los cuales han contaminado las aguas y sedimentos. Los nutrientes provenientes de desagües domésticos, industriales o agricultura han producido la eutrofización de las aguas, cambiando sustancialmente el ecosistema debido al crecimiento desmedido de algas y plantas, degradando la calidad del agua y disminuyendo la eficiencia del sistema tanto in situ, como aguas abajo. La mayoría de embalses han aumentado significativamente en las concentraciones de materia orgánica, comprendida en las fracciones de Nitrógeno,

Fósforo para la columna de agua, así como para el carbono en sus sedimentos (Peralta, 2006 p. 5).

En Colombia existen cerca de 24 embalses con volúmenes superiores a los mil millones de metros cúbicos; la mayoría de ellos tienen por finalidad la generación de energía hidroeléctrica. Sus áreas varían entre 0.2 y 74 km², su ubicación entre los 70 y 3000 metros sobre el nivel del mar y una capacidad de generación entre los 10 y 1000 MW. La mayoría están localizados sobre las cuencas de los ríos Magdalena y Cauca y la altiplanicie de Cundinamarca-Boyacá. La vida útil de estos ecosistemas depende de muchos factores, entre los cuales pueden mencionarse: el área del embalse, el volumen, la profundidad, el tiempo de retención del agua, la limpieza previa del terreno a inundar, la cobertura vegetal de la cuenca y la calidad del agua que los surten, entre otros (Roldán, 1992, p. 169).

La limnología de los embalses en Colombia ha sido poco estudiada y las fuentes de eutrofización tales como vegetación inundada, aguas residuales domésticas e industriales, arrastre de sedimentos de zonas erosionadas y de nutrientes provenientes de zonas agrícolas aledañas, causan a menudo problemas de eutrofización que repercuten generando graves daños a nivel de casa de máquinas y túneles de conducción.

Dentro de los trabajos más representativos realizados hasta ahora en Colombia pueden mencionarse los de Uribe y Roldán, 1975; Björk y Gelin, 1980; Orozco, 1981; Bernier, 1981; Medina, 1983; Gaviria y Rodríguez, 1983; Roldán et al, 1984; Villamizar, 1984; ISA, 1985; Roldán, 1992; Vega et al, 1992; Ramírez et al, 2000; Roldán et al, 2000. Los problemas de eutrofización causan a menudo proliferación de algas y plantas acuáticas, inhabilitando el embalse para la recreación y la pesca (Roldán, 1978, 1982). Finalmente, un embalse eutrofizado, al desoxigenarse produce aguas saturadas de ácido sulfhídrico, metano y hierro soluble, las cuales se vuelven tóxicas y al ser vertidas aguas abajo destruyen todo tipo de vida en los cauces de ríos y quebradas receptoras (Roldán, 2002, 1).

Estudios relacionados con las fases tempranas de evolución trófica de los embalses han sido realizados por Uribe y Roldán (1975); Sánchez (1976); Torres (1979); Gaviria (1983); Márquez (1984); Horta (1985); y Flórez y Vargas (1988). Todos estos coinciden en afirmar acerca del

peligro de eutrofización temprana de embalses en cuyo vaso la vegetación no ha sido removida, si se continúan prácticas agrícolas en su área de influencia inmediata y si se siguen vertiendo en ellos aguas de descarga industrial y doméstica (Roldán, 2002, 1).

Los estudios fisicoquímicos realizados muestran valores de pH que varían entre 6.1 y 7.4, alcalinidad, dureza de 5.0 a 50 mg/l, conductividad eléctrica entre los 14 y 90 $\mu\text{s}/\text{cm}$, nitratos entre 0.02 y 0.30 mg/l, fosfatos entre 0.01 y 0.30 mg/l y sulfatos entre 2.0 y 102 mg/l (Roldán, 1992). En cuanto al oxígeno disuelto se han realizado perfiles en ocho embalses colombianos de 50 m. de profundidad en promedio, muestran desde curvas ortógradas hasta fuertemente clinógradas en las cuales el oxígeno comienza a agotarse a los 10 m. de profundidad (Roldán, 1992). Sólo se ha realizado un estudio de perifiton en el cual se encontraron hasta cerca de 200g/m² (Moreno, 1986). En cuanto al plancton se han reportado cerca de 62 géneros de fitoplancton y 18 de zooplancton (Roldán, 2002, 1).

Las plantas acuáticas se han convertido en un grave problema en varios de los embalses colombianos, restando capacidad de penetración de la luz, formando extensas áreas de desoxigenación y dificultando la navegación. Se han reportado cerca de 20 familias de plantas acuáticas y 30 géneros, de los cuales *Eichhornia crassipes* es la más invasora (Roldán, 2002, 1).

Por otro lado, los embalses han sido objeto de estudio como medios para piscicultura, aspecto que aún falta por valorar, dados los peligros de eutrofización que pueden presentarse (Beltrán, 1978; Flórez, 1989). Actualmente en el embalse de El Guavio, se están llevando a cabo estudios de crecimiento y desarrollo de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en balsas flotantes con resultados hasta ahora satisfactorios. Las especies de peces más frecuentes en los embalses colombianos son la “carpa” (*Ciprinus carpio*), la “trucha bass” (*Micropterus sp*) y “tilapia” (*Oreochromis niloticus*). (Roldán, 2002, 1).

En el embalse de La Copa del municipio de Toca construido en 1990 y considerado uno de los recursos hídricos más importantes de la región, se han realizado estudios exploratorios en el año 1993 por Ruiz y Camacho y, en el mismo año, por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO; en su estudio denominado: aprovechamiento acuícola de embalses en Colombia, donde

muestra una caracterización general y algunos parámetros físico-químicos del embalse.

Los embalses son ecosistemas acuáticos creados por el hombre con diversos propósitos, como generar energía, suministrar agua para consumo, irrigación, recreación, entre otros. El tiempo de duración de estos ecosistemas depende de diversos factores como son el tiempo de retención del agua en el embalse, la limpieza previa del terreno a inundar, la calidad del agua de sus afluentes (Ramírez, 1998).

La presencia de materia orgánica en los embalses va directamente relacionada con los procesos de eutrofización que estos pueden llegar a presentar. Los embalses tienen mayor susceptibilidad a sufrir procesos de eutrofización con respecto a los lagos, esto se debe principalmente por la presencia de la carga elevada de materia orgánica que estos cuerpos de agua deben procesar de manera súbita en su inicio, y por la alta relación entre las superficies de la cuenca y de la lámina de agua lo que favorece el mantenimiento de unas mayores aportaciones de nutrientes por unidad de superficie.

El comportamiento de estos cuerpos de agua en Colombia y en especial aquellos que se encuentran ubicados a altas altitudes han sido poco estudiados, además las fuentes o causas de la posible eutrofización tales como las aguas residuales o industriales, el arrastre de sedimentos de zonas erosionadas, nutrientes provenientes de zonas agrícolas aledañas, causan graves problemas de desoxigenación que, a su vez, están asociados con el aumento significativo de materia orgánica.

Estudios relacionados con las fases tempranas de la evolución trófica de los embalses, han sido realizados en las décadas de los setentas y ochentas, los cuales coinciden en afirmar del peligro de eutrofización temprana de embalses en cuya cubeta la vegetación no ha sido removida, si se continúan realizando prácticas agrícolas en su área de influencia, si se continúa vertiendo en ellos aguas de características domésticas o industriales.

La vida y desarrollo de los centros urbanos y rurales dependen de los recursos hídricos, ya sean de glaciares, ríos, arroyos, lagos naturales y embalses. La construcción de estos últimos se realiza por la necesidad de administrar el recurso, ya que proveen de agua para consumo, agua para agricultura, energía eléctrica y, por qué no, oportunidades de tipo recreativo.

Los lagos y embalses son importantes ecosistemas de agua dulce en el mundo, en los cuales interactúan entre sí gran cantidad de especies, incluidos los seres humanos. Sin embargo, a pesar de la gran importancia que reviste para la dinámica de países y ciudades, los mismos pueden encontrarse deteriorados en lo que calidad de las aguas y eficiencia de uso se refiere.

A nivel mundial es conocido el deterioro de estos cuerpos de agua por ser receptores de sustancias tóxicas, contaminantes orgánicos e inorgánicos, los cuales han contaminado las aguas y sedimentos. Los nutrientes provenientes de desagües domésticos, industriales o agricultura han producido la eutrofización de las aguas, cambiando sustancialmente el ecosistema debido al crecimiento desmedido de algas y plantas, degradando la calidad del agua y disminuyendo la eficiencia del sistema. (Peralta et al., 2006).

No puede existir manejo apropiado del recurso hídrico de un embalse, si no se tiene un conocimiento integral del mismo. Por lo tanto es necesario conocer la geología de la cuenca, actividades antrópicas, geomorfología de embalses, características físicas, químicas y biológicas, ya que éstas merecen seguimiento continuo debido a que son variables dinámicas en el tiempo (Peralta et al., 2006).

La relación existente entre la cuenca de drenaje y el agua entrante es importante, ya que determinan la calidad del agua del reservorio. En éste se suceden una serie de procesos, propios de los cuerpos lénticos, que están condicionados a numerosos factores como son los impactos y aportes alóctonos. La calidad del reservorio determina la calidad de las aguas abajo del embalse. Cada uno de estos subsistemas son parte de un ambiente, en algunos casos influyen sobre las características hidrológicas, hidroquímicas e hidrobiológicas de ecosistemas de otras regiones próximas y lejanas. Dentro de los sistemas de embalses se destacan varios subsistemas entre los cuales encontramos:

Los elementos químicos en el agua pueden aparecer de varias formas: elementos orgánicos e inorgánicos disueltos, elementos asociados a partículas abióticas y bióticas. Existen numerosas especies químicas y a menudo pueden presentarse en una combinación de ellas, y las tasas de intercambio entre ellos dependen del equilibrio químico, absorción y liberación por partículas y organismos biológicos. (Peralta, 2006). En la dinámica química, de los cuerpos de agua, juegan un rol

determinante los procesos que involucran la biología y los organismos acuáticos. Esto debe ser tenido en cuenta en el análisis químico de las muestras de agua. La concentración de elementos variará si se trata de muestras con partículas abióticas, con o sin presencia de organismos. En el traslado de las muestras desde el lugar de origen hacia el laboratorio, pueden producirse cambios radicales en las proporciones y formas de los elementos químicos (Peralta et al., 2006).

Composición mineral. Esta característica es resumida por la Conductividad, Dureza, Alcalinidad y Salinidad. Muchos componentes minerales no participan significativamente en los procesos químicos-biológicos de los embalses.

Nutrientes. Estos elementos representan una categoría especial, debido a sus efectos en la producción biológica. Presentan transformaciones desde la absorción por parte de los organismos para su crecimiento, excreción y liberación después de la muerte. Los nutrientes, por lo tanto, son considerados como esenciales para la vida.

Carbono, Nitrógeno, Fósforo y Azufre. Son macro elementos necesarios en altas concentraciones. Sílice, Cobre, Manganeseo y otros, son considerados micro nutrientes.

Entre los macro elementos el ciclo del Fósforo en un reservorio, es el proceso más crítico para la producción orgánica. La dinámica y evolución de este elemento es fundamental en el proceso de eutrofización, no sólo porque es un elemento limitante, sino también porque la carga de fósforo en los embalses es agotada fácilmente en la columna de agua. Pocos microgramos/litro de Fósforo soluble (PO_4 -P) en superficie, es absorbido por el fitoplancton. El Fósforo orgánico proveniente del fitoplancton es acumulado en grandes concentraciones en los sedimentos de cuerpos de agua eutrofizados. En algunos casos, los niveles de fósforo en los primeros milímetros del sedimento, es superior al presente en la columna de agua. Según el estado de oxigenación del sedimento del hipolimnion, el fósforo puede ser liberado nuevamente a la columna de agua.

En condiciones de anoxia, el fósforo de los sedimentos es liberado rápidamente hacia la columna de agua. En el caso de hipolimnion oxigenado se produce una difusión de fósforo en un gradiente de concentración entre ambos medios, los reservorios actúan como una

“trampa de fósforo” reteniéndolo mediante el fitoplancton y en partículas abióticas, que eventualmente se acumulan en sedimentos.

En el ciclo del Nitrógeno la función que cumplen las bacterias es primordial. Las mismas habitan el hipolimnion. Por lo tanto, no necesitan de la radiación solar para vivir. Entre el fitoplancton, las cianófitas presentan adaptación celular para la fijación de Nitrógeno.

En ambientes con altas concentraciones de oxígeno en el hipolimnion se produce el proceso de nitrificación:



En ambientes con baja concentración de oxígeno en hipolimnion domina el proceso de amonificación, (Terrel, & Bytnar, 1996, 131):



Entre los procesos que intervienen en el estado de oxigenación de los reservorios se encuentran:

- * Tasa de producción de fitoplancton y tasa de respiración.
- * Temperatura y concentración de oxígeno de agua entrante al sistema.
- * Tasa de intercambio de oxígeno en la fase agua-atmósfera.
- * Tasa de sedimentación del fitoplancton.
- * Contenido de materia orgánica en los sedimentos y el consumo de oxígeno resultante.
- * Condiciones de mezcla del reservorio.

En la columna de agua la concentración de oxígeno presenta un gradiente, con mayor concentración en el epilimnion y déficit en los estratos profundos, particularmente en cuerpos de agua eutrofizados (debido al elevado consumo de este gas causado por la descomposición de la abundante materia orgánica producida en la columna de agua). En la época de mezcla y circulación del agua, la concentración de oxígeno se mantiene constante en toda la columna de agua.

El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación. Pero esta misma facilidad de regeneración y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que se depositen los residuos producidos por las actividades antrópicas. Pesticidas, desechos químicos, metales pesados, entre otros, se encuentran, en cantidades mayores o menores, al analizar las aguas de los más remotos lugares del mundo. Muchas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana, para el medio ambiente y sus relaciones con la comunidad.

Estas alteraciones en cuanto a la concentración alta de materia orgánica se ve reflejada tanto en aspectos físicos, químicos y biológicos los que repercutirán de manera significativa al medio ambiente.

Alteraciones físicas en los cuerpos de agua

- * **Color.** El agua no contaminada suele tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos debido, principalmente, a los compuestos húmicos, férricos o los pigmentos verdes de las algas que contienen. Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores pero, en general, no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación (Romero, 2002)
- * **Olor y sabor.** Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones. (Sawyer, et al 2002)
- * **Temperatura.** El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la degradación de la materia orgánica causando posteriormente eutrofización. La temperatura óptima del agua para beber está entre 10 y 14 °C. (Sawyer, et al 2002).
- * **Materiales en suspensión.** Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán

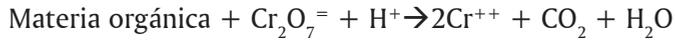
después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas). (Romero, 2002).

- * **Conductividad.** El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20 °C. (Romero, 2002)

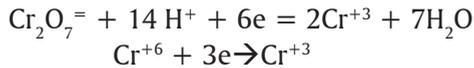
Alteraciones químicas de los cuerpos de agua

- * **pH.** Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO₂ disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos procedentes del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO₂ formando un sistema tampón carbonato/bicarbonato. (Romero, 2002).
- * **Oxígeno disuelto OD.** Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida. (Romero, 2002).
- * **Materia orgánica biodegradable.** Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Se mide a los cinco días. (Sawyer, et al 2002)
- * **Materiales oxidables.** Demanda Química de Oxígeno (DQO) Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico (normalmente dicromato potásico en medio ácido). Se determina en tres horas y, en la mayoría de los casos, guarda una buena relación con la DBO, siendo su relación de 2:1. Sin embargo la DQO no diferencia entre materia biodegradable y el resto y no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales. (Sawyer, et al 2002). Algunos compuestos orgánicos, tales como los alcoholes y aminoácidos, no son oxidados por el

dicromato a menos que exista un catalizador; los iones de plata cumplen efectivamente esta función, y, por eso, se adiciona Ag_2SO_4 como catalizador. Las reacciones se pueden representar así:



El ion dicromato es el agente oxidante porque en solución ácida consume electrones y el cromo hexavalente se reduce a cromo trivalente.



- * **Nitrógeno total.** Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización. El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se suele determinar el NTK (Nitrógeno Total Kendahl) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal. El contenido en nitratos y nitritos se da por separado. (Sawyer, 2002)
- * **Fósforo total.** El fósforo, como el nitrógeno, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización. El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico. (Sawyer, 2002).

Los sedimentos y su composición

La composición de un sedimento aporta información sobre los diferentes ambientes de constitución y de sedimentación por los que ha pasado. La combinación de los datos de los análisis químicos y mineralógicos de un sedimento, reflejan la historia del mismo y los parámetros físicos, químicos, biológicos, entre otros, de los diversos procesos que han dado lugar a su formación.

Los sedimentos se pueden clasificar en diferentes tipos y subtipos atendiendo a su origen:

- * **Alógenos.** Son sedimentos cuyos componentes proceden de un lugar distinto al de depósito. En el caso de los sedimentos de un embalse podemos definirlos como aquéllos cuyos componentes se originan fuera del vaso. (Peralta, León 2006)
- * **Endógenos.** Son los sedimentos originados en la propia masa de agua del embalse. Generalmente llegan como dispersiones coloidales o soluciones iónicas. Si en el vaso del embalse se encuentran con condiciones hidrogeoquímicas distintas flocculan o precipitan. (Peralta, 2006)
- * **Autógenos.** Son generados mediante reacciones producidas en el interior del sedimento una vez depositado, y controlados por factores hidroquímicos y físico - químicos. (Peralta, 2006)

Los estudios de calidad ambiental dentro de los cuerpos de agua, tales como en embalses, tienen la finalidad de percibir el riesgo de eutrofización a causa del incremento desmedido bien sea de vertimientos domésticos, industriales y de otro origen, los cuales son aportantes de nutrientes como el Nitrógeno y Fósforo; estos sistemas son ecosistemas artificiales los cuales tienen características propias según la influencia de la calidad de los afluentes. (Peralta, 2006).

Uso y manejo del recurso hídrico. En Colombia existe gran cantidad de fuentes hídricas; desde ríos, lagos, arroyos, riachuelos, lagunas, esteros, caños, cañadas, entre otros. Lo cual hace de este país, uno de los más ricos en cuanto a dicho recurso. Conocer las condiciones físico-químicas de un cuerpo de agua es muy importante desde el punto de vista ambiental, y es un estimativo de sus condiciones de uso adecuado. Cuando se tiene información acerca de características de calidad de una fuente de agua se pueden tomar decisiones de protección y/o conservación de la misma, y, así, lograr mantener el recurso disponible a través del tiempo.

Los recursos hídricos están disponibles y en gran medida depende de los valores cuantificables, de sus condiciones físico-químicas ya que se tiene como referencia organismos como la Organización Mundial de la Salud, nacionalmente se tienen referencias como los decretos 1594/84 y resoluciones como la 2115/07, los cuales hablan de calidad y uso y manejo de los recursos hídricos.

En este caso el embalse de La Copa representa una estabilización de la cuenca alta del río Chicamocha, ya que el embalse por su capacidad amortiguadora genera una utilización del recurso más extendida.

Sus afluentes son cuerpos receptores de agua residual actuando como reactor de transformación de la materia orgánica encontrada allí, además radica su importancia en la actividad económica de la región.

En Colombia, la mayoría de embalses, tienen una influencia directa con la industria energética, llevando una actuación primordial en el desarrollo del país. Sin embargo, no se disimula la utilización pesquera y de abastecimiento de agua que se connota dentro de estos cuerpos de agua.

Estructura de ecosistemas lénticos

Uno de los representantes de los ecosistemas lénticos son los embalses. Un embalse es un medio acuoso retenido o poco renovado cuya profundidad sobrepasa en algunos casos los 10 m. por lo general se le considera un sistema dinámico estando sujeto a la influencia de agentes físicos – químicos y biológicos del ambiente que los circunda (Audersik, 1999).

En un sistema léntico, se puede distinguir las siguientes zonas:

- * ***La Zona Litoral.*** Se localiza en la playa de los embalses o sea en las orillas y es poco profunda, frecuentemente cubierta por plantas de raíz y la luz alcanza a llegar al fondo.
- * ***La Zona Limnética.*** Se encuentra en las aguas abiertas del embalse y cuya profundidad depende de la penetración de la luz (profundidad de penetración efectiva). La actividad fotosintética es muy alta y comienza a descender hasta alcanzar la región profunda determinando, de esta forma, los niveles de compensación, es decir, el límite con la zona profunda.
- * ***La Zona Profunda.*** Comprende el agua localizada entre el nivel de compensación y el fondo del embalse. Su actividad depende de la temperatura y del intercambio gaseoso, especialmente del oxígeno.

- * **La Zona Bentónica.** Corresponde a los sedimentos donde es característico la acumulación de materia orgánica formando un lodo blando capaz de soportar una gran carga de organismos heterótrofos y de operar ciertos mecanismos, principalmente adsorción, para liberar o acumular nutrientes.

Hidrología e hidráulica de los embalses. Los embalses son el lugar en el cual se presenta un almacenamiento hidrológico con fundamentación regional y genera una estabilización de la cuenca natural. El régimen de flujo, la temperatura y sus características físico-químicas, tienen una principal actuación en la estabilidad de los embalses, así como el tiempo de retención hidráulica, ya que de este dependerá la formación de procesos de descomposición de materia orgánica para que tenga eficacia su capacidad de amortiguación. La distribución de sus afluentes en concordancia de su efluente es importante ya que encamina a una utilización regional predominante en las actividades agrícolas.

Hay tres tipos distintos de salida de agua del embalse clasificadas como “alta”, “intermedia” y “baja”. Una salida alta de un embalse implica el mantenimiento de una capa de agua fría por debajo del nivel de dicha salida, ya que siempre estará evacuando el agua superficial más caliente; y por consiguiente habrá más retención de nutrientes y de materia orgánica en descomposición, y con tendencia a una anoxia permanente en el fondo cuya capa será más grande en cuanto más profundo sea el embalse (Roldán, 1992).

Un embalse de salida “intermedia” puede ser ideal para efectos de multipropósito del mismo, ya que el agua evacuada está localizada en un punto en el cual tanto la fotosíntesis como la respiración son bajas; el agua será un poco más caliente ya que podrá presentarse más mezcla entre la superficie y el fondo y la capa de anoxia se reducirá considerablemente.

El tercer tipo de salida de agua del embalse general condiciones más favorables, ya que la retención de sedimentos y nutrientes es baja, pues gran parte de ellos está saliendo permanentemente, la capa anóxica se reduce y tiene la oportunidad de estarse renovando permanentemente, sin embargo los embalses de una retención hidráulica grande (varios meses o aun años) no los beneficia las salidas bajas aunque garantizan un volumen constante para el movimiento de turbinas. Por otra parte, este modelo de salida tendrá temperaturas altas, ya que la capa del fondo, la capa fría, está siendo remplazada por capas superficiales más cálidas (Roldán, 1992).

Físico - química de los embalses

Estas características dependen fundamentalmente de la calidad de sus afluentes, así como de su forma, tiempo de retención hidráulica, tiempo de construcción (edad) y profundidad, ya que las características físico-químicas varían con estas variables.

Los embalses por lo general se construyen en zonas ya intervenidas por el ser humano y sin una adecuación de la zona, lo cual trae una formación de sedimentos y un aporte por escorrentía causada por precipitaciones en la zona, lo cual también modifica sus características físico-químicas. Al igual que su uso en medio de la cuenca (Roldán et al., 2000).

* **Transparencia.** Un método sencillo para medir la extinción de la luz, consiste en medir la profundidad a la cual desaparece un disco blanco de metal de 20 cm. de diámetro, conocido como Disco Secchi. La transparencia de este disco es esencialmente una función de la reflexión de la luz por su superficie y está influenciado por características de absorción del agua y por los materiales suspendidos (Roldán, 1992). La zona eufótica de un lago es aquella distancia a la cual se extingue el 99% de la luz incidente. Esta zona representa la mínima intensidad de la luz que permite la fotosíntesis, la cual se ha calculado que es aproximadamente a 1% de la luz incidente en la superficie (Roldán, 1992). Los lagos Oligotróficos poseen, por lo general, transparencias que varían entre 10 y 20 m. Existen datos en los lagos de Tota y la Cocha en Colombia que presentan transparencias de 11 y 13 m.

* **Color.** El color de un cuerpo está constituido por la luz no absorbida. Así, una columna de agua pura, absorbe todas las longitudes de onda de la luz visible y, por ello, da la transparencia de onda de color negro.

Por lo regular, los lagos altamente productivos o eutróficos presentan colores amarillentos, azul-grisáceo o pardo; los menos productivos y oligotróficos, tienen colores con tendencia a tonos azulados o verdosos (Roldán, 1992)

* **Turbiedad.** La turbiedad por su parte, define el grado de opacidad producido en el agua por la materia particulada suspendida. Ya que el tipo de materiales que contribuyen a la turbiedad

son los responsables del color, la concentración de las sustancias determina la transparencia del agua, puesto que limita la transmisión de la luz en ella. La turbiedad originada en el agua por aporte de materiales externos se denomina alóctona y la producida dentro del mismo cuerpo de agua se designa como autóctona (Roldán, 1992)

- * **Nitrógeno.** Es un elemento de gran importancia sanitaria y ambiental al estar presente en el metabolismo de todas las plantas y animales. Como el Nitrógeno es indispensable para la síntesis de proteínas, es necesario un conocimiento de la cantidad presente en Aguas Residuales Domésticas ARD y Aguas Residuales Industriales ARI que vayan a ser tratadas biológicamente. Si en el proceso biológico este elemento no está presente en las cantidades requeridas, será necesario agregarlo; contrariamente, habrá que limitar sus concentraciones cuando se quiera proteger los recursos hídricos de crecimiento inesperado de algas.
- * **Nitrógeno Total.** Varios compuestos de Nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización. El Nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se suele determinar el NTK (Nitrógeno Total Kendahl) que incluye el Nitrógeno Orgánico y el amoniacal. El contenido en nitratos y nitritos se da por separado (Sawyer, 2002)
- * **Nitrógeno Orgánico.** Todo el Nitrógeno que existe en los compuestos Orgánicos se puede considerar como Nitrógeno Orgánico. Este incluye el de los aminoácidos como las aminas, las amidas, los derivados nitrogenados y muchos otros compuestos. La mayor parte del Nitrógeno Orgánico propio de los residuos domésticos está en forma de proteínas o de productos de su degradación: polipéptido y aminoácidos (Sawyer, 2002). El contenido de Nitrógeno Orgánico de un agua es proporcionado en diferentes grados por aminoácidos, polipéptidos y proteínas, todos productos de procesos biológicos.

En presencia de ácido sulfúrico, sulfato de potasio y el catalizador sulfato mercúrico, el N/ amino de muchos materiales Orgánicos es convertido en bisulfato amónico. Después de que el complejo $Hg - NH_4$ ha sido descompuesto por el tiosulfato de sodio, el amoniaco se destila del medio alcalino y se absorbe en Ácido Bórico. Este amoniaco se determina colorimétricamente, o,

preferiblemente, por titulación con ácido mineral estándar. Los métodos colorimétricos son útiles para la cuantificación del N/Orgánico en niveles mayores de 1 mg/l. El método titrimétrico de medición del NH_3 en el destilado es apropiado para la determinación del N/Orgánico en un rango amplio de concentración, dependiendo del volumen del ácido bórico absorbente usado y de la concentración del ácido titulante estándar (Sawyer, 2002). En el almacenamiento de las muestras, los resultados más dignos de confianza son obtenidos de muestras frescas.

Si no es posible realizar un análisis pronto de una muestra de agua relativamente sin poluir, se debe tomar precauciones para retardar la actividad biológica ya sea almacenando la muestra a bajas temperaturas, preferiblemente cerca del congelador o por la adición de 0.8 ml de H_2SO_4 concentrado. Por cada litro de la muestra que sirve para mantener el balance de Nitrógeno (Sawyer, 2002).

- * **Nitrógeno Amoniacal.** Es un producto de la descomposición microbiológica de proteínas animales y vegetales. Las plantas pueden volverlo a utilizar directamente y se encuentra corrientemente en los fertilizantes comerciales. La presencia de Nitrógeno amoniacal en aguas superficiales no es común e indica contaminación doméstica (Guiset & Duvigneaud, 1981)
- * **Nitritos.** El Nitrógeno como Nitrito ocurre como una etapa intermedia en la descomposición biológica de compuestos que contienen Nitrógeno Orgánico. Bajo condiciones aeróbicas las bacterias formadoras de Nitrito convierten el Amoniacal en Nitritos. La reducción bacteriana de Nitratos puede también producir Nitritos en condiciones anaerobias. Los Nitritos se usan como inhibidores de la corrosión en procesos industriales, en torres de enfriamiento de aguas y como preservativos en la industria de alimentos. Los nitritos no se encuentran con frecuencia en aguas superficiales en las que son rápidamente oxidados a Nitratos, la presencia de grandes cantidades de Nitritos indica desechos orgánicos parcialmente descompuestos (Guiset & Duvigneaud, 1981)
- * **Nitratos.** Representan el estado más completamente oxidado del Nitrógeno comúnmente presente en el agua. Las bacterias formadoras de Nitrato convierten los Nitritos en Nitratos en condiciones aerobias y los rayos convierten grandes cantidades de

Nitrógeno atmosférico (N_2) directamente en Nitratos. Muchos fertilizantes comerciales granulares contienen Nitrógeno en forma de Nitratos. La presencia de estos es común en aguas de comunidades rurales, especialmente si las fuentes de abasto son aljibes. El contenido tiende a ser más alto cuando los aljibes se encuentran cerca de los pozos sépticos o campos de infiltración (Guiset & Duvigneaud, 1981).

- * **Fósforo.** Muchas formas diferentes en las que se encuentra este elemento afectan en gran medida las condiciones medio ambientales de los ecosistemas. Todos los abastecimientos de agua superficiales son base para el crecimiento de organismos acuáticos y su crecimiento está influido en gran medida por la cantidad de elementos fertilizantes en el agua; se ha demostrado que el Nitrógeno y Fósforo son esenciales para el crecimiento de algas y cianobacterias y que la limitación de estos elementos es usualmente el factor que controla su tasa de crecimiento (Sawyer, 2002).

El efecto adverso que tiene el Fósforo (P) en el medio ambiente es similar al causado por el Nitrógeno. Altas concentraciones fomentan el aumento de algas y otros organismos biológicos. Las formas más comunes de Fósforo, que pueden ser utilizadas por los metabolismos biológicos y que son de importancia para el Ingeniero Sanitario, son los Ortofosfatos, Polifosfatos y Fosfatos Orgánicos expresados como PO_4^{3+} , $H_2PO_4^{2-}$. Todas estas formas de fósforo puede ser utilizados por los metabolismos biológicos. El Fósforo se pierde en los sistemas agrícolas por la escorrentía bien en forma soluble o absorbida. Cuando hay erosión las pérdidas suelen estar asociados con las partículas erosionadas del suelo como Fósforo absorbido: este es transportado por la escorrentía hacia los arroyos en forma soluble (Metcalf & Eddy, 1994).

- * **Fósforo total.** El Fósforo, como el Nitrógeno, son nutrientes esenciales para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización de cuerpos de agua. El Fósforo total incluye distintos compuestos como diversos Ortofosfatos, Polifosfatos y Fósforo Orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en Ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico (Metcalf & Eddy, 1994). Este elemento biogénico juega un papel más importante en el metabolismo biológico, que en compara-

ción con los otros nutrientes, el Fósforo es el menos abundante y al mismo tiempo es el factor más limitante en la producción primaria. Actualmente, el hombre también está agregando Fósforo a los ecosistemas acuáticos a través de los fertilizantes y detergentes utilizados en la agricultura y en la industria (Metcalf & Eddy 1994). Desde el punto limnológico, la forma más importante es la de Ortofosfatos pues es la manera como las plantas acuáticas y el fitoplancton pueden absorberlo.

Los fosfatos son extremadamente reactivos e interactúan con muchos cationes para formar, especialmente bajo condiciones oxidantes, compuestos insolubles que se precipitan. Los fosfatos pueden regresar de nuevo y estar disponibles para las algas mediante la absorción de coloides inorgánicos y compuestos particulados como arcillas, carbonatos e hidróxidos (Metcalf & Eddy, 1994). La disponibilidad de los fosfatos en el agua aumenta a pH básicos y disminuye a pH ácidos. En parte, lo anterior explica, por qué los lagos de pH básicos son más productivos que los ácidos.

- * **Absorción de los fosfatos.** El hombre conoce desde hace mucho tiempo los mecanismos a través de los cuales las plantas terrestres toman los nutrientes y los retornan luego al medio mediante la descomposición de la materia orgánica. Recientemente se han realizado numerosas investigaciones que muestran la dinámica de las plantas acuáticas en la toma y el retorno de nutrientes en especial del Fósforo en el agua. Se ha encontrado que el sistema vascular de las plantas acuáticas es muy reducido. La morfología de las hojas de estas plantas revela una gran reducción y aun pérdida completa, se ha encontrado también que las hojas de las plantas acuáticas son responsables de la mayor parte de la absorción de los nutrientes, sirviendo de raíces básicamente de soporte (Metcalf & Eddy, 1994).
- * **Liberación del Fósforo.** En aguas con mucha materia orgánica es frecuente que se forme una capa anóxica con H_2S en solución. En estos ambientes, el ion ferroso (Fe^{++}) reacciona con los sulfuros formando sulfuro de hierro (FeS) el cual es un compuesto muy insoluble. De esta manera los fosfatos quedan libres en la columna de agua. Sería por lo tanto una manera de aumentar la productividad en los embalses, agregar sulfatos en vez de agregar fosfatos. La liberación del fósforo de los sedimentos se puede

acelerar por turbulencia o por el tipo de biota en el existente, la remoción del fondo de los lagos por medios físicos distribuye el Fósforo por toda la columna de agua, poniéndolo a disposición del Fitoplancton, la vegetación también contribuye a tomar el Fósforo de los sedimentos y la columna de agua, incorporándolo en sus células y liberándolo luego al descomponerse su materia vegetal (Metcalf & Eddy, 1994).

Anteriormente se creía que el ciclo del Fósforo se basaba sólo en la simple mineralización de la materia orgánica, que al descomponerse en los sedimentos liberaba el Fósforo y lo ponía así de nuevo a disposición de las algas. Pero la liberación ocurre aun en las capas superficiales de los lagos antes de sedimentarse (Roldán, 1992). El Fosfato está formado principalmente por el Fósforo Orgánico Disuelto, rápidamente descompuesto por los microorganismos y asimilado por el fitoplancton y las plantas acuáticas. Este tipo de rápida asimilación fue llamado circulación de “corto circuito” o ciclo rápido. La otra parte del Fósforo atrapada en los detritos va al sedimento donde es liberado más lentamente, dependiendo de las condiciones químicas del medio, principalmente del Oxígeno y de pH.

* **Oxígeno Disuelto - OD.** Es uno de los gases más importantes en la dinámica y caracterización de los sistemas acuáticos. El Oxígeno llega al agua por difusión de la atmósfera o por fotosíntesis. La difusión del Oxígeno en un ecosistema acuático se lleva a cabo por medio de la circulación y movimientos del agua provocados por la diferencia de densidad de las capas de agua o por los vientos. La solubilidad del Oxígeno en el agua aumenta a medida que disminuye la temperatura, bajo condiciones similares de presión y temperatura, la solubilidad del Oxígeno en el agua es más del doble que la del Nitrógeno y cerca de un tercio de la del Dióxido de Carbono (Roldán, 1992). Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de Oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de Oxígeno Disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida (Roldán, 1992).

* **Distribución del Oxígeno en lagos y embalses.** La zona eutrófica corresponde aproximadamente al epilimnio. En esta zona del lago, se lleva a cabo una fuente de actividad fotosintética favorecida por las altas temperaturas lo que usualmente sobresaatura de Oxígeno el epilimnio, principalmente en las primeras horas de la tarde.

El hipolimnio equivale a su vez a la zona afótica, o sea, aquella a la cual ya no penetran los rayos solares y su contenido de Oxígeno es bajo y ausente. Esta zona se denomina también trofolítica o zona de descomposición de materia orgánica (Roldán 1992).

* **Eutrofización.** Es el proceso de acumulación de nutrientes como Nitrógeno y Fósforo principalmente dentro del embalse. Lo cual radica en problemas como la disminución de Oxígeno Disuelto, en los casos de hidroeléctricas la corrosión de equipos, disminución de diversidad de especies, alta descomposición de materia orgánica, aparición de densas masas de algas y vegetación acuática que impiden el paso de la luz, crecimiento exagerado de biomasa de algas y macrófita, y re suspensión de ciertos metales del sedimento bajo condiciones anóxicas. Convirtiéndose de esta manera en un reactor de transformación de la materia orgánica.

Dicho proceso representa un gran riesgo de estabilidad de estos ecosistemas, ya que controlar el desmedido aporte de material orgánico por parte de los humanos es muy costoso, y el control del proceso igual. Por parte de este proceso y la acumulación de sedimentos se ha afectado también la vida de los seres vivos del ecosistema como los peces y demás usos de estos cuerpos de agua, lo cual constituye una dificultad en el entorno económico de la región ya que su gran estabilidad depende del uso agrícola del embalse, también el aprovechamiento alimenticio por parte de peces.

La abundancia del fitoplancton puede estar influenciada por la disponibilidad de nutrientes, materia orgánica, relación de bacterias, hundimiento, temperatura, niveles de luz, presencia de parásitos y la disponibilidad de Oxígeno en la columna de agua. La variabilidad en la abundancia del fitoplancton en los embalses ha sido relacionada a las variaciones en la concentración de Fósforo y Nitrógeno, determinando que estos nutrientes, con frecuencia limitan el crecimiento de especies en cuanto a la relación entre ellos.

Cuadro 1. Acción de la eutrofización en un cuerpo de agua

<i>EFFECTOS</i>	<i>PROBLEMAS</i>
Disminuye la diversidad de especies al cambiar la biota dominante	Dificulta el problema para obtener agua potable
Incrementa la biomasa vegetal y animal	Es origen de sabor y olor desagradable al agua
Aumenta la turbiedad	Disminuye el valor recreativo de un cuerpo de agua
Acelera el grado de sedimentación acortando la vida del lago	El agua es perjudicial para la salud
	El incremento de la vegetación impide su uso para la navegación
	Puede ocasionar la desaparición de especies comerciales de peces

Fuente: Guiset, A. y Duvigneaud, P. (1981). *La síntesis ecológica*. Madrid. p. 78.

- * **Nutrientes, eutrofia y crecimiento algal.** La eutrofización significa buena nutrición. Las plantas requieren muchos nutrientes como Carbono, Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Los compuestos son llamados micronutrientes. Los micronutrientes se necesitan en pequeñas cantidades y entre ellos están el Hierro, Cobalto, Manganeso, Zinc y Cobre. En la naturaleza, los micronutrientes como el carbono y el Potasio, se encuentran casi siempre en cantidades adecuadas, mientras que las cantidades de Nitrógeno y Fósforo son limitantes de crecimiento. Puesto que el Nitrógeno y el Fósforo están algunas veces en cantidades limitadas, muchos embalses tienden a estar libres de algas y plantas. Sin embargo, debido al uso intensivo de fertilizantes, los cuales son regados sobre la tierra, las aguas de escorrentía cada vez aportan más compuestos de Nitrógeno y Fósforo a los embalses y ríos. Debido a que los embalses presentan velocidades de agua muy bajas, estos son excelentes recipientes para la reproducción biológica y cuando los nutrientes aumentan, son obstruidos con frecuencia por las plantas desarrolladas. Puesto que una célula vegetal en

cierto momento puede tener una necesidad específica por Nitrógeno (N) y Fósforo (P), cualquiera de los dos puede ser limitante para el crecimiento celular. Es decir, cuando el Nitrógeno es el nutriente que limita la tasa de crecimiento vegetal, o sea cuando los otros nutrientes y factores están presentes en exceso, se dice que el Nitrógeno es limitante del crecimiento. Igual sucede con el Fósforo.

- * **Importancia ambiental del Nitrógeno y Fósforo.** Se han realizado diferentes análisis de las diferentes formas de Nitrógeno y Fósforo en aguas potables contaminadas desde que se confirmó que el agua era un vehículo para la transmisión de enfermedades. Desde hace muchísimos años, las determinaciones han servido como base para juzgar la calidad sanitaria del agua. Se piensa que las aguas que contienen principalmente Nitrógeno Amoniacal y Orgánico habían sido recientemente contaminadas y, por lo tanto, tenían un gran potencial de peligro. Estas en las que la mayor parte de Nitrógeno estaba en formas de nitritos y nitratos habían sido contaminadas con mucha anterioridad y, en consecuencia, ofrecían escaso riesgo para la salud pública.

Las aguas con apreciable cantidades de nitritos tenían un carácter altamente cuestionable. (Sawyer 2002). Todos los procesos de tratamiento biológico empleados dependen de la reproducción de los organismos que usan, como lo son los nutrientes Nitrógeno y Fósforo, elementos fertilizantes esenciales para el crecimiento de algas. Con frecuencia el crecimiento es estimulado de manera inconveniente en aguas que reciben afluentes tratados o no tratados. Los análisis de Fósforo y Nitrógeno son un medio importante para obtener información sobre el problema.

- * **Relación Nitrógeno - Fósforo.** Cuando la relación N: P está en el rango de 5 a 10 en peso, se dice que el crecimiento no está limitado ni por el Nitrógeno ni por el Fósforo. Sin embargo, en este rango, el crecimiento puede estar limitado por el Nitrógeno y Fósforo conjuntamente si ambas concentraciones son muy bajas.

Cuando la relación de N: P es mayor a 10, el Fósforo tiende a ser el limitante y cuando la relación N: P es menor de 5, el Nitrógeno tiende a ser el limitante.

La clasificación de los estados tróficos es la siguiente:

- * **Oligotrófico.** Embalse pobre en nutrientes para plantas. La parte superior de un embalse oligotrófico presenta niveles estables de Oxígeno tanto en su parte superficial como en su parte inferior.
- * **Eutrófico.** Embalse muy rico en nutrientes para plantas. La parte superior de un embalse eutrófico presenta niveles altos de Oxígeno aportado por las algas, pero la parte inferior es deficiente en Oxígeno.
- * **Mesotrófico.** Embalse que está entre los estados oligotrófico y eutrófico.

Clasificación de los lagos con base en la concentración de Fósforo y compuestos nitrogenados (Roldán, 1992).

Vollenweider (1968) presenta dos clasificaciones de los lagos de acuerdo con el contenido de amoníaco, nitritos y nitratos. Aparte propuso una clasificación con base a la concentración de Fósforo Total las cuales se pueden evidenciar en los siguientes cuadros.

Cuadro 2. Clasificación de lagos según sus concentraciones de compuestos nitrogenados

TIPO DE LAGO	AMONÍACO (MG/L)	NITRATOS (MG/L)	NITRITOS (MG/L)
Oligotrófico	0,0-0,3	0,0-1,0	0,0-0,5
Mesotrófico	0,3-2,0	1,0-5,0	0,5-5,0
Eutrófico	2,0-15,0	5,0-50,0	5,0-15,0

Fuente: Roldán, G. (1992). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Medellín: Universidad de Antioquia, p. 310

Cuadro 3. Clasificación de Lagos según su concentración de Fósforo Total

ESTADO TRÓFICO	FÓSFORO TOTAL (MG/L)
Ultraoligotrófico	<0,005
Oligomesotrófico	0,005-0,010

ESTADO TRÓFICO	FÓSFORO TOTAL (MG/L)
Mesoeutrófico	0,010-0,030
Eupolitrófico	0,030-0,1
Politrófico	>0,1

Fuente: Roldán, G. (1992). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Medellín: Universidad de Antioquia, p. 321

- * **Productividad en cuerpos de agua lénticos.** Los anteriores factores determinan la cantidad de producción que tiene un ecosistema léntico. Esto ha permitido establecer los extremos para esa productividad como lo son los embalses oligotróficos y embalses eutróficos. Un ecosistema es oligotrófico cuando es profundo (más de 50m), pobre en nutrientes por lo que su productividad primaria es baja y hay una mineralización muy rápida. La cantidad total de materia viva producida y que muere rápidamente es descompuesta y reincorporada al ciclo por lo que no hay formación de lodos Orgánicos. Su vegetación acuática superior (la que vive en la zona litoral) es escasa debido a lo escarpado de sus márgenes; sus aguas son claras, azules o azul verdosas, pobres en sales de Nitrógeno y Fósforo lo mismos que en plancton, pero son muy ricos en Oxígeno incluso a gran profundidad. Son aptos para el desarrollo de peces como los salmónidos (trucha) y son punto de atracción para los turistas y bañistas debido a la pureza y transparencia de sus aguas.

Un ecosistema es eutrófico al ser poco profundo (menos de 50 m), posee suficientes nutrientes por lo que su producción primaria es elevada y la mineralización de la materia orgánica residual es baja manteniendo el fondo cubierto con un sedimento de carácter orgánico fácilmente putrescible. En épocas cálidas el nivel de Oxígeno Disuelto disminuye hasta agotarse, creándose condiciones anóxicas, liberando gases como Dióxido de Carbono, Amoníaco y Ácido Sulfhídrico, si hay metales el lodo adquiere un color negro debido a la precipitación de los sulfuros correspondientes. Podemos establecer que todo embalse inicia su vida como oligotrófico y luego con el paso del tiempo va madurando hacia eutrófico, presentando cambios sucesivos dependiendo del grado de ingreso de nutrientes y de su productividad (Guiset & Duvigneaud, 1981)

- * **Índices de contaminación específica.** Como una aplicación a algunos cuerpos de agua del territorio nacional a partir de correlacionar las variables de calidad de agua observadas con los contaminantes específicos, Ramírez, Restrepo y Viña, 1979, definieron los índices ICOMO, ICOTRO, ICOMI e ICOSUS, los cuales en su orden relacionan con la contaminación orgánica, contaminación trófica, contaminación por mineralización y contaminación por Sólidos suspendidos. Estos índices tienen, sin embargo, sus valores de referencia ligados a estándares de zonas templadas; pueden utilizarse como indicativo de calidad del agua dando mayor peso a la contaminación específica que afecte de manera más especial el uso predominante del recurso (Ramírez, 1998).
- * **Índice de contaminación trófico.** El índice de contaminación trófico (ICOTRO) se determina por la concentración del Fósforo Total. El ICOTRO se fundamenta en la concentración de Fósforo Total, la concentración de Fósforo define por sí mismo una categoría discreta como se muestra en el cuadro 4 (Ramírez, 1998)

Cuadro 4. Índice de contaminación Trófico (ICOTRO)

<i>ICOTRO</i>	<i>FÓSFORO TOTAL (MG/L)</i>
Oligotrófico	<0,01
Mesotrófico	0,01-0,02
Eutrófico	0,02-1,00
Hipereutrofia	> 1,00

Fuente: Ramírez & Viña-Vizcaino. (1998). *Limnología Colombiana Bogotá. Universidad Jorge Tadeo Lozano. p. 72*

En la actualidad no existe en Colombia una normatividad específica para la conservación, protección y manejo de los embalses, encontrándose sólo en el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente, algunos aspectos relacionados con el aprovechamiento de las aguas superficiales y subterráneas, dominio de las aguas y sus cauces y de los modos de adquirir derecho al uso de las aguas.

Ley 99 de 1993

- * **Artículo 5, numeral 24.** Establece la responsabilidad del Ministerio del Medio Ambiente en relación con los humedales, y establece que: le corresponde regular las condiciones de conservación y manejo de ciénagas, pantanos, lagos, lagunas y demás ecosistemas hídricos continentales.
- * **Artículo 116, numeral g.** Establecer un régimen de incentivos, que incluya incentivos económicos, para el adecuado uso y aprovechamiento del medio ambiente y de los recursos naturales renovables y para la recuperación y conservación de ecosistemas por parte de propietarios privados.

Decreto 1594 de 1984

Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

Decreto 1729 de 2002, artículo 5

Medidas de protección. Aprobado un plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica, la respectiva autoridad ambiental competente o la comisión conjunta de que trata el parágrafo 3° del artículo 33 de la Ley 99 de 1993, según el caso, deberá adoptar en la cuenca las medidas de conservación y protección de los recursos naturales renovables, previstas en dicho plan, en desarrollo de lo cual podrá restringir o modificar las prácticas de su aprovechamiento y establecer controles o límites a las actividades que se realicen en la cuenca.

Decreto 302 de 2000

Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, en materia de prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado.

Decreto 421 de 2000

En relación con las organizaciones autorizadas para prestar los servicios públicos de agua potable y saneamiento básico en municipios menores, zonas rurales y áreas urbanas específicas.

Decreto 1575 de 2007

Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

Resolución 2115 de 2007

Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

ZONA DE ESTUDIO

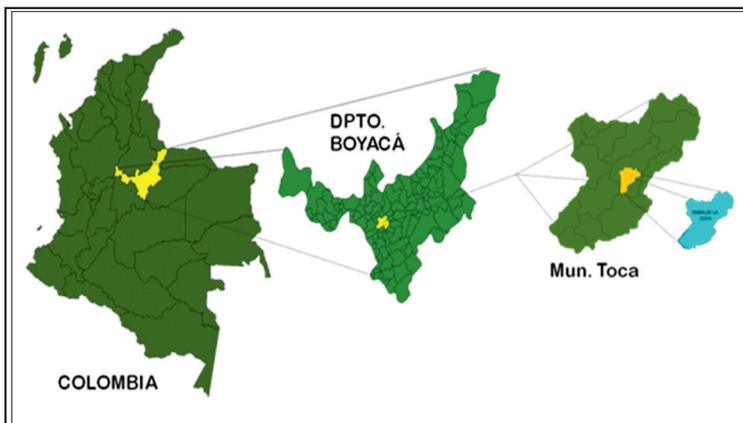
El municipio de Toca se encuentra situado en la base de unas colinas, que simulan una especie de herradura. Hacia el norte se extiende un espléndido y pintoresco valle.

Toca es un municipio de suelos fértiles y privilegiados, aptos para múltiples labores agropecuarias. Bañan su territorio tres corrientes de agua, cuyo caudal disminuye en épocas de verano. El río San Francisco, que nace en Pantano Colorado, en el Municipio de Siachoque, el río Toca, que nace en el cerro de Tibamosa y el río Chorrera. Una vez reunidos siguen hacia el norte, pasan cerca de la población de Tuta y se confunden con el río de Piedras, y con las cabeceras del Chicamocha o Sogamoso. Algunas quebradas de importancia, fortalecen los recursos hidrográficos del municipio: Puente Tierra, Tuaneca, Chorroblanco, Raiba, La Colorada y La Leonera. (Toca, Alcaldía Municipal, 2009)

Límites del Municipio. Limita por el norte, con Tuta; por el sur, con Siachoque; por el oriente, con Pesca y por el occidente, con Tuta y Chivatá.

- * Extensión total: 165 Km²
- * Altitud de la cabecera municipal: 2700 m.s.n.m
- * Temperatura media: 13 °C

Figura 1. Localización municipio de Toca (Boyacá)



Fuente: Autores

Características generales de la cuenca alta del río Chicamocha

Área de la cuenca. 214.000 Has. (Aproximadamente).

Cabeceras municipales. Tunja, Soracá, Motavita, Chivatá, Cóbbita, Oicatá, Siachoque, Toca, Tuta, Sotaquirá, Paipa, Duitama, Santa Rosa, Tibasosa, Firavitoba, Pesca, Iza, Nobsa, Tota, Cuítiva y Sogamoso. (380.730 hab. (urbanos) y 517.089 Hab. en total). Principales corrientes de agua: Jordán, Piedras, Cormechoque, Siachoque, Tuta, Sotaquirá, Salitre, Pesca, Chiquito, Surba, El Hato y Chiticuy. Principales almacenamientos de agua: Embalse La Copa, Embalse La Playa y otros (Corpoboyacá, 2006).

Características generales del embalse La Copa. El embalse de La Copa, se localiza en el municipio de Toca, departamento de Boyacá, a 2.660 msnm, correspondiente al piso frío montano bajo, en la escala de Holdridge (1978). Tiene una superficie de 840 hectáreas y un volumen aproximado de 70 millones de metros cúbicos. Su profundidad máxima es de unos 20 metros frente a la presa de contención.

El proceso de llenado se inició en abril de 1990 y alcanzó su máximo nivel aproximadamente 6 meses después.

Topográficamente la zona inundada está conformada por ladera suavemente inclinada y valle. Esta área estuvo dedicada a la actividad agrícola y pecuaria por ser considerada zona de suelos fértiles, con una vegetación escasa y dispersa.

Al embalse confluyen los ríos La Chorrera y San Francisco, los cuales aportan grandes caudales en épocas de lluvias, pero se secan durante los periodos secos, en razón a que sus cuencas hidrográficas están desprotegidas.

La mayor parte del área periférica al embalse, está dedicada a la actividad agrícola. Hacia el costado nor-oriental se presentan superficies más quebradas, inclinadas y erosionadas, cubiertas por pequeños reductos de bosques arbustivos nativos.

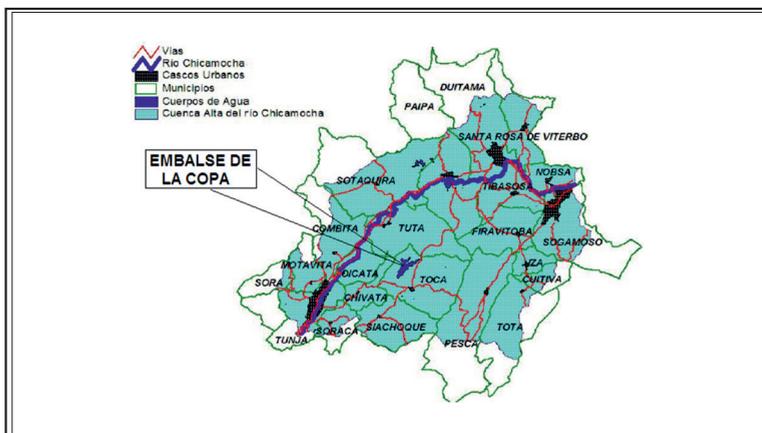
La presa de contención se sitúa en el costado norte, junto a la válvula de salida sobre el cauce del río Tuta, afluente importante del río Chicamocha (Camacho y Ruiz, 1994).

Cuadro 5. Características generales del embalse La Copa

CARACTERÍSTICAS EMBALSE	
Altitud (msnm)	2,66
Fecha de cierre de dique	1990
Área de superficie (ha)	840
Profundidad máxima (m)	20
Volumen total aprox. (Mm ³)	70
Longitud máxima (km)	1,97
Anchura máxima (km)	0,6
Perímetro de costa (km)	20
Descarga aprox (m ³ /s)	10
Principales afluentes	Río Toca, Río San Francisco y Río La Chorrera
Ríos efluentes	Río Grande o Tuta

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. (1993).

Figura 2. Localización embalse La Copa, municipio Toca (Boyacá)



Fuente: Corpoboyacá, 2006.

Figura 3. Embalse La Copa municipio Toca (Boyacá)



CARACTERÍSTICAS

CARACTERÍSTICAS HIDROCLIMÁTICAS DEL EMBALSE

La zona de estudio se caracteriza por presentar un régimen climático bimodal siendo los períodos máximos de lluvia los meses de abril a mayo; octubre a noviembre.

A continuación se presenta la información de precipitación, temperatura y evaporación de la estación La Copa (Cuadro 6) del IDEAM, desde el año 1992 hasta 2009, los parámetros permiten establecer algunas variaciones de los factores climáticos.

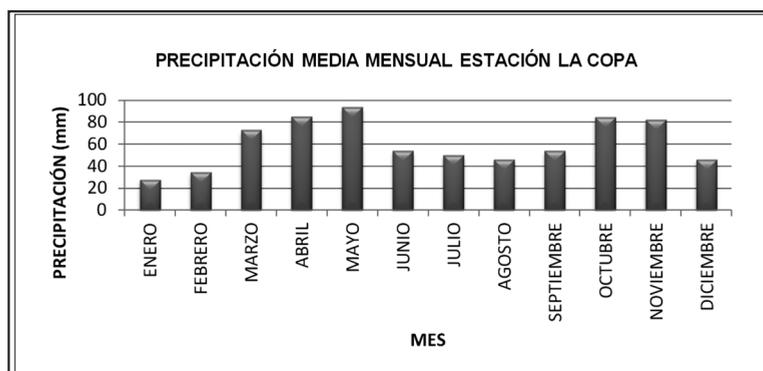
Cuadro 6. Estación climatológica de La Copa

CÓDIGO	LATITUD	LONGITUD	ALTURA	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	CORRIENTE
2403504	05°34N	73°12W	2700 msnm	Boyacá	Toca	Tuta

Fuente: IDEAM.

- * **Precipitación.** El valor promedio multianual de la precipitación es de 733 mm y el valor de registro máximo corresponde al mes de mayo, siendo del orden de 94 mm, el valor mínimo se presenta en el mes de enero de 27.9 mm. (Figura 4).

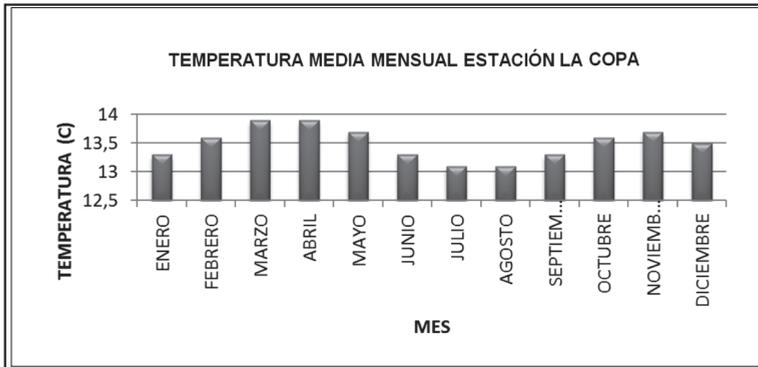
Figura 4. Histograma de precipitación Estación La Copa



Fuente: IDEAM.

- * **Temperatura.** El valor medio anual de temperatura para la estación La Copa es de 13.5 °C y el valor máximo corresponde a los meses de marzo y abril con 13.9 °C. Los registros mínimos se presentan en los meses de julio y agosto con un valor de 13.1 °C (Figura 5)

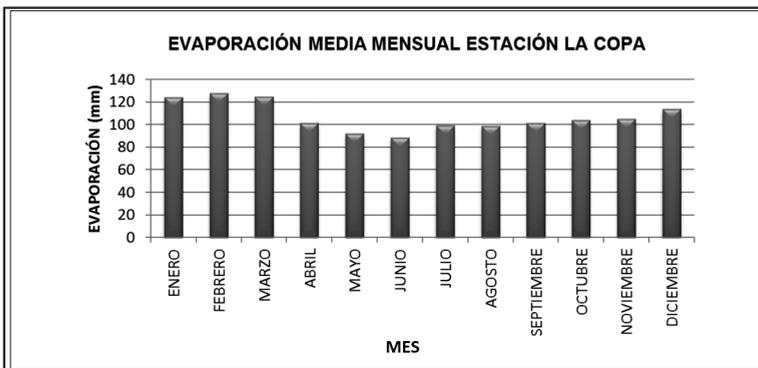
Figura 5. Temperatura Estación La Copa



Fuente: IDEAM

- * **Evaporación.** El valor medio anual de evaporación para esta estación La Copa es de 1282.4 mm y el valor de registro máximo corresponde al mes de febrero con una evaporación de 127.9 mm. El registro mínimo se presenta en el mes de junio con un valor de 88.7 mm. (Ver Figura 6).

Figura 6. Evaporación Estación La Copa



Fuente: IDEAM

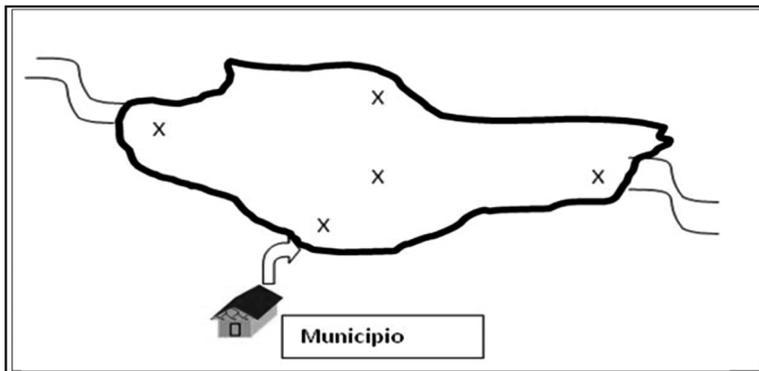
CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA

Se empleó el método analítico como principal herramienta de interpretación de los estudios físicos, químicos y biológicos de los muestreos realizados en el embalse con el fin de determinar su condición trófica.

Metodología empleada para caracterización fisicoquímica

Diagnóstico del sistema. Se realizó una caracterización fisicoquímica del sistema, en donde se comparó la evolución que ha tenido el embalse respecto a los parámetros registrados en estudios anteriores con los datos obtenidos actualmente. En un sistema léntico como lo es el Embalse de La Copa, es importante localizar puntos de muestreo en proximidades a los afluentes, así como a lo largo de los gradientes que éstos generan. Los muestreos se realizaron en diferentes condiciones climáticas; por consiguiente se realizó por un período de tiempo de 6 meses en los dos períodos de estacionalidad pluviométrica.

Figura 7. Ubicación de puntos de muestreo sobre cuerpos lénticos.



Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2006). *Guía para formulación del plan de saneamiento y manejo de vertimientos*. Bogotá: CAR.

Este diagnóstico se basó en la información obtenida mediante la realización de eventos de muestreo en los cuales se tomaron muestras puntuales en los tres afluentes principales que llegan al embalse, estos afluentes son: El río San Francisco, el río Toca, y la Quebrada La Chorrera. Dentro del embalse propiamente dicho, se realizaron tomas de muestras correspondientes a tres puntos cada uno de ellos ubicados

a 500 metros del sitio de descarga de cada uno de los afluentes del embalse tanto en la columna de agua como en los sedimentos del mismo; en la columna de agua se tomaron tres muestras, una superficial y dos a profundidad (6 m y 12 m).

Toma de muestra en la columna de agua. El objetivo primordial del muestreo en la columna de agua es obtener una parte representativa del material bajo estudio; se hizo la toma de muestras de forma puntual, la cual representa la composición del cuerpo de agua original para el lugar; tiempo y circunstancias particulares en las que se realizó su captación (IDEAM, 2007).

Cuadro 7. Métodos de muestreo de las variables Físico-Químicas en estudio

ANÁLISIS	FACTOR	MÉTODO DE DETERMINACIÓN
Físico	Turbidez	Nefelométrico
	Color	Comparación por K_2PtCl_6
	Conductividad	Electrométrico
	Sólidos	Gravimétricos
Químico	Alcalinidad	Por Fenolftaleína
	Acidez	Por Fenolftaleína
	Dureza	Volumétrico con EDTA
	Nitritos	Griess-Ilosvay.
	Nitratos	Ácido fenoldisulfónico.
	N Orgánico	Keldahl.
	Amoniaco	Nesslerización directa
	Fósforo	Colorimétrico
	Sulfatos	Turbidimétrico
	Oxígeno disuelto	Winkler

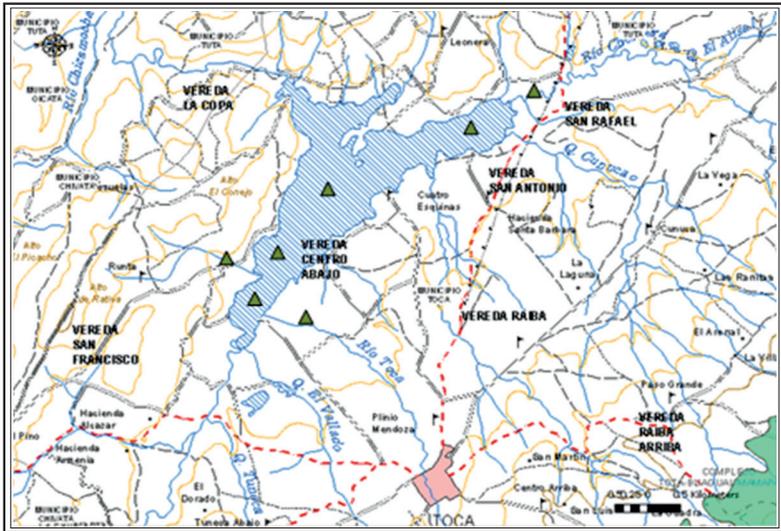
Fuente: Los autores

Monitoreo o seguimiento del sistema. Se realizó muestreos puntuales durante 6 meses, con una periodicidad de 1 cada mes. Los puntos establecidos para realizar dichos muestreos fueron los siguientes: en

el embalse se tomó muestras a 500 metros del sitio de descarga de cada uno de los afluentes (3) y centro del embalse a diferentes perfiles de profundidad de la columna de agua. En estos puntos se tomó muestras tanto del sedimento como de la columna de agua. En los sitios donde se realizó el muestreo se colocaron boyas debidamente geo-referenciadas para indicar los puntos exactos en donde se debe realizar la toma de muestras para así darle mayor precisión a dichos eventos de muestreo.

En los afluentes se realizaron muestreos puntuales como en su efluente durante el mismo tiempo del estudio (6 meses), con la misma periodicidad (1 mensual).

Figura 8. Ubicación geográfica de Puntos de Muestreo



Fuente: Embalse La copa. [En línea]. [s.p.i.]. [Citado el 02-08-09]. Disponible en: <http://earth.google.com/>, modificada por los autores.

Muestras cualitativas. Para la comunidad fitoplanctónica se realizó arrastres superficiales horizontales y oblicuos con una red para plancton de diámetro de poro de $0.25 \mu\text{m}$. Las muestras se fijaron con solución Transeau en proporción 1:1 (Sant' Anna, 1984).

Muestras cuantitativas. Se realizó un muestreo vertical a diferentes profundidades, según lo recomendado por Donato (1999), teniendo en cuenta los puntos definidos para los muestreos físico-químicos, tomando muestras con una botella horizontal tipo Van Dorn de 2.3 litros de capacidad. Para fitoplancton se tomaron 100 ml de muestra del total del volumen de la botella; las profundidades muestreadas fueron 0.50 m, 6 m y 24 m, respectivamente.

Análisis de muestras biológicas. Para el registro cualitativo de fitoplancton se tomaron alícuotas de las muestras y se colocaron en un portaobjetos, luego se observaron bajo microscopio para la respectiva identificación, además se referenciaron algunas medidas para la clasificación de morfoespecies con un ocular micrométrico. Esta determinación taxonómica del fitoplancton se llevó a cabo en el laboratorio de biología de la Universidad de Boyacá mediante el uso de claves especializadas: Parra et al., (1982), Maidana (1995), Krauter y Streble (1987), Comas (1996), Tell y Mosto (1982) y Sant' Ana (1984).

Para el análisis de las muestras cuantitativas de fitoplancton se empleó el método de área, sedimentando un volumen de 50 mL y homogeneizando la muestra, teniendo en cuenta el Método de Utermöhl (Vicente, 2005).

Las muestras bacteriológicas se estudiaron mediante métodos enzimáticos por sustrato definido, según lo propuesto en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, sección 9211. Para la identificación de los géneros se realizó un aislamiento en medios selectivos y pruebas bioquímicas IMVIC + TSI. Posteriormente se verificó en tablas para identificación de microorganismos propuesta por Koneman (1997).

Toma de muestras de aguas para análisis microbiológico

Para obtener una muestra representativa del agua y poder determinar a partir de ella su calidad microbiológica, la toma debe respetar la composición microbiana del agua captada.

En el análisis bacteriológico del agua, se tomó una muestra simple, de modo que la muestra para el laboratorio correspondió al punto de muestreo.

Material. El material empleado correspondió a frascos de vidrio neutro de 250 ml, con rosca, esterilizados en autoclave a 120 °C durante treinta minutos.

Volumen de la muestra. El volumen a tomar debe ser el adecuado para que en una sola muestra se puedan efectuar simultáneamente la totalidad de los análisis bacteriológicos y estará en función de la técnica analítica a utilizar. Para el análisis se tomaron, 250 ml de agua.

Bacterias aerobias

Son todas las bacterias heterótrofas, aerobias y anaerobias facultativas, mesófilas y psicotróficas capaces de crecer en un medio de agar nutritivo. Se basa en contar el número de colonias desarrolladas en una caja de medio de cultivo sólido, al que se ha sembrado un volumen conocido de agua, transcurrido un tiempo y una temperatura de incubación determinados (Koneman, 1997). Para Bacterias aerobias a 37 °C. Se siguió el siguiente procedimiento:

- * Se tomaron tantos tubos de medio de cultivo como placas se vayan a emplear.

- * Fundir totalmente el medio, colocando los tubos en baño maría. Dejar a temperatura de 45 °C, aproximadamente. Homogeneizar perfectamente la muestra de agua, agitando el frasco repetidas veces. Mediante pipeta estéril, depositar en placa de Petri 1 ml del agua a analizar. Tener en cuenta lo siguiente:
- * Si se han efectuado diluciones se procederá del mismo modo con cada una de ellas.
- * En vez de la dilución 1/10, podrá sembrarse directamente 0,1 ml del agua problema.
- * Verter el medio contenido en cada tubo, manteniendo a 45 °C, sobre el agua depositada en cada una de las placas de Petri.
- * Agitar suavemente mediante movimientos circulares y de traslación para homogeneizar la mezcla, sin dejar de apoyarlas sobre la mesa de trabajo.
- * La agitación debe prolongarse, aproximadamente, un minuto, procurando no mojar los bordes ni la tapa de la placa.
- * El tiempo transcurrido desde que se deposita el agua en la placa hasta que se agrega el medio no debe ser superior a diez minutos.
- * Dejar solidificar, invertir las placas y colocarlas a incubar a 37 ± 1 °C durante cuarenta y ocho horas.

Lectura y expresión de resultados.

Transcurridas cuarenta y ocho horas, contar todas las colonias desarrolladas en cada placa. Para facilitar el recuento se recomienda utilizar una lupa o una cámara cuenta-colonias o cualquier sistema que proporcione iluminación y amplificación suficiente.

- * Si se ha sembrado más de una placa se seleccionará la que contenga entre 30 y 300 colonias, descartando las demás.
- * El recuento no se efectuará en placas que contengan menos de 30 colonias, excepto en el caso de aquellas sembradas con agua sin diluir.
- * En caso de que todas las placas sembradas contengan más de 300 colonias el resultado se dará como aproximado.
- * El resultado se expresará como número de bacterias aerobias totales en 1 ml en cuarenta y ocho horas a 37 °C.

Bacterias coliformes

Coliformes totales. Son aquellas bacterias de morfología bacilar. Gram negativas, aerobias o anaerobias facultativas, oxidasa negativa, no esporógenas, que fermentan la lactosa con producción de ácido y de gas a 37 °C en un tiempo máximo de cuarenta y ocho horas.

Este grupo comprende los géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter*, perteneciente a la familia Enterobacteriáceas.

Coliformes fecales. Bacterias coliformes de origen fecal son aquellas comprendidas en el grupo anterior, que además son capaces de fermentar la lactosa con producción de ácido y de gas a 44 °C, en un tiempo máximo de veinticuatro horas.

Método de los tubos múltiples (NMP número más probable)

Este método podrá utilizarse para cualquier tipo de agua. El medio de cultivo empleado fue caldo EC-MUG® de Oxoid.

Esta técnica se basa en la determinación del número de coliformes mediante siembra de distintos volúmenes del agua a analizar en series de tubos conteniendo medio de cultivo líquido lactosado y resiembra en medios de cultivo selectivos con incubación a temperaturas adecuadas.

FISICOQUÍMICO

Se presentan los resultados de los eventos de muestreo, con los respectivos análisis, realizando una comparación entre ellos. El período en el cual se realizó el estudio corresponde a dos condiciones ambientales características como son de alta precipitación (1, 2 y 6) y temporada seca (3, 4 y 5). A continuación se muestra la denominación de los eventos de muestreos y su correspondiente fecha.

Cuadro 8. Denominación de las fechas de muestreos

MUESTREO	FECHA
1	Jueves, 28 de Mayo de 2009
2	Jueves, 25 de Junio de 2009
3	Jueves, 28 de Enero de 2010
4	Jueves, 25 de Febrero de 2010
5	Jueves, 25 de Marzo de 2010
6	Jueves, 22 de Abril de 2010

Fuente: Los autores

Cuadro 9. Georreferenciación de puntos de muestreo.

PUNTO DE MUESTREO	GEOREFERENCIACIÓN	
Quebrada La Chorrera	Este: 1'100,816 Norte: 1'113,683	msnm: 2696
San Francisco	Este: 1'095,348 Norte: 1'108,229	msnm: 2691
Río Toca	Este: 1'097,384 Norte: 1'109,551	msnm: 2706
Río Tuta	Este: 1'096,321 Norte: 1'113.840	msnm: 2669

Fuente: Los autores

Análisis físico-químico del embalse

Las propiedades físico-químicas de los embalses dependen en gran parte de las características de los afluentes que alimentan estos reservorios. Estos cuerpos de agua representan gran relevancia para diversas actividades; sin embargo el desconocimiento de procesos físicos, químicos, biológicos, y así como la ausencia de proyectos para su manejo y/o conservación ha provocado en la mayoría de los casos un deterioro acelerado.

Por tal razón, se muestra a continuación, los aspectos de tipo físico-químico de gran importancia para el embalse de La Copa puesto que desde su creación no han sido monitoreados. Los parámetros estudiados corresponden a aquellos que pueden dar una visión global de las características del embalse, su evolución y estado actual tanto dentro del embalse como el comportamiento de afluentes y efluente durante la época de estudio. Los afluentes principales que alimentan el embalse son considerados como corrientes intermitentes las cuales reciben agua de escorrentía superficial y pueden secarse durante un período de sequía (Roldán, 1992.)

Respecto al pH, se puede decir que es un parámetro que está íntimamente relacionado con el comportamiento físico-químico del embalse, es de vital importancia la determinación y seguimiento de éste.

Cuadro 10. Variación del pH en los afluentes y efluente del embalse

<i>AFLUENTES Y EFLUENTE</i>				
<i>PUNTO</i>	<i>Río San Francisco</i>	<i>Río Toca</i>	<i>Río Chorrera</i>	<i>Río Tuta</i>
<i>PARÁMETRO</i>	<i>pH</i>	<i>pH</i>	<i>pH</i>	<i>pH</i>
<i>MUESTREO</i>				
1	8,9	8,7	6,4	8,5
2	6,4	7,2	6,3	6,3
3	6,8		6,7	7,3
4	7,3		6,3	7,5
5	7,1		6,9	7,5
6	7,1	6,1	6,3	6,8

<i>AFLUENTES Y EFLUENTE</i>				
PUNTO	<i>Río San Francisco</i>	<i>Río Toca</i>	<i>Río Chorrera</i>	<i>Río Tuta</i>
PARÁMETRO	<i>pH</i>	<i>pH</i>	<i>pH</i>	<i>pH</i>
MUESTREO				
PROMEDIO	7,3	7,3	6,5	7,3
MÁXIMO	8,9	8,7	6,9	8,5
MÍNIMO	6,4	6,1	6,3	6,3
DESV. STAND	0,846	1,343	0,247	0,735

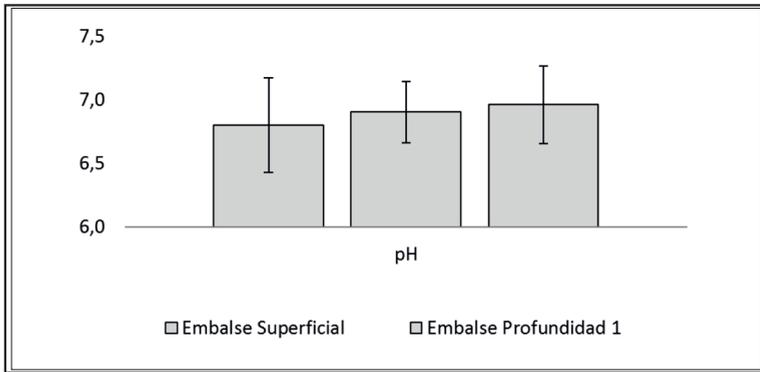
Fuente: Los autores

La variación promedio del pH oscila entre 6.4 y 7.3 en los afluentes correspondiente mientras que su valor promedio en el efluente (río Tuta) es de 7.3, lo que indica que estos valores se sitúan en el rango considerado como neutro. Durante los eventos de muestreo (3, 4 y 5) el río Toca no registra valores de pH debido a que presento condiciones extremas de sequía lo que impidió la realización de este parámetro.

En el cuadro 10, se evidencia unas pequeñas fluctuaciones durante el período de estudio. Sin embargo, este parámetro se mantiene dentro del rango de neutralidad. Así mismo, el comportamiento se presenta en las desembocaduras de los afluentes en el embalse propiamente dicho con valores promedios entre 6.2 y 7.5, presentándose esta misma característica en las diferentes profundidades.

En la figura 9, se aprecia los valores del pH durante los seis eventos de muestreo en las diferentes profundidades, observándose que este parámetro se encuentra entre el rango considerado para la neutralidad, con unos valores entre 6.7 y 6.9. Igualmente se observa que en el estrato superficial del embalse presenta valores más bajos respecto a los registrados en las otras dos profundidades, aunque las diferencias no fueron muy grandes durante el período de estudio.

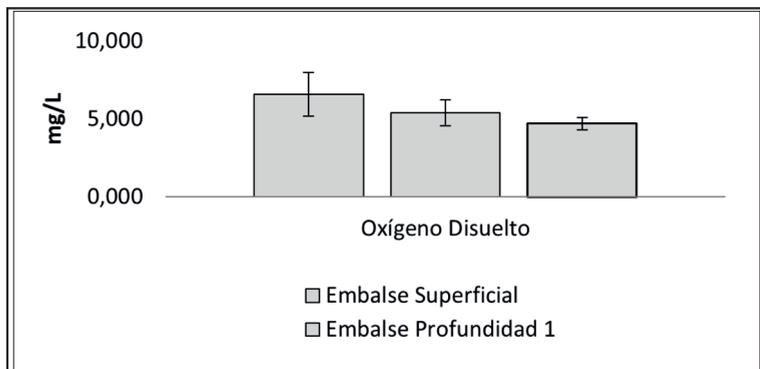
Figura 9. Variación del pH en los diferentes estratos y períodos de muestreo para el centro del embalse



Fuente: Los autores

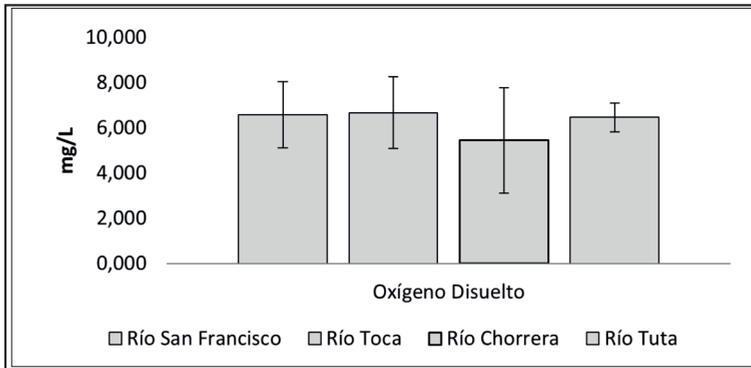
Oxígeno Disuelto. Los ecosistemas acuáticos necesitan de oxígeno para la supervivencia, y, por ende, el desarrollo de los procesos metabólicos; es por esto que es de gran importancia determinar este parámetro para tener un estimativo de la calidad de agua de los afluentes que alimentan el embalse.

Figura 10. Registro del Oxígeno Disuelto en los diferentes estratos y períodos de muestreo para el centro del embalse



Fuente: Los autores

Figura 11. Registro del Oxígeno Disuelto en los diferentes estratos y períodos de muestreo para los afluentes y efluente

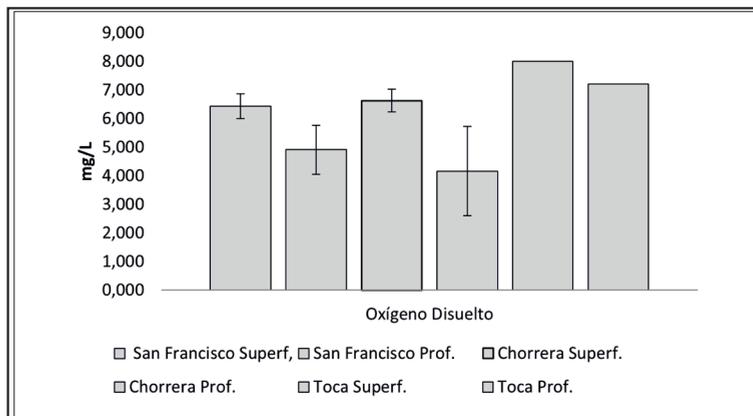


Fuente: Autores

El Oxígeno Disuelto en los afluentes del embalse presentó (figura 11) unos valores promedio entre 5.4 y 6.6 mg/L los cuales pueden ser considerados como buenos indicadores de la calidad del agua. Así mismo en el afluente presenta valores de 6.4 mg/L, se debe apreciar que durante los meses de sequía el Oxígeno Disuelto muestra una disminución considerable respecto a los valores reportados en los meses de lluvia.

En la figura 11, se puede observar claramente el comportamiento que tiene el Oxígeno Disuelto frente a los diferentes eventos de muestreo, en donde las concentraciones de éste se ven disminuidas en los muestreos 3, 4, 5 en donde se presentó un período de sequía, con respecto a los eventos 1, 5 y 6 que corresponde a la época de lluvia.

Figura 12. Perfil de distribución del Oxígeno Disuelto en los afluentes del embalse



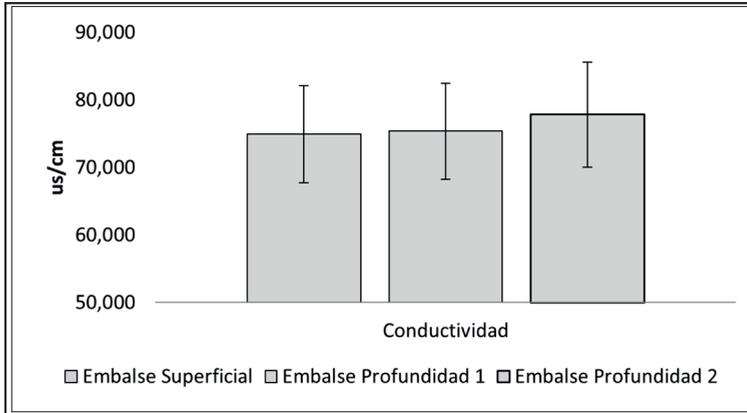
Fuente: Los autores

La concentración de Oxígeno Disuelto muestra una disminución apreciable con respecto a la profundidad, independiente de la época en la cual se realizó el estudio, sin agotarse completamente (4.69 mg/L, mínimo promedio registrado), lo que muestra una tendencia decreciente desde la superficie al fondo.

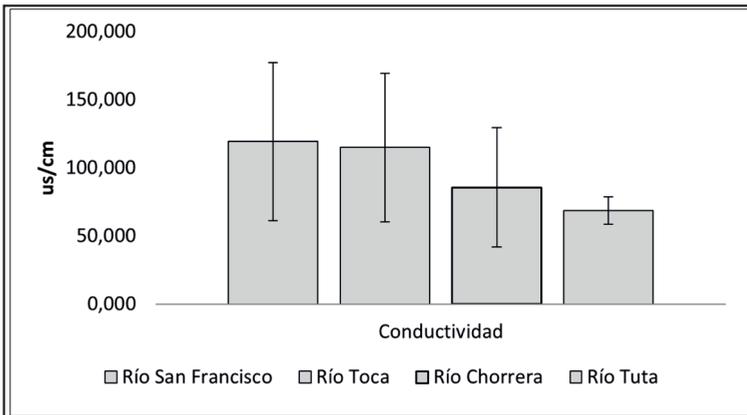
Conductividad. La concentración de sustancias disueltas ionizadas en el agua determina la conductividad de la misma. La Conductividad es un estimativo rápido del contenido de Sólidos Disueltos presentes en el agua. Es por esta razón que es de suma importancia evaluar este parámetro dentro del análisis químico.

Figura 13. Registro de la Conductividad en el centro del embalse (A) y los afluentes, efluente (B)

A



B



Fuente: Los autores

El comportamiento de los valores de Conductividad en los afluentes se mantiene en un rango promedio entre 85 y 120 $\mu\text{s}/\text{cm}$. El río San Francisco y el río Toca presentan valores elevados con respecto al río Chorrera lo que evidencia un posible aumento de sustancias disueltas ionizadas en el agua proveniente del arrastre de sedimentos. En el río Tuta (efluente) este valor disminuye notablemente a 65 $\mu\text{s}/\text{cm}$ lo cual indica baja cantidad de Sólidos Disueltos.

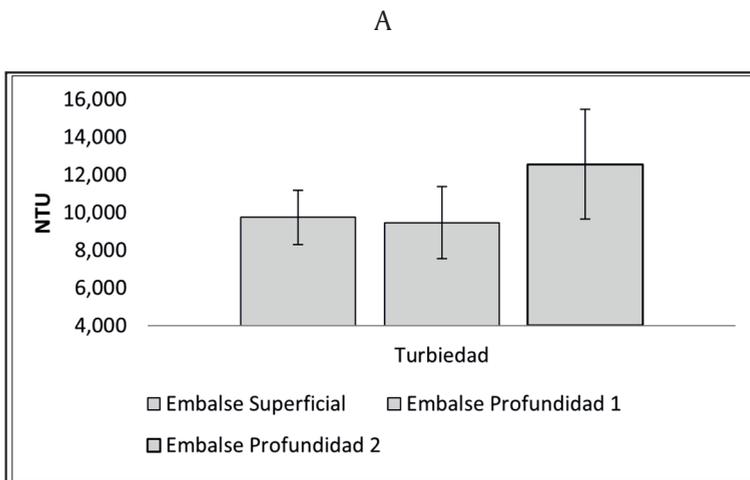
Las variaciones de Conductividad en los seis eventos de muestreo para los ríos Toca, Chorrera y Tuta se mantienen casi constantes, mientras que el río San Francisco nota una variación que va desde los 70 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en el primer evento, llega a 208 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y retorna a las condiciones iniciales presentadas en el primer evento, al finalizar el estudio.

Esto probablemente se presentó por algún suceso de precipitación repentino que coincidió que el evento de muestreo hizo aumentar el contenido de Sólidos Disueltos provenientes de la escorrentía.

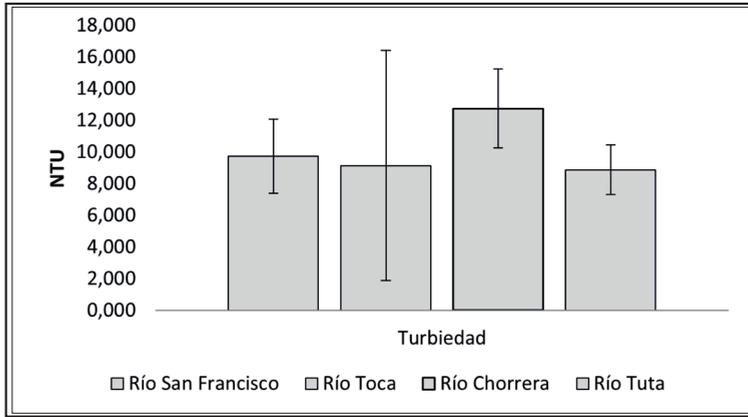
Durante la temporada de lluvias se registró un aumento en la conductividad, debido a la resuspensión de los sedimentos, así como se pudo notar que los mayores valores de conductividad se registraron en los estratos más profundos presentando un aumento gradual a medida que la profundidad aumenta, los valores oscilaron entre 7.4 $\mu\text{s}/\text{Cm}$ y 77.8 $\mu\text{s}/\text{Cm}$, lo que está relacionado directamente con el aporte que hacen los sedimentos provenientes de los afluentes al embalse.

Turbiedad. Cuando se habla de calidad del agua se debe garantizar que los valores de turbiedad no excedan las 2 Unidades Nefelométricas de Turbiedad (NTU). El análisis encontró que tanto en los afluentes como en el efluente contienen materiales en suspensión de tamaño probablemente variable.

Figura 14. Registro de la Turbiedad en el centro del embalse (A) y los afluentes, efluente (B)



B



Fuente: Los autores

De manera general el comportamiento de la turbiedad en promedio se mantiene constante en sus afluentes con valores de 9.7 y 12.7 NTU, lo cual se considera un poco más alto de lo normal debido muy probablemente al arrastre de sedimentos; el efluente presenta una disminución apreciable; esto evidencia que el material en suspensión se podría estar quedando dentro del embalse, cumpliendo de esta manera la función de sedimentador.

La figura evidencia que los valores de turbiedad en los afluentes se mantienen de manera constante durante toda la época de estudio, evidencian un aumento en la época donde se presentó lluvias, sin embargo se observa una disminución notoria a la salida del embalse.

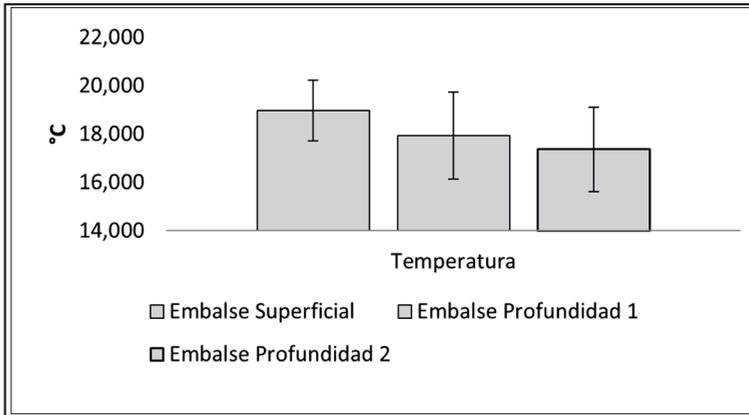
El comportamiento de la turbiedad en el centro del embalse y a diversas profundidades es similar al que presentan otros parámetros, es decir, que registró valores más bajos en la superficie y estos aumentan a medida que se desciende dentro de la columna de agua. Durante la época de lluvias en la profundidad 2 (6 metros) presentó valores más altos respecto a los que se registraron en la superficie, pero solamente este comportamiento se mostró en la época de lluvias.

Temperatura. Este factor de gran importancia en los estudios está determinado por la cantidad de energía calórica presente en la zona de estudio. En estudios limnológicos la temperatura es un dato necesario,

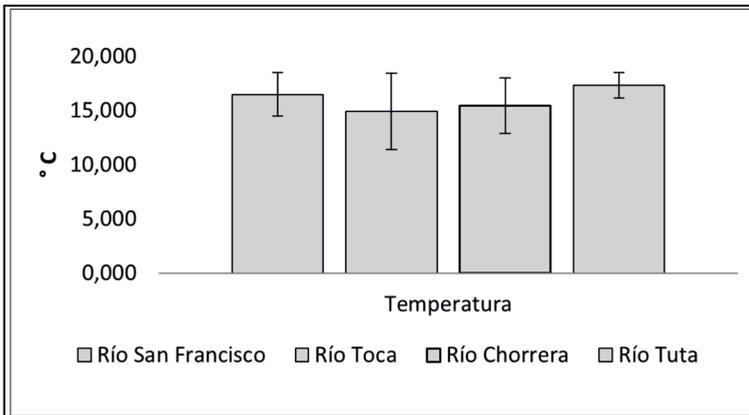
puesto que la retención y distribución del calor en lagos o embalses depende de diversos factores como los vientos y profundidad, entre otros.

Figura 15. Registro de la Temperatura en el centro del embalse (A) y los afluentes, efluente (B)

A



B



Fuente: Los autores

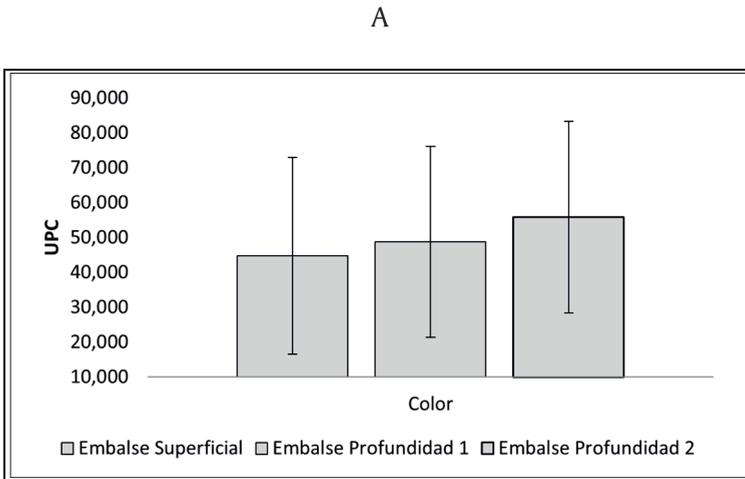
Teniendo en cuenta los datos obtenidos de temperatura, se evidencian unos rangos normales propios de la zona de estudio y sus fluctuaciones no son considerables.

La temperatura en los afluentes fluctuó en promedio de 14.9 a 16.5 °C de igual modo el efluente presenta un patrón similar al encontrado en los afluentes, en la época donde se presentó precipitaciones se evidenció un descenso en la temperatura, y en época seca un aumento de ésta.

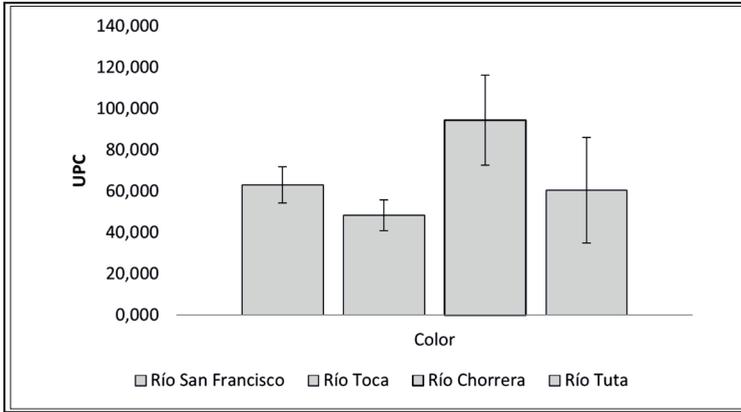
La temperatura de la superficie fluctuó entre 18 y 20 °C, evidenciando un descenso de modo progresivo de 1.0 a 2.0 °C de la superficie a la profundidad 2 (como se puede observar en la anterior figura), este comportamiento es típico puesto que las temperaturas en estos cuerpos de agua nunca sufren variaciones fuertes como las que pueden presentarse en las zonas donde se presentan cambios estacionales.

Color. El color es muy importante tenerlo en cuenta en la caracterización físico- química, ya que es uno de los parámetros que permite definir las condiciones del agua en cuanto a calidad se refiere y por ende su uso.

Figura 16. Registro del Color en el centro del embalse (A) y los afluentes, efluente (B)



B



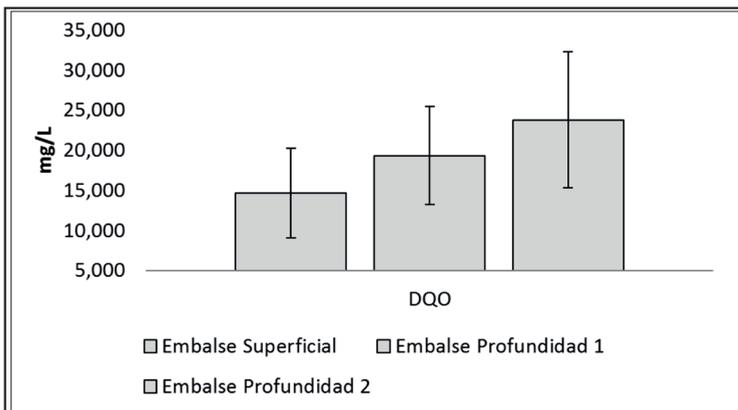
Fuente: Los autores

Análisis de la Materia Orgánica. La materia orgánica está dada por las concentraciones de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Nitrógeno y Fósforo presentes tanto en los afluentes y la columna de agua del embalse, así como los porcentajes de Carbono y Materia Orgánica presente en sus sedimentos.

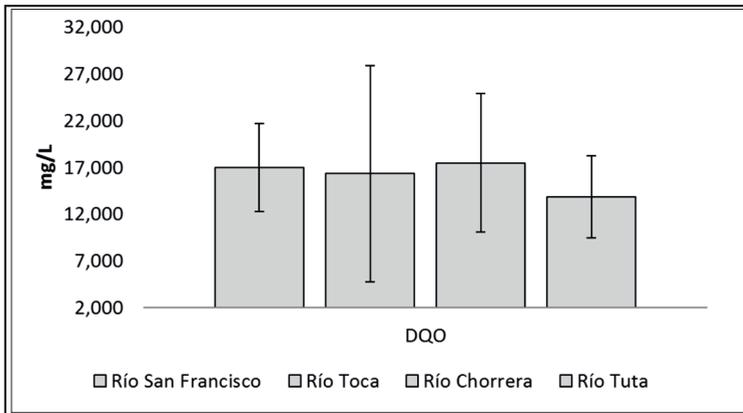
Demanda Química de Oxígeno

Figura 17. Registro de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el centro del embalse (A) y los afluentes, efluente (B)

A



B



Fuente: Los autores

La DQO promedio en los afluentes del embalse oscila entre 16.3 y 17.5 mg/L; durante las dos condiciones ambientales de aguas altas y aguas bajas se pudo observar que este factor presenta valores más altos en la época donde no hay precipitaciones. Los ríos Toca y Chorrera son los que presentaron valores más altos de DQO durante el tiempo de estudio, esto debido a que a los dos ríos son vertidos aguas de tipo residual sin ningún tratamiento previo, además a estos afluentes llegan los residuos de los cultivos presentes en la zona.

Es importante resaltar que las concentraciones de la DQO en el efluente (río Tuta) presenta una disminución apreciable, lo que significa que la DQO es un proceso analítico de contaminación que mide el material orgánico contenido mediante la oxidación química. Además se puede inferir que el embalse está cumpliendo su función de amortiguación debido a que la mayoría de sólidos se están sedimentando lo que hace que la DQO en el efluente sufra una disminución apreciable.

La figura 17, muestra el comportamiento que sufre la DQO en el centro del embalse durante la época de estudio, se evidencia una relación directamente proporcional de acuerdo con la profundidad, a medida que ésta aumenta la profundidad también lo hace, esto obedece a la presencia de sólidos disueltos constituyentes de la materia orgánica presente en el embalse. Este valor se correlaciona con los valores de conductividad los cuales presentan el mismo comportamiento. Estudios similares en el que se muestran las concentraciones de DQO se

han realizados en diferentes embalses ubicados a diferentes alturas sobre el nivel del mar. A continuación se relacionan estos valores.

Cuadro 11. Valores de DQO en Embalses

EMBALSE	UBICACIÓN	AUTOR	AÑO DE ESTUDIO	VALOR DE DQO MG/L CENTRO DEL EMBALSE
Laguna mar de Ontigola 546 m.s.n.m.	Madrid. España	J. L.Velasco, M. Álvarez, M. Colomer y A. Rubio	1990	7,0
Embalse Tricao	Chile	López Matilde Fernández Oscar	2007	3,0
San Roque 643 m.s.n.m.	Cordoba Argentina	Rossen, Ariana Ruibal Conti Ana. et al	2008	5,8 - 55
Embalse del Toro 1338 m.s.n.m.	Mendoza Argentina	Peralta, Patricia León, José	2005 - 2008	5,5
Embalse el Carrizal 739 m.s.n.m	Mendoza Argentina	Peralta, Patricia León, José	2005-2008	12,0
Embalse Potrerillos 1381 m.s.n.m	Mendoza Argentina	Peralta, Patricia León, José	2005-2008	10,0
Embalse Reyunos 1300 m.s.n.m	Mendoza Argentina	Peralta, Patricia León, José	2005-2009	9,8
Embalse La Copa 2700 m.s.n.m	Boyacá Colombia	Cifuentes, Gabriel	2010	19,3

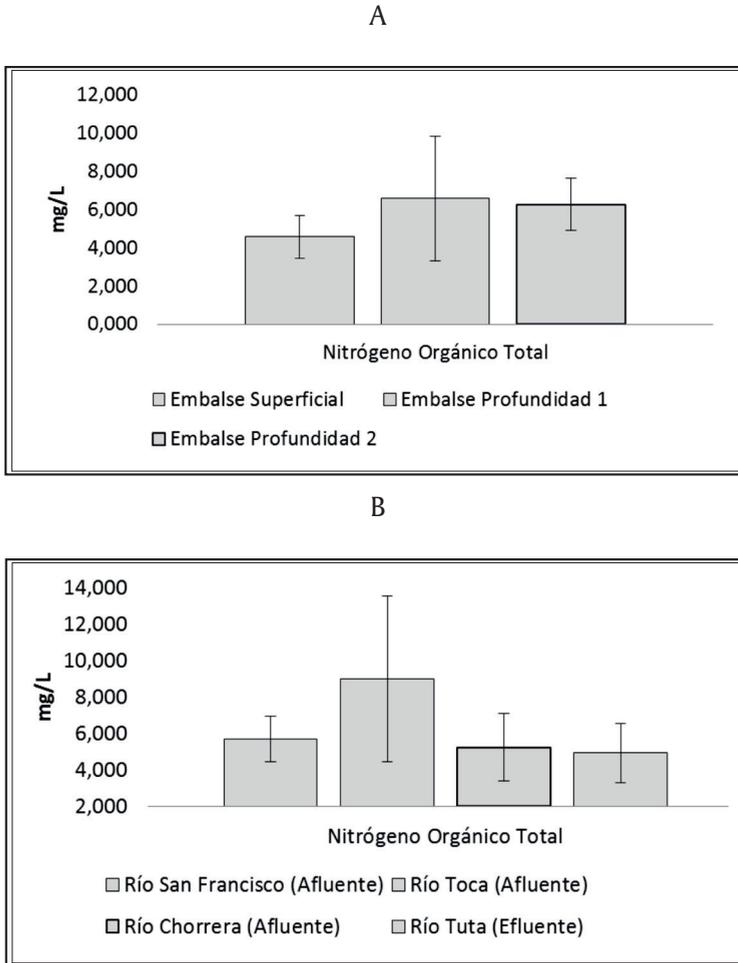
Fuente: Los autores

Según los valores reportados en otros embalses, estos muestran concentraciones bajas respecto a las presentadas en el Embalse de La Copa. El embalse de Tricao en Chile, presenta concentraciones bajas debido a que no presenta una intervención antrópica fuerte y a sus aguas no son vertidas directamente al cuerpo de agua. Caso contrario sucede con el de La Copa, en donde sus valores son altos debido a la fuerte presión antrópica que está sufriendo este cuerpo de agua, además allí son vertidas aguas residuales de municipios aledaños las cuales no han tenido ningún tipo de tratamiento previo, además las cuencas de sus afluentes principales están siendo intervenidas fuertemente por actividades agrícolas y pecuarias.

El Nitrógeno

Es un nutriente muy abundante en la naturaleza y es de suma importancia tener un referente de su contenido en el agua como nutriente fundamental en el enriquecimiento de algas y micrófitos. El Nitrógeno se cuantificó en sus cuatro expresiones más relevantes debido a que cada forma de Nitrógeno tiene una importancia ambiental definida. Las formas de Nitrógeno que se determinaron fueron: Nitrógeno Amoniacal, Nitrógeno Orgánico, Nitritos y Nitratos.

Figura 18. Registro del Nitrógeno Orgánico Total, en el centro del embalse (A) y los afluentes, efluente (B)



Fuente: Los autores

Los afluentes del embalse de La Copa aportan las diferentes formas de nitrógeno, siendo el que presentó concentraciones más altas la forma de N- Amoniacal, esto se puede relacionar con que estos afluentes están presentando una forma de contaminación reciente, ya que esta forma de nitrógeno es la primera que aparece cuando los cuerpos de agua se encuentran presentando algún tipo de contaminación.

El río Toca mientras mantuvo su caudal debido a las condiciones ambientales drásticas fue el afluente que más aportó Nitrógeno al embalse por ser la fuente receptora de aguas residuales del municipio de Toca, las cuales carecen de ningún tipo de tratamiento; por otra parte el río San Francisco también tiene un gran aporte de compuestos nitrogenados en cuanto a promedios de concentración. Además se puede observar que en efluente presenta una disminución de la concentración de todas las formas presentes de Nitrógeno.

En el centro del embalse y a diferentes profundidades los valores registrados fueron los siguientes:

Cuadro 12. Registro del Nitrógeno en el centro del embalse

CENTRO EMBALSE												
PUNTO	Embalse Superficial				Embalse Profundidad 1				Embalse Profundidad 2			
PARÁMETRO	Nitrógeno Amoniacal	Nitrógeno Orgánico Total	Nitritos	Nitratos	Nitrógeno Amoniacal	Nitrógeno Orgánico Total	Nitritos	Nitratos	Nitrógeno Amoniacal	Nitrógeno Orgánico Total	Nitritos	Nitratos
MUESTREO	(mg/L)NH ₃	(mg/L)	(mg/L)NO ₂	(mg/L)NO ₃	(mg/L)NH ₃	(mg/L)	(mg/L)NO ₂	(mg/L)NO ₃	(mg/L)NH ₃	(mg/L)	(mg/L)NO ₂	(mg/L)NO ₃
1	5,050	5,400	0,682	0,137	7,280	8,600	0,488	0,137	4,750	7,300	0,504	0,137
2	5,870	5,260	3,000	< LD	5,600	12,960	3,000	< LD				
3	1,120	5,600	0,472	0,010	1,680	6,720	0,488	0,020	2,800	5,600	0,519	0,025
4	2,240	2,800	0,501	0,133	7,840	6,720	0,473	0,133	5,040	5,600	0,501	0,133
5	4,480	5,600	0,523	0,010	7,840	2,800	0,532	0,010	8,400	8,400	0,639	0,020
6	1,680	2,800	0,576	0,133	2,240	1,680	0,648	0,133	1,680	4,480	0,748	0,133
PROMEDIO	3,407	4,577	0,961	0,084	5,413	6,580	0,938	0,086	4,534	6,276	0,582	0,089
MÁXIMO	5,870	5,600	3,000	0,137	7,840	12,960	3,000	0,137	8,400	8,400	0,748	0,137
MÍNIMO	1,120	2,800	0,472	0,010	1,680	1,680	0,473	0,010	1,680	4,480	0,501	0,020
DESV. STAND	1,974	1,382	1,002	0,068	2,804	4,077	1,012	0,065	2,569	1,557	0,109	0,061

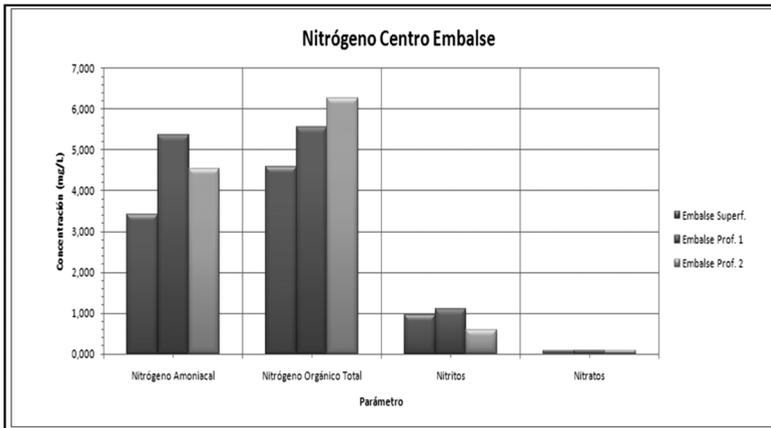
Fuente: Los autores

Límite de Detección (LD) N-NO₂ = 0.01 mg/L

En promedio para la columna de agua los valores de Nitrógeno Amoniacal fueron aumentando directamente con el aumento de su profundidad debido posiblemente al descenso de los niveles del agua lo cual pudo haber desarrollado condiciones de una disminución de oxígeno prevaleciendo así un ambiente reducido, las concentraciones alcanzaron un valor máximo en la superficie de 5.8 mg/L y en la

profundidad un valor máximo de 8.4 mg/L. el comportamiento del Nitrógeno Orgánico Total presentó un patrón de variación similar al del Nitrógeno Amoniacal; como consecuencia de las altas concentraciones de Nitrógeno amoniacal y probablemente por la presencia de concentraciones de materia orgánica sedimentada.

Figura 19. Comportamiento del Nitrógeno en el centro del embalse



Fuente: Los autores

Con respecto al Nitrógeno de los nitratos, éstos registraron valores promedios en la superficie entre 0.070-0.072 mg/LNO₃, mientras que en la profundidad su valor máximo promedio fue de 0.089 mg/L NO₃, También se puede observar que las concentraciones de nitratos disminuyen al iniciarse el ascenso del nivel de las aguas debido a la presencia de lluvias como consecuencia del efecto de dilución.

El Nitrógeno en forma de nitritos registró concentraciones promedios-altas en la profundidad las cuales fueron disminuyendo a medida que él se asciende a la superficie. Esta presencia es debida a la descomposición de materia orgánica acumulada en el fondo del embalse.

Se realizó el análisis de varianza para el parámetro de Nitrógeno, con el fin de determinar la relación del efecto de la entrada y comportamiento del nitrógeno en el embalse. Se empleó el paquete estadístico SPSS® v.18.0. Los valores del análisis se presentan a continuación.

Cuadro 13. Parámetros descriptivos del ANOVA

		<i>N</i>	<i>MEDIA</i>	<i>DESVIACIÓN TÍPICA</i>	<i>ERROR TÍPICO</i>
N _ T _ Afluente	1,6800	1	6,720000	.	.
	2,8000	3	5,830000	2,0347727	1,1747766
	5,2600	1	7,670000	.	.
	5,4000	1	7,500000	.	.
	5,6000	4	4,900000	1,8502612	,9251306
	6,7200	2	5,600000	3,1678384	2,2400000
	7,3000	1	3,360000	.	.
	8,6000	1	5,730000	.	.
	12,9600	1	13,530000	.	.
	Total	15	6,186667	2,7072777	,6990161
Nitróge- no_Total	1,6800	0	.	.	.
	2,8000	2	3,640000	2,7718586	1,9600000
	5,2600	1	6,820000	.	.
	5,4000	1	3,230000	.	.
	5,6000	2	6,160000	,0000000	,0000000
	6,7200	0	.	.	.
	7,3000	0	.	.	.
	8,6000	0	.	.	.
	12,9600	0	.	.	.
	Total	6	4,941667	2,0247708	,8266092

Descriptivos

LÍMITE INFERIOR		INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA MEDIA AL 95%		MÍNIMO	MÁXIMO
		LÍMITE SUPERIOR			
N _ T _ Afluente	1,6800	.	.	6,7200	6,7200
	2,8000	,775344	10,884656	3,9200	7,9700
	5,2600	.	.	7,6700	7,6700
	5,4000	.	.	7,5000	7,5000
	5,6000	1,955821	7,844179	2,8000	7,2800
	6,7200	-22,861899	34,061899	3,3600	7,8400
	7,3000	.	.	3,3600	3,3600
	8,6000	.	.	5,7300	5,7300
	12,9600	.	.	13,5300	13,5300
	Total	4,687426	7,685907	2,8000	13,5300
Nitróge- no_Total	1,6800	.	.	.	.
	2,8000	-21,264161	28,544161	1,6800	5,6000
	5,2600	.	.	6,8200	6,8200
	5,4000	.	.	3,2300	3,2300
	5,6000	6,160000	6,160000	6,1600	6,1600
	6,7200	.	.	.	.
	7,3000	.	.	.	.
	8,6000	.	.	.	.
	12,9600	.	.	.	.
	Total	2,816800	7,066533	1,6800	6,8200

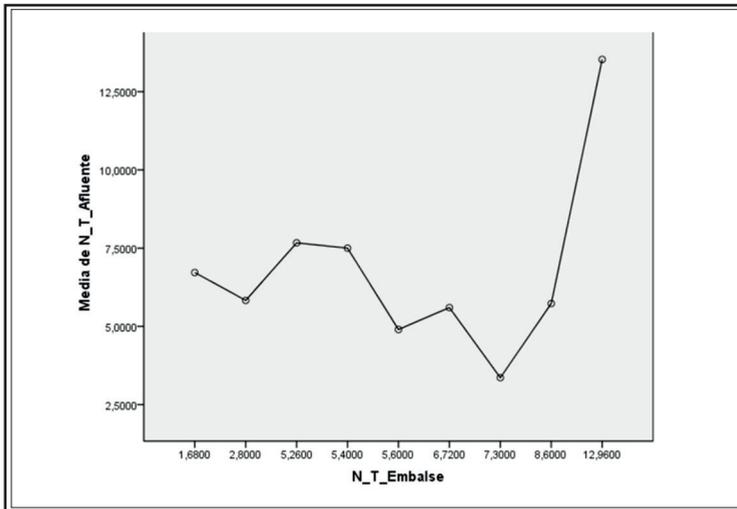
Fuente: Los autores

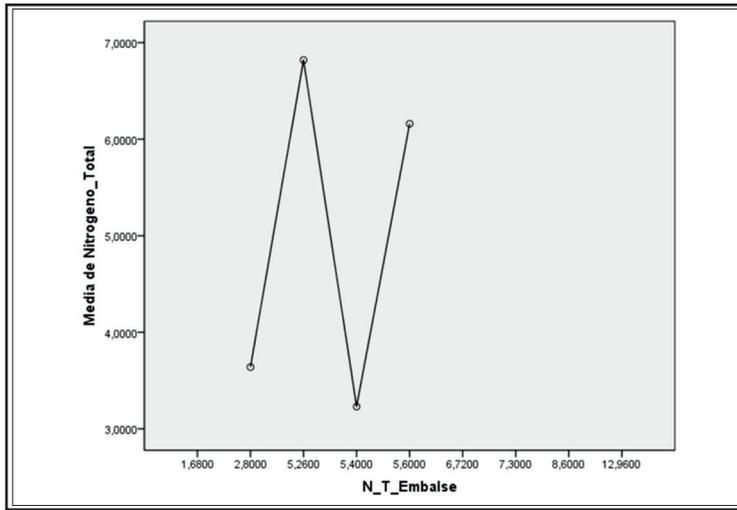
Cuadro 14. Anova para N_Total

		SUMA DE CUADRADOS	GL	MEDIA CUADRÁTICA	F	SIG.
N _ T _ Afluente	Inter-grupos	74,025	8	9,253	1,942	,217
	Intra-grupos	28,586	6	4,764		
	Total	102,611	14			
Nitrógeno_Total	Inter-grupos	12,815	3	4,272	1,112	,506
	Intra-grupos	7,683	2	3,842		
	Total	20,498	5			

Fuente: Los autores

Figura 20. Comportamiento de las medias





Fuente: Los autores

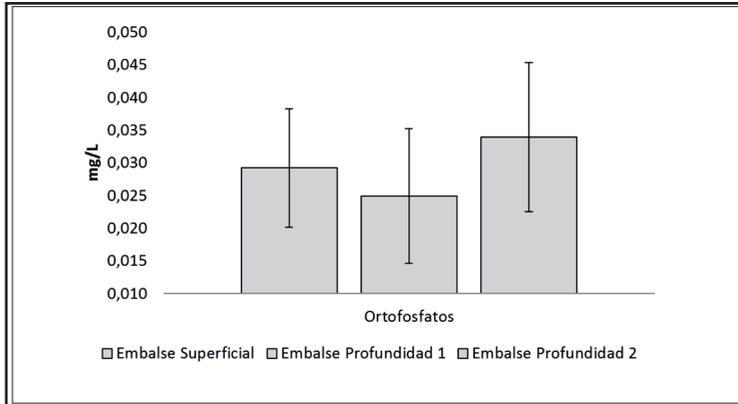
El análisis nos permitió determinar que no hay diferencia significativa entre el aporte de nitrógeno de los afluentes ($0.217, p < 0.05$) con respecto al centro del embalse ($0.82, p < 0.05$).

Fósforo. Es uno de los nutrientes que juega un papel muy importante en el metabolismo biológico, adicional a esto, es el menos abundante en relación a los demás nutrientes, pero es el factor más limitante en la producción primaria. Por estas razones es muy importante su cuantificación.

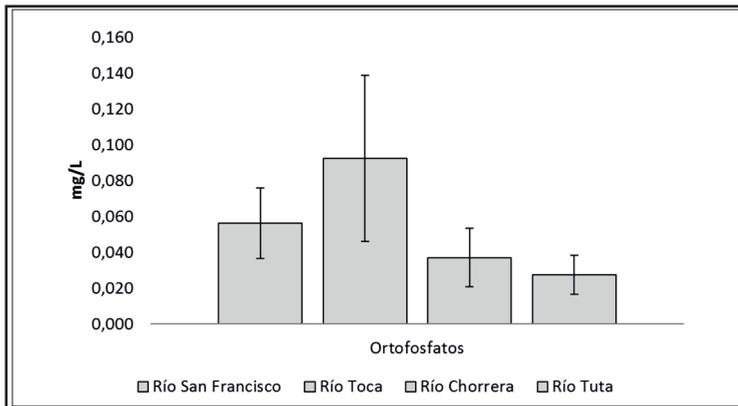
El Fósforo se encuentra más comúnmente en la naturaleza como Ortofosfatos. En promedio los Ortofosfatos presentaron valores que fluctuaron entre los 0.03 y 0.07 mg/l. para los afluentes y una disminución a la salida del embalse (río Tuta) de 0.02 mg/l promedio.

Figura 21. Comportamiento del Fósforo en el centro del embalse (A) y los afluentes, efluente (B)

A



B



Fuente: Los autores

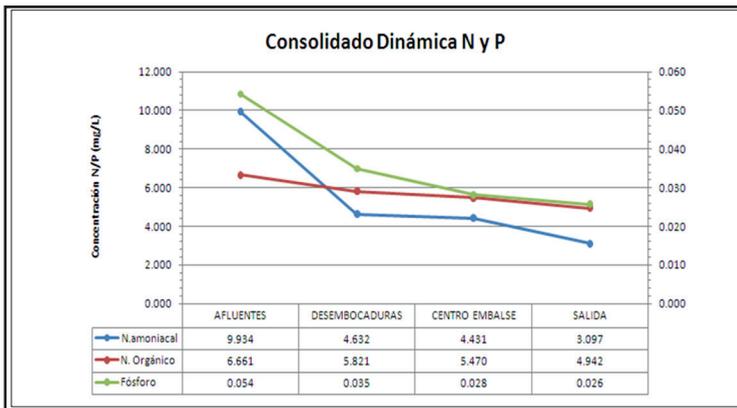
La Figura 20, muestra las fluctuaciones de los Ortofosfatos durante los 6 eventos de muestreo y teniendo en cuenta las variaciones promedio de los afluentes y efluente, se puede afirmar que esta variación indica un bajo contenido de Fósforo, excepto por el aporte del río Toca cuyo caudal no se mantuvo dentro de los eventos de muestreo lo que impidió un monitoreo consolidado en el tiempo.

En lo que respecta a los Ortofosfatos, los valores registrados presentan unas bajas concentraciones durante todo el período de estudio.

Los patrones de variación fueron similares en los diferentes perfiles, sin embargo, se evidencia una tendencia de aumento a medida que se descendía en el cuerpo de agua. Ya que los valores promedio están en un rango de 0.025 a 0.034 mg/L demostrando de esta forma el aumento del compuesto en las zonas más profundas del embalse.

En la figura 20, se puede apreciar la tendencia al aumento de las concentraciones de Ortofosfatos a medida que cambia su profundidad. Esto tiene que ver con la habilidad que tienen los sedimentos para retornar el Fósforo a la columna de agua dependiendo de las condiciones de la misma, el tipo de microorganismos presentes en el sedimento los cuales pueden alterar el retorno de este compuesto a la zona trofógena.

Figura 22. Consolidado de la dinámica del Nitrógeno y Fósforo en el sistema del embalse La Copa

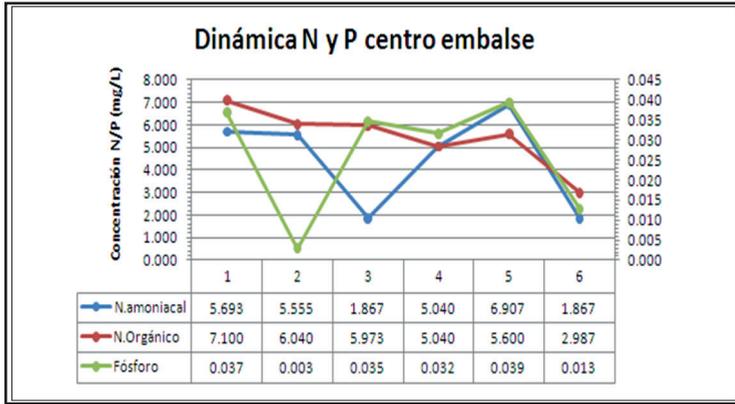


Fuente: Los autores

Se puede observar que los afluentes realizan un aporte considerable al sistema, luego en las desembocaduras y centro del embalse se observa un descenso de estos nutrientes buscando mantener una relativa estabilidad. Luego se evidencia una disminución sustantiva en la concentración de estos en la salida del embalse lo que demuestra que parte de los nutrientes están siendo retenidos en los sedimentos cumpliendo así su función amortiguadora.

A continuación se muestra el comportamiento del Nitrógeno y Fósforo en el centro del embalse durante todo el período de estudio. Mostrando unas variaciones apreciables durante los diferentes eventos de muestreo realizados.

Figura 23. Dinámica del Nitrógeno y Fósforo en el centro del embalse La Copa



Fuente: Los autores

El comportamiento promedio (en el perfil del centro del embalse del Nitrógeno y el Fósforo durante el tiempo de estudio) demuestra un patrón de variación similar a la dinámica en todos los puntos de muestreo, en el muestreo número 2, en el mes de junio, el Fósforo no reporto valor, por esta razón este valor es menor en la gráfica.

BIOLÓGICO

Determinación Taxonómica

En el estudio se registraron 5 divisiones, 6 clases, 10 órdenes, 14 familias, 21 géneros y tres morfoespecies indeterminadas. Los datos de la clasificación se reportan a continuación:

DIVISIÓN: CHLOROPHYTA

CLASE: CHLOROPHYCEAE

ORDEN: VOLVOCALES

Familia: Volvocaceae

Género: *Eudorina cf. elegans*

ORDEN: CHLOROCOCCALES

Familia: Chlorococcaceae

Género: *Tetraedrom cf. minimum*

Familia: Palmellaceae

Género: *Sphaerocyctis cf. schroeteri*

Familia: Dictyosphaeriaceae

Género: *Botryococcus braunii*

Dictyosphaerium cf. pulchellum

Familia: Hydrodyctiaceae

Género: *Pediastrum cf. duplex*

ORDEN: ZYGNEMATALES

Familia: Desmidiaceae

Género: *Closterium cf. acutum*

Saturastrum cf. brevispinum

S. sp1

S. sp2

DIVISIÓN: CHRYSOPHYTA

CLASE: BACILLARIOPHYCEAE

ORDEN: PENNALES

Familia: Diatomaceae

Género: *Fragilaria cf. capuccina*

ORDEN: CENTRALES

Familia: Melosiraceae

Género: *Melosira cf. patagónica*

Familia: Naviculaceae

Género: *Navicula cf. cryptocephala*

Pinnularia cf. similis

CLASE: DINOPHYCEAE

ORDEN: PERIDINIALES

Familia: Peridiniaceae

Género: *Peridinium cf. cinctum*

Peridinium sp

DIVISIÓN: XANTHOPHYTA

CLASE: XANTOPHYCEAE

ORDEN: MISCHOCOCCALES

Familia: Centritractaceae

Género: *Ophiocytium cf. cochleare*

DIVISIÓN: CYANOPHYTA

CLASE: CYANOPHYCEAE

ORDEN: CHROOCOCCALES

Familia: Chroococaceae

Género: *Microcystis cf. aeruginosa*

ORDEN: NOSTOCOCCALES

Familia: Oscillatoriaceae

Género: *Oscillatoria cf. agardhii*

O. sp1

DIVISIÓN: EUGLENOPHYTA

CLASE: EUGLENOFICEAE

ORDEN: EUGLENALES

Familia: Euglenaceae

Género: *Trachellomonas cf. verrucosa*

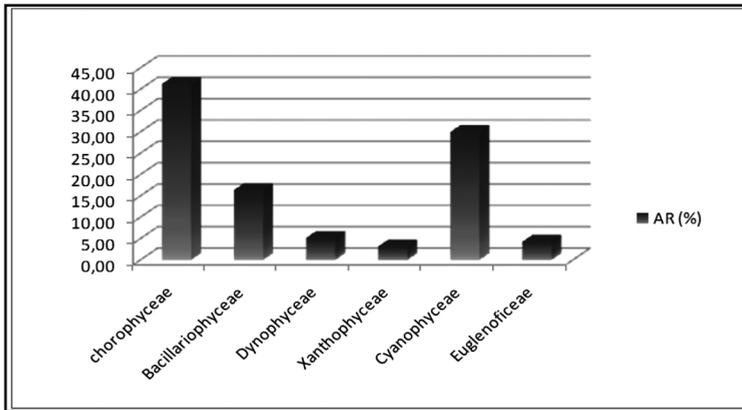
Análisis de abundancia

La predominancia del grupo de Chlorophyceae se evidenció en la época de lluvias, con un incremento significativo en cuanto a las densidades reportadas. Según (Smith & Smith, 2001), el incremento en la concentración de nutrientes favorece el crecimiento de ciertas poblaciones de fitoplancton, que son responsables de una elevada actividad fotosintética inicial, conduciendo a la producción de gran cantidad de biomasa y de oxígeno disuelto (sensu Smith & Smith, 2001). Esta, luego sirve de alimento para una segunda respuesta a nivel de los consumidores primarios, dando lugar a una “explosión” del bacterioplancton (Dominik & Höfle 2002, Höfle et al., 1999) que es responsable de consumir gran parte del oxígeno disuelto del agua (generando condiciones de anoxia, en muchos casos) al oxidarse la materia orgánica, y en consecuencia, a los diferentes procesos metabólicos involucrados.

Se evidenció una relación directa entre el incremento en la cantidad de sólidos en el agua; el aumento en la turbidez del medio y el número de células fitoplanctónicas reduciendo la incidencia de la radiación fotosintéticamente activa (Fontúrbel, 2004, Smith & Smith, 2001), ocasionando probablemente variaciones en las comunidades biológicas.

Puesto que no todas las especies de fitoplancton son tolerantes al cambio de la concentración de nutrientes probablemente halla en estas variaciones una reducción de la diversidad, donde tienden a predominar ciertos grupos, afectando así al conjunto de la comunidad.

Figura 24. Abundancia relativa de células de fitoplancton por clase

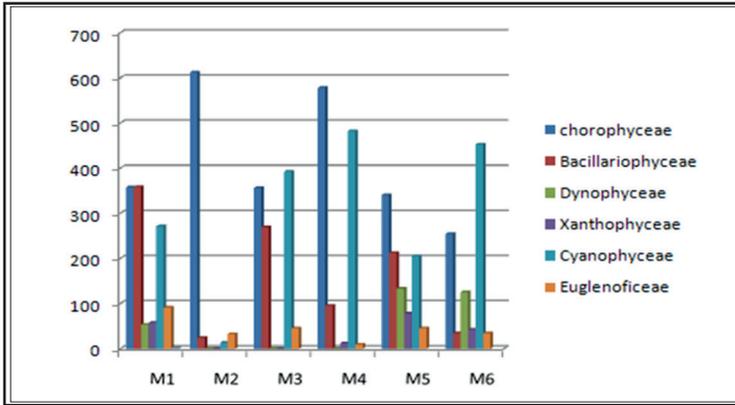


Fuente: Autores

Los resultados de los cuatro puntos de muestreo, determinaron que los principales grupos encontrados son: *Chlorophyceae*, *Cyanophyceae* y *Bacillariophyceae*.

Los eventos 1 y 5 presentaron la mayor cantidad de células por mililitro de muestra que corresponden a las clases *Chlorophyceae* y *Cyanophyceae*.

Figura 25. Densidades algales de fitoplancton en cada muestreo



Fuente: Autores

Los muestreos en los cuales se reportó mayor cantidad de células por mililitro fueron el 1, 2 y 4, relacionándose directamente con la disponibilidad de nutrientes y de ingreso de radiación UV al sistema, teniendo en cuenta el reporte de valores de turbiedad menores al promedio.

Cuadro 15. Composición del Fitoplancton por géneros en el Embalse La Copa

<i>COMPOSICIÓN DEL FITOPLANCTON EN EL EMBALSE LA COPA</i>						
ESPECIES	P1	P2	P3	P4	PROMEDIO	DESV. STAND
Eudorina cf. elegans	157	34	107	36	83,5	51,626
Tetraedrom cf. minimum	34	35	156	54	69,8	50,430
Sphaerocyctis cf. schroeteri	43	74	89	27	58,3	24,509
Botryococcus braunii	22	18	34	45	29,8	10,592
Dictyosphaerium cf. pulchellum	34	45	76	238	98,3	82,141
Pediastrum cf. duplex	53	63	83	67	66,5	10,805
Closterium cf. acutum	35	56	76	26	48,3	19,370
Saturastrum cf. brevispinum	23	34	63	23	35,8	16,361
S. sp1	13	87	56	96	63,0	32,458
S. sp2	42	45	87	111	71,3	29,038
Fragilaria cf. capuccina	43	67	95	34	59,8	23,658
Melosira cf. patagonica	32	24	25	28	27,3	3,112
Navicula cf. cryptocephala	186	106	68	93	113,3	44,167
Pinnularia cf. similis	34	34	36	87	47,8	22,676
Peridinium cf. cinctum	37	28	32	45	35,5	6,344
Peridinium sp	32	25	56	56	42,3	13,971
Ophiocytium cf. cochleare	54	56	34	45	47,3	8,700
Microcystis cf. aeruginosa	23	345	85	845	324,5	323,884
Oscillatoria cf. agardhii	32	32	96	76	59,0	27,911
O. sp1	12	78	102	89	70,3	34,687
Trachellomonas cf. verrucosa	195	25	34	2	64,0	76,528

Fuente: Autores

La mayor desviación se presenta para el género *Microcystis cf. aeruginosa*, probablemente por sus características de adaptación, ya que prefiere la utilización de amoniaco y puede adaptarse a concentraciones cambiantes de este compuesto. Esta Cyanophyceae no utiliza nitratos, por lo cual se infiere el comportamiento poblacional bajo, durante la mayoría de los muestreos y un súbito aumento o florecimiento algal, especialmente en los períodos de lluvias.

Cuadro 16. Distribución del Fitoplancton en los puntos del muestreo en el Embalse La Copa.

<i>PUNTOS DE MUESTREO</i>	<i>PROMEDIO</i>
1	54,09
2	62,42
3	70,95
4	101,09
DESV. STAND	17, 747

Fuente: Autores

En el cuadro anterior, se observa que el punto con mayor presencia de fitoplancton en los muestreos realizados es el punto 4, que corresponde al centro del embalse, en el cual se determinó un descenso de nutrientes de fósforo y nitrógeno, por lo tanto se puede concluir como una posible zona de mayor estabilidad para la distribución de esta comunidad biológica.

Análisis de diversidad y dominancia

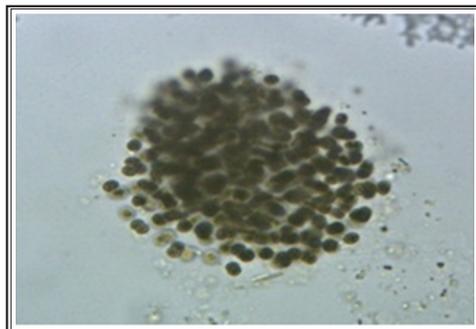
Cuadro 17. Diversidad (Shannon-Wiener) y Dominancia (Simpson) de géneros encontrados en el embalse La Copa

GENEROS	P1	P2	P3	P4	TOTAL i	ni	D	D.R.	SIMPSON	SHANNON- WEINER
<i>Eudorina cf. elegans</i>	157	34	107	36	334	334	1,546	5,513	0,003	1,6
<i>Tetraedrom cf. minimum</i>	34	35	156	54	279	279	1,292	4,605	0,002	1,4
<i>Sphaerocyctis cf. schroeteri</i>	43	74	89	27	233	233	1,079	3,846	0,001	1,3
<i>Botryococcus braunii</i>	22	18	34	45	119	119	0,551	1,964	0,000	0,8
<i>Dictyosphaerium cf. pulchellum</i>	34	45	76	238	393	393	1,819	6,486	0,004	1,8
<i>Pediastrum cf. duplex</i>	53	63	83	67	266	266	1,231	4,390	0,002	1,4
<i>Closterium cf. acutum</i>	35	56	76	26	193	193	0,894	3,185	0,001	1,1
<i>Saturastrum cf. brevispinum</i>	23	34	63	23	143	143	0,662	2,360	0,001	0,9
<i>S. sp1</i>	13	87	56	96	252	252	1,167	4,159	0,002	1,3
<i>S. sp2</i>	42	45	87	111	285	285	1,319	4,704	0,002	1,4
<i>Fragilaria cf. capuccina</i>	43	67	95	34	239	239	1,106	3,945	0,002	1,3
<i>Melosira cf. patagonica</i>	32	24	25	28	109	109	0,505	1,799	0,000	0,7
<i>Navicula cf. cryptocephala</i>	186	106	68	93	453	453	2,097	7,477	0,006	1,9
<i>Pinnularia cf. similis</i>	34	34	36	87	191	191	0,884	3,152	0,001	1,1
<i>Peridinium cf. cinctum</i>	37	28	32	45	142	142	0,657	2,344	0,001	0,9
<i>Peridinium sp</i>	32	25	56	56	169	169	0,782	2,789	0,001	1,0
<i>Ophiocytium cf. cochleare</i>	54	56	34	45	189	189	0,875	3,119	0,001	1,1
<i>Microcystis cf. aeruginosa</i>	23	345	85	845	1298	1298	6,009	21,423	0,046	3,3
<i>Oscillatoria cf. agardhii</i>	32	32	96	76	236	236	1,093	3,895	0,002	1,3
<i>O. sp1</i>	12	78	102	89	281	281	1,301	4,638	0,002	1,4
<i>Trachellomonas cf. verrucosa</i>	195	25	34	2	256	256	1,185	4,225	0,002	1,3

Fuente: Los autores

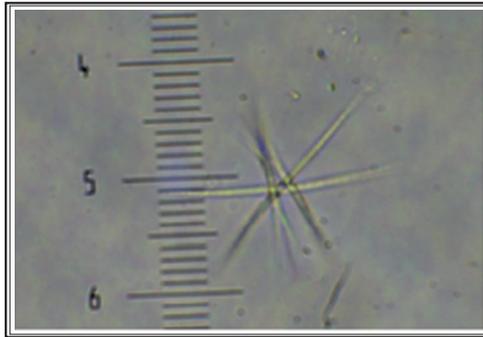
La diversidad expresada con el índice de Shannon-Wiener fue mayor para la clase Cyanophyceae, con un valor de 3,3 y la dominancia estimada con el índice de Simpson, el mayor valor se reportó para la clase Bacillariophyceae con un valor de 0.006.

Figura 26. Clase Cyanophyceae (Microcystis).



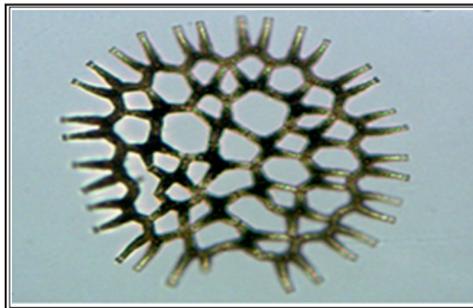
Fuente: Los autores

Figura 27. Clase Chlorophyceae



Fuente: Los autores

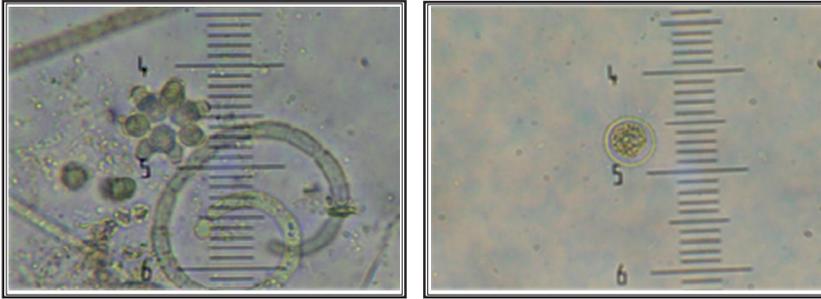
Figura 28. Clase Chlorophyceae (pediastrum)



Fuente: Los autores

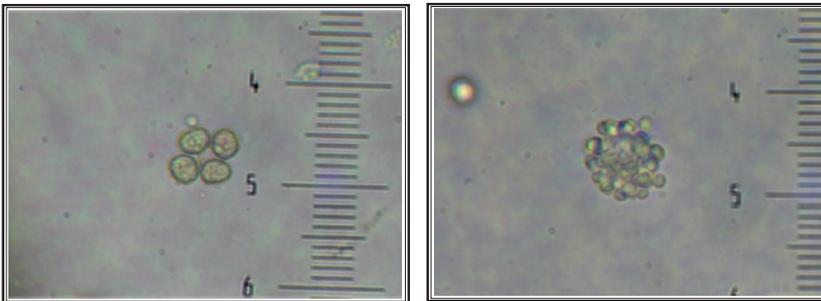
El estudio determinó una relación directa entre la abundancia relativa de algas y el régimen pluviométrico de la zona, probablemente porque en lluvias se evita la concentración de estos organismos, y, en sequía, se presentaron aumentos de las floraciones algales. En los períodos de sequía, se evidenció que el embalse cambia su dinámica biológica en cuanto a la composición de morfoespecies, asociado a la base de la cadena trófica (el fitoplancton), presentándose un funcionamiento similar a una laguna en cuanto a la distribución de organismos fotosintetizadores, beneficiando el grupo de las cianobacterias, aunque aún no se puede predecir una tendencia.

Figura 29. Clase Chlorophyceae



Fuente: Los autores

Figura 30. Clase Cyanophyceae



Fuente: Los autores

MICROBIOLÓGICO

Se presentan los valores reportados del análisis microbiológico de las muestras de aguas procesadas de La Copa.

Se procesaron las muestras de los eventos 2 y 3. Los datos se presentan a continuación.

Cuadro 18. Relación de grupos Coliformes Totales y Fecales según sitio de muestreo

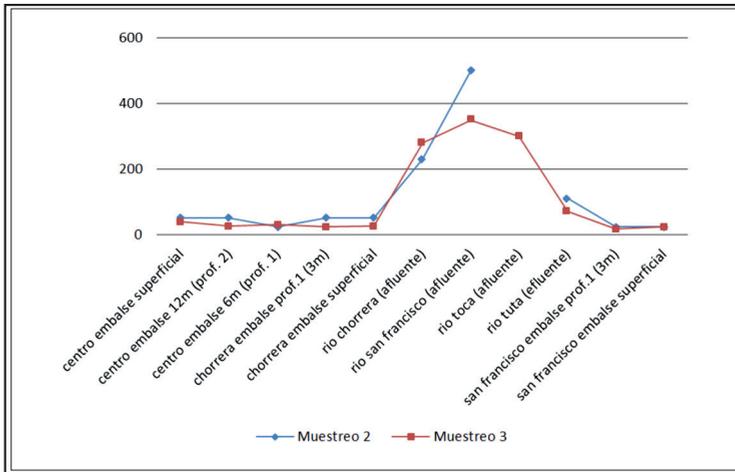
MUESTRA	04-FEB-10		04-MAR-10	
	EVENTO DE MUESTREO No.2		EVENTO DE MUESTREO No.3	
	C. TOTALES	C. FECALES	C. TOTALES	C. FECALES
Centro embalse superficial	50	2	40	<2
Centro embalse 12m (prof. 2)	50	<2	26	<2
Centro embalse 6m (prof. 1)	23	<2	30	<2
Chorrera embalse prof.1 (3m)	50	<2	23	<2
Chorrera embalse superficial	50	<2	27	4
Río chorrera (afluente)	230	40	280	30
Río san Francisco (afluente)	500	80	350	80
Río Toca (afluente)	xxx	xxx	300	70
Río Tuta (efluente)	110	9	70	7
San Francisco embalse prof.1 (3m)	23	<2	17	<2
San Francisco embalse superficial	23	<2	23	2

xxx No se recolectó en este sitio

Fuente: Los autores

En la siguiente gráfica se presenta el comportamiento de los Coliformes totales según los eventos de muestreo, la tendencia se mantiene para los afluentes, encontrándose en ambos eventos el punto más alto para el río San Francisco (500 NMP/100 ml). Los recuentos de organismos mesófilos en los dos eventos, han estado entre 10 y 50×10^2 UFC/ml, siendo el valor más bajo para el centro del embalse profundidad 1 y el valor más alto para el afluente río San Francisco.

Figura 31. Comportamiento de los coliformes totales según evento de muestreo

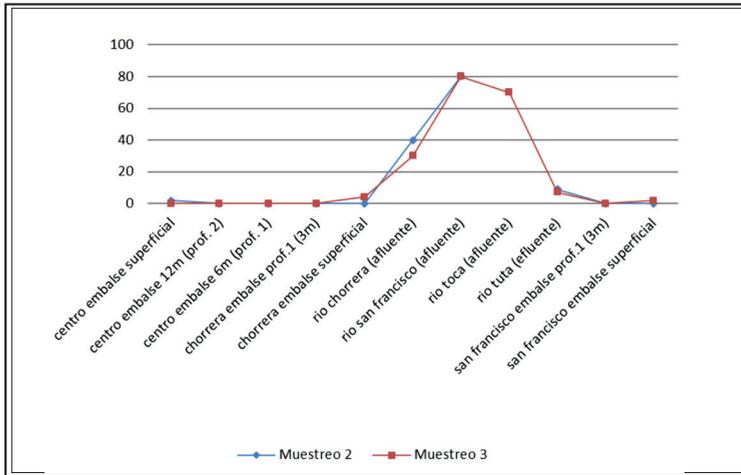


Fuente: Los autores

En la figura 31, se relaciona el comportamiento de los coliformes fecales, encontrándose que los valores son bajos (2 NMP/100 ml), lo cual se relaciona con la dinámica de depuración que se presenta en estos cuerpos de agua.

Es de notar que el efluente (río Tuta), presenta contaminación fecal (7 NMP/100 ml), lo cual se asocia posiblemente a la presencia de animales de pastoreo en la zona de influencia de este efluente como se pudo constatar en las jornadas de muestreo.

Figura 32. Comportamiento de los coliformes fecales según eventos de muestreo

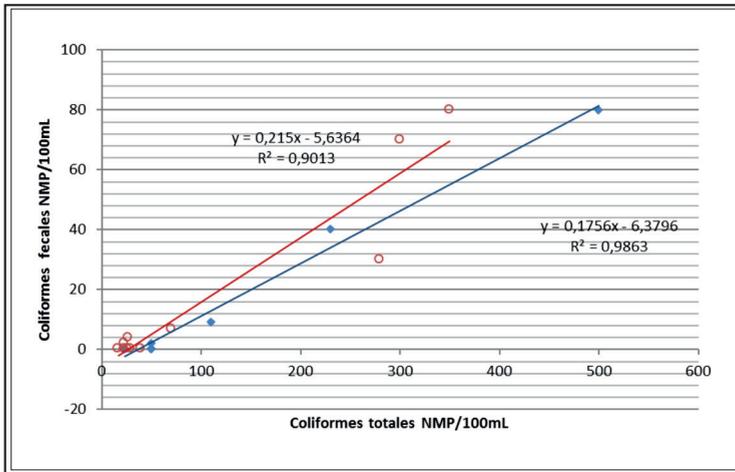


Fuente: Los autores

Respecto a la presencia de los dos indicadores microbiológicos de contaminación fecal, se puede inferir que son provenientes de los afluentes (San Francisco, Chorrera). La alta correlación entre ambos indica que siendo el grupo coliformes el estándar para contaminación fecal, los coliformes fecales, también pueden ser indicadores ya que son detectados en presencia de contaminación microbológica.

De igual forma se correlacionan con la cantidad de materia fecal aportada por los afluentes. Según aumentan los coliformes totales en cada muestra también aumentan los fecales, el mayor aportante se focaliza en el afluente de San Francisco. (Figura 35)

Figura 33. Correlación entre el número de Coliformes Totales y Coliformes Fecales



Fuente: Autores

Para los eventos 4 y 5 se encontró que los comportamientos para los grupos coliformes indicadores de contaminación fecal se mantenían en la misma tendencia que los eventos anteriores. Adicionalmente, se encontró que en el evento 4, no hay presencia de organismos coliformes fecales para las muestras del centro del embalse.

Cuadro 19. Relación de grupos Coliformes Totales y Fecales según sitio de muestreo, consolidado

muestra	04-jun-09 evento de muestreo No.1		04-feb-10 evento de muestreo No.2		04-mar-10 evento de muestreo No.3		25-mar-10 evento de muestreo No.4		22-abr-10 evento de muestreo No.5	
	resultado		resultado		resultado		resultado		resultado	
	C. totales	C. fecales	C. totales	C. fecales	C. totales	C. fecales	C. totales	C. fecales	C. totales	C. fecales
1 centro embalse superficial	170	< 2	50	2	40	<2	21	2	34	4
2 centro embalse 12m (prof. 2)			50	<2	26	<2	19	<2	8	8
3 centro embalse 6m (prof. 1)			23	<2	30	<2	24	<2	130	13
4 chorrera embalse prof.1 (3m)			50	<2	23	<2	20	<2	30	17
5 chorrera embalse superficial			50	<2	27	4	18	2	14	11
6 rio chorrera (afluente)	1300	40	230	40	280	30	35	6	300	300
7 rio san francisco (afluente)	3500	120	500	80	350	80	150	20	240	170
8 rio toca (afluente)	> 1600	> 1600	1600	900	300	70	650	120	50	17
9 rio tuta (efluente)	110	20	110	9	70	7	xxx	xxx	33	4
10 san francisco embalse prof.1 (3m)			23	<2	17	<2	52	<2	11	2
11 san francisco embalse superficial			23	<2	23	2	35	<2	23	13

xxx No se recolectó en este sitio

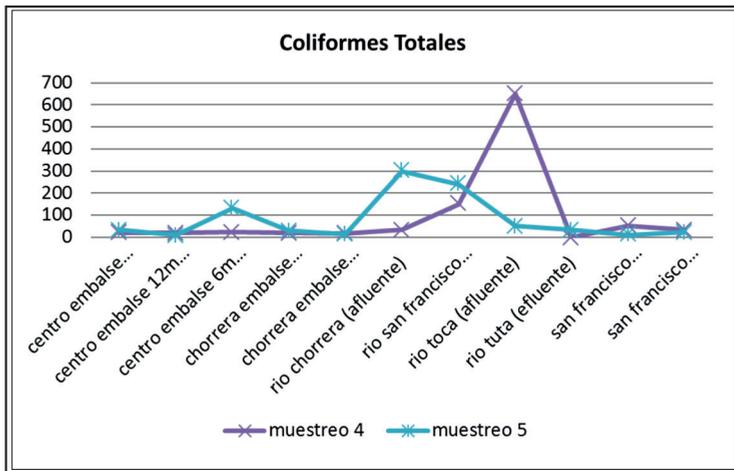
Fuente: Autores

El mismo fenómeno se presentó para el embalse San Francisco. En lo relacionado con el evento cinco (5), se evidenció la presencia de organismos fecales (NMP/100ml) en todos los puntos de muestreo, esto debido a que los afluentes tomaron su cauce nuevamente después de un período prolongado de sequía. En este evento se evidenció la presencia de pastoreo nuevamente, lo cual está relacionado con la época de sequía que estaba finalizando.

En la figura 33, se muestra el comportamiento de los Coliformes totales según los eventos de muestreo, la tendencia se mantiene para los afluentes, encontrándose en el evento (4) el punto más alto para el río Toca (650 NMP/100 ml), y en el afluente río Chorrera (300 NMP/100 ml).

Los recuentos de organismos mesófilos en los dos eventos, se encontraron entre $8.0 \times 10^0 \pm 17$ y $105 \times 10^2 \pm 11$ UFC/ml, siendo el valor más bajo para el centro del embalse profundidad 1 y el valor más alto para el afluente río la Chorrera.

Figura 34. Comportamiento de los coliformes totales según evento de muestreo 4 y 5

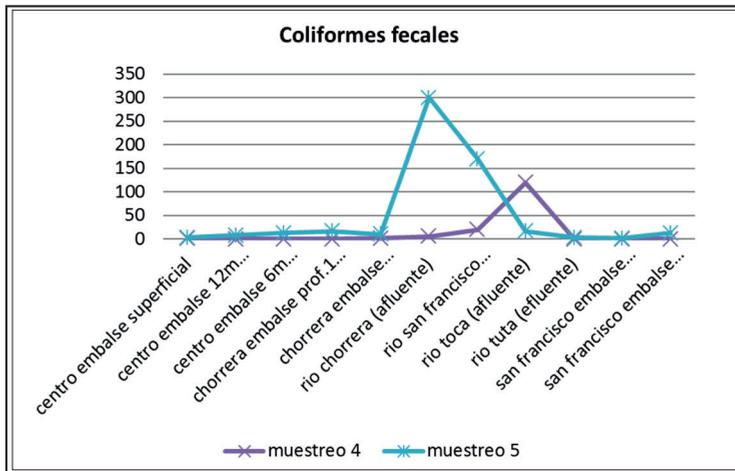


Fuente: Los autores

En la figura 34 se relaciona el comportamiento de los coliformes fecales, encontrándose que los valores son bajos (< 2 NMP/100 ml), lo cual se relaciona con la dinámica de depuración que se presenta en

estos cuerpos de agua. Aunque en el evento 5, se encontró el grupo de coliformes fecales en todos los puntos de muestreo. Para ese evento se encontraba funcionando un hotel flotante en la represa de La Copa, lo cual podría estar relacionado con el aporte de este grupo de organismos. Es de notar que el efluente (río Toca), presenta un alto valor de contaminación fecal (120 NMP/100 ml), en el evento 4, y el afluente río Chorrera igualmente en el evento 5 (300 NMP/100 ml), lo cual se asocia posiblemente a la presencia de animales de pastoreo en la zona de influencia de estos afluentes.

Figura 35. Comportamiento de los coliformes fecales según eventos de muestreo



Fuente: Autores

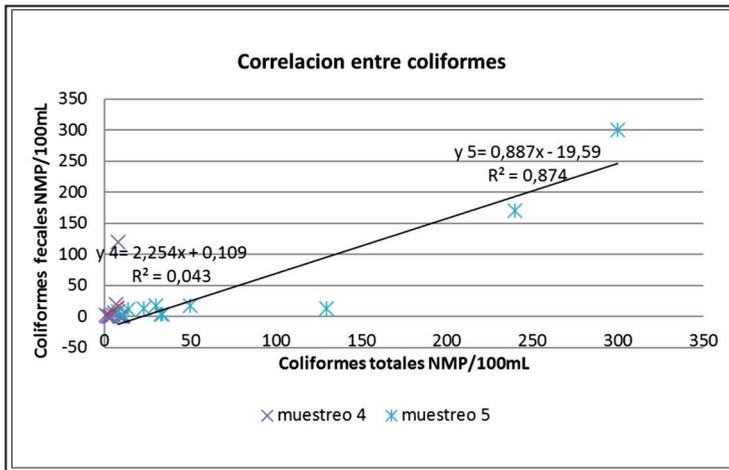
Respecto a la presencia de los dos indicadores (Coliformes totales y fecales) microbiológicos de contaminación, se puede inferir que son provenientes de los afluentes (Toca, San Francisco y Chorrera). La alta correlación entre ambos indica que siendo el grupo coliforme el estándar para contaminación fecal (los coliformes fecales), también pueden ser indicadores ya que son detectados en presencia de contaminación microbiológica. De igual forma se correlacionan con la cantidad de materia fecal aportada por los afluentes para el evento 5.

Según aumentan los coliformes totales en cada muestra también aumentan los fecales, el mayor aportante en el afluente río Toca y río Chorrera. En el evento 4, no se reportó la presencia de contaminación

fecal en las muestras del embalse, lo cual se evidencia en la correlación baja que se encontró para estos dos grupos ($R = 0,043$).

En el evento 5 la correlación aumenta ($R = 0,87$), debido a la presencia de coliformes fecales en las muestras del embalse.

Figura 36. Correlación entre organismos coliformes, según el evento de muestreo 4 y 5.



Fuente: Los autores

Se siguió con el protocolo de aislamientos en medios selectivos para Gram negativos, donde se encontraron géneros de la familia enterobacterias, aunque no se consideran indicadores de contaminación fecal si aportan para la presencia de organismos mesófilos. Varios de los géneros reportados se encontraron en varias muestras.

Cuadro 20. Géneros reportados en los eventos de muestreo 3 y 4

	25-mar-10 evento de muestreo No. 4	22-abr-10 evento de muestreo No. 5
muestra		
centro embalse superficial	<i>Klebsiella</i>	<i>Klebsiella</i>
centro embalse 12m (prof. 2)	<i>Citrobacter</i>	<i>Citrobacter</i>
centro embalse 6m (prof. 1)	<i>Proteus</i>	<i>Proteus</i>
chorrera embalse prof.1 (3m)	<i>Klebsiella</i>	<i>Klebsiella</i>
chorrera embalse superficial	<i>Citrobacter</i>	<i>Citrobacter</i>
río chorrera (afluente)	<i>E.coli</i>	<i>E.coli</i>
río san Francisco (afluente)	<i>Klebsiella</i>	<i>Klebsiella</i>
río Toca (afluente)	<i>Citrobacter</i>	<i>Citrobacter</i>
río Tuta (efluente)	<i>E.coli</i>	<i>E.coli</i>
san Francisco embalse prof.1 (3m)	<i>E.coli</i>	<i>E.coli</i>
san Francisco embalse superficial	<i>Klebsiella</i>	<i>Klebsiella</i>

Fuente: Los autores

Para conocer el grado de calidad de las aguas, independientemente del posible uso al que van a ser destinadas, se parte de la toma de muestras para la obtención de una serie de parámetros e indicadores. Estos datos, analizados y procesados, posteriormente se convierten en un valor numérico, que permite obtener una serie de índices que determinan el estado general de las aguas en función de unos rangos de calidades establecidos. Estos índices pueden ser fundamentalmente: fisicoquímicos y biológicos.

Mediante el índice fisicoquímico se va a obtener un valor numérico adimensional que engloba las magnitudes de ciertos parámetros individuales, cuyo número y tipo varía según el índice. Estos se usan para evaluar la calidad del agua y su evolución con el tiempo y tienen como inconveniente su poca robustez debido a que simplifican mucho la calidad al definirla mediante un único valor numérico. (Ramírez 1998).

Para el estudio se implementó el denominado **Índice simplificado de calidad de aguas (ISQA)**, el cual es muy fácil de utilizar y proporciona una idea rápida e intuitiva de la calidad, pero que precisa ser completado con otros índices para obtener una visión real de la situación. Se obtiene a partir de parámetros fisicoquímicos como: temperatura, DQO, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto y conductividad.

$$ISQA = E \cdot (A + B + C + D)$$

En donde:

- * **E: temperatura del agua (T en °C).** Puede tomar valores comprendidos entre 0,8 y 1 según:

$$E = 1 \text{ si } T \leq 20 \text{ °C}$$

$$E = 1 - (T - 20) \cdot 0,0125 \text{ si } T > 20 \text{ °C}$$

- * **A: Demanda Química Orgánica:** Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 30 según:

$$A = 30 - DQO \text{ si } DQO \leq 10 \text{ mg/l}$$

$$A = 21 - (0,35 \cdot DQO) \text{ si } 60 \text{ mg/l} \geq DQO > 10 \text{ mg/l}$$

$$A = 0 \text{ si } DQO > 60 \text{ mg/l}$$

* **B: Sólidos Suspendidos Totales (SST en mg/l).** Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25 según:

$$B = 25 - (0,15 \cdot SST) \text{ si } SST \leq 100 \text{ mg/l}$$

$$B = 17 - (0,07 \cdot SST) \text{ si } 250 \text{ mg/l} \geq SST > 100 \text{ mg/l}$$

$$B = 0 \text{ si } SST > 250 \text{ mg/l}$$

* **C: Oxígeno Disuelto (O_2 en mg/l).** Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25 según:

$$C = 2,5 \cdot O_2 \text{ si } O_2 < 10 \text{ mg/l}$$

$$C = 25 \text{ si } O_2 \geq 10 \text{ mg/l}$$

- **D: Conductividad (CE en $\mu\text{S/cm}$ a 18°C).** Si la conductividad se mide a 25°C , para obtener la conversión a 18°C se multiplicará por 0,86. Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 20 según:

$$D = (3,6 - \log CE) \cdot 15,4 \text{ si } CE \leq 4000 \mu\text{S/cm}$$

$$D = 0 \text{ si } CE > 4000 \mu\text{S/cm}$$

El ISQA va a oscilar entre 0 (calidad mínima) y 100 (calidad máxima) de manera similar como lo hace el ICG.

Cuadro 21. La clasificación de las aguas en función de su ICG

ICG	CALIDAD DEL AGUA
ICG = 100	Excelente
$85 \leq \text{ICG} < 100$	Muy buena
$75 \leq \text{ICG} < 85$	Buena
$65 \leq \text{ICG} < 75$	Utilizable
$50 \leq \text{ICG} < 65$	Mala (limitaciones en su uso)
ICG < 50	Pésima (graves limitaciones en su uso)

Fuente: Ramírez, A. & G. Viña. (1998). *Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis*. Colombia. Bogotá: Panamericana. 292 p.

Para el embalse de La Copa se determinó el ISQA, en el centro del embalse y en el efluente, encontrándose los siguientes valores 78.07 y 83.45 respectivamente. Dado lo anterior, se puede determinar que la calidad del agua de La Copa, es buena puesto que está en el rango de $75 \leq \text{ICG} < 85$, según lo establecido por el ICG.

Cuadro 22. Determinación del ISQA, para el Centro del Embalse y Efluente

ÍNDICE DE CALIDAD		
PARÁMETROS	CENTRO EMBALSE	EFLUENTE
Temperatura (E)	1,00	1,00
DQO (A)	14,35	16,16
SST (B)	23,24	23,99
OD (C)	14,00	16,15
Conductividad (D)	26,48	27,16
Índice de Calidad ($E^*(A+B+C+D)$)	78,07	83,45

Fuente: Los autores.

Los afluentes principales del embalse La Copa del municipio de Toca (Boyacá) presentan una condición físico-química donde se observó una alteración de estos dependiendo del cambio en las condiciones ambientales. Las concentraciones de Nitrógeno y Fósforo en estos afluentes presentan niveles superiores, con respecto a los establecidos en la norma de calidad de agua esto probablemente debido a actividades tales como: la implementación de actividades agropecuarias inadecuadas en cultivos aledaños a la cuenca, vertimientos de aguas residuales domésticas carentes de un previo tratamiento y a la alteración hidrológico-forestal de la cuenca. Lo que ocasiona un aporte excesivo de estos nutrientes al embalse.

Teniendo en cuenta el índice de contaminación trófica (ICOTRO, Roldán 1992), el estado de eutrofia de un embalse posee valores entre 0.02-1.00 mg/L PO₄, por tal razón el embalse La Copa del municipio de Toca (Boyacá) según su concentración de Fósforo en su forma predomi-

minante de Ortofosfatos reporta un valor promedio en el centro del embalse de 0.028 mg/L PO₄. Siguiendo lo anterior, el estado trófico que presenta el embalse se puede catalogar como eutrófico. Así mismo, según la clasificación de los lagos con base en la concentración de orto fosfatos propuesta por Vollenweider (1968), el embalse se considera mesoeutrófico puesto que la concentración de Fósforo se encuentra entre 0.010-0.030 mg/L; lo cual refleja un ecosistema rico en nutrientes. Por lo tanto, se verían alteradas las condiciones tróficas de este cuerpo de agua léntico.

Teniendo en cuenta lo anterior, el embalse presenta una condición mesotrófica con tendencia a la eutrofia lo cual puede representar en el tiempo una disminución de la vida útil del embalse sumado a la fuerte presión antrópica que ejercen los floricultivos presentes en esta zona; alteraciones de la estructura y diversidad ecológica del mismo, así como posibles efectos de la disponibilidad del recurso hídrico para las comunidades que se abastecen de éste.

Los análisis realizados indican que el comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno DQO en relación entre la superficie y el fondo presentó una diferencia de los tres niveles estudiados. En la superficie su valor promedio es de 14.6 mg/L mientras que en el fondo es de 23.8 mg/L, presentándose los valores más altos en éste, esto es explicable puesto que la DQO es un proceso que se encarga de la medición del material orgánico contenido, utilizando procesos de oxidación química. Los afluentes presentan unas variaciones respecto a la concentración de la DQO, el río San Francisco reportó un valor promedio de 17.0 mg/L, mientras que los ríos Toca y Chorrera registraron valores de 16.3 mg/L y 17.5 mg/L respectivamente; estas diferencias se deben a las características propias y al tipo de descarga que reciben.

Las concentraciones de la Demanda Química de Oxígeno presentan variaciones según la época de estudio, estas se ven incrementadas en la época de aguas bajas (M3,M4,M5), esto se debe a las descargas de aguas residuales las cuales generan un impacto apreciable y el embalse no tiene la capacidad de amortiguar las descargas generadas de la actividad antrópica.

El manejo que se le debe dar al embalse de La copa debe garantizar que los valores de la concentración de la DQO no presenten incrementos lo que se debe evidenciar cuando exista un manejo adecuado de

la cuenca, evitar el uso excesivo de fertilizantes a base de Nitrógeno y Fósforo, así como tratar previamente las aguas residuales domésticas antes de ser vertidas al embalse. Con estos aspectos de algún modo se podría conservar la calidad de las aguas de este reservorio.

El comportamiento del Nitrógeno a lo largo del cuerpo de agua desde la entra al sistema (afluentes), hasta que sale del mismo (efluente) sufre unas fluctuaciones en cuanto a sus concentraciones. Las concentraciones promedio de los afluentes estudiados corresponden a 5.01 mg/L; mientras que el promedio en el centro del embalse es de 2.68 mg/L y en su efluente este valor promedio corresponde a 2.06 mg/L, lo que quiere decir que el elemento está siendo retenido por el embalse propiamente dicho; sin embargo, aunque las cantidades de nutrientes presentes sugieren un crecimiento excesivo de plantas acuáticas, este embalse no ha confrontado problemas con la proliferación de dichas plantas.

De acuerdo con el contenido de Nitrógeno Amoniacal presente en el centro del embalse su concentración promedio es de 4.43 mg/L NH_4 ; el valor se encuentra dentro del rango propuesto para la clasificación de lagos hecha por Vollenweider (1968), la cual plantea una categoría entre 2.0-15.0 mg/L NH_4 , para considerar este cuerpo de agua como eutrófico.

En los afluentes del embalse se presentó una concentración promedio de 9.93 mg/L NH_4 , siendo el río Toca el que aporta mayor concentración debido a que en el río se realizan las descargas de agua residuales del municipio sin previo tratamiento; mientras que en el efluente su concentración reportó valores de 3.097 mg/L NH_4 , mostrando que parte del amonio está siendo retenido en el embalse, lo que evidencia que este cuerpo de agua está sufriendo procesos de contaminación reciente, ya que la concentración del ión amonio es mayor respecto a las de las otras formas predominantes de nitrógeno como los nitritos y nitratos.

La capacidad de autodepuración del embalse se denota en los porcentajes de Nitrógeno y Fósforo que entran y salen del mismo. La relación de porcentajes de nutrientes indica que el embalse retiene en promedio entre 60% y 50% del Nitrógeno y Fósforo (respectivamente) que son aportados por sus tributarios. Dichos porcentajes de nutrientes retenidos en el embalse son acumulados en los sedimentos. Este cuerpo de

agua está influenciado por la eutrofización ya que dicha cantidad de nutrientes hacen que exista un aumento en el número de individuos fitoplactónicos asociado a la variación pluviométrica de la zona el cual se evidencia en el número de células por mililitro registrado en cada muestreo.

Las clorofíceas fueron el grupo dominante representando en más del 41.20% de la abundancia y biovolumen totales del fitoplancton, durante la mayoría de períodos muestreados. Sólo durante las fases de aguas bajas, se observó la sustitución de este grupo por la dominancia de pequeños grupos de Cianofíceas y Bacillariophyceae. La presencia de estos grupos indica una posible permanencia de la composición específica del fitoplancton, infiriéndose una dinámica físico-química similar a la de un sistema con permanente mezcla, que no altera significativamente la estructura trófica de los grupos reportados.

Los afluentes río Toca, río San Francisco y río Chorrera, son los mayores aportantes de coliformes totales y coliformes fecales. La alta correlación entre ambos indica que siendo el grupo coliforme el estándar para contaminación fecal, los coliformes fecales, también pueden ser indicadores ya que son detectados en presencia de contaminación microbiológica. De igual forma se correlacionan con la cantidad de materia fecal aportada por los afluentes para el evento 5. Según aumentan los coliformes totales en cada muestra, también aumentan los coliformes fecales.

En la evaluación de organismos mesófilos, se encontró que los recuentos estuvieron entre $8.0 \times 10^0 \pm 17$ y $105 \times 10^2 \pm 11$ UFC/ml, siendo el valor más bajo para el centro del embalse profundidad 1 y el valor más alto para el afluente río la Chorrera. Con lo cual se infiere que hacia el centro del embalse los procesos de autodepuración del mismo son más eficientes debido a la elución de la carga aportada por los afluentes. Cerca de la rivera la presencia de organismos coliformes es mayor, debido probablemente a la presencia de actividades de pastoreo.

El agua del embalse abastece a algunos sectores de la población del municipio de Toca, pese a que el agua no cumple con los parámetros microbiológicos exigidos en el decreto 1575 de 2007 que establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, cuyo objeto es establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear,

prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causado por su consumo. Adicional al decreto, está la Resolución número 2115 (22 jun. 2007), por medio de la cual se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Los embalses tienden a sufrir procesos de eutrofización cuando sus aguas son enriquecidas con nutrientes siendo el Nitrógeno y Fósforo los que más influyen en tal proceso. Teniendo en cuenta que el cálculo de la relación Nitrógeno-Fósforo ($N:P_r$) es mayor a 10, esta relación sirve de indicativo para demostrar que el Fósforo es el elemento limitante puesto que se encontraba en menor proporción que el Nitrógeno, lo cual influye sobre la producción primaria poniendo en riesgo la estabilidad de la estructura trófica del embalse; estos factores pueden verse afectados por malas prácticas como las descargas ilegales o excesivas de efluentes de aguas residuales domésticas o industriales, desarrollo inadecuado de las cuencas, depósitos de basura y mala utilización de agroquímicos nitrogenados, entre otros.

Las recomendaciones que se presentan a continuación establecen las principales acciones que se deben llevar a cabo para la continuación de este proyecto y que deberán ser implementadas y ejecutadas para garantizar la estabilidad del embalse.

Es muy importante para la conservación del embalse seguir con este proyecto de tal manera que se logre la implementación de nuevas estrategias para determinar con más precisión la dinámica que viene sufriendo este cuerpo de agua tan importante para el departamento.

Definir un sistema de monitoreo de las características fisicoquímicas y microbiológicas durante épocas diferentes de tiempo (temporada de lluvias y época seca) con el fin de tener información completa y de esta manera poder inferir en el comportamiento dinámico del embalse en estos períodos de tiempo.

Implementar un modelo matemático o un software que determine el comportamiento del embalse respecto a la dinámica que presentan las diferentes concentraciones de nutrientes del cuerpo de agua y así implementar planes de acción a futuro buscando ampliar su vida útil.

Adelantar proyectos técnicos o de estudio de impacto ambiental evaluando posibles aspectos a considerar como depuración de aguas residuales vertidas en las cuencas tributarias, restauración hidrológico-forestal de la cuenca, usos y tiempo de residencia del agua y ordenación (limitación) de usos y actividades en el embalse.

Ahora bien, considerando que la zona de influencia del embalse en su mayoría se dedica a los floricultivos y a la agricultura, es muy importante llegar a la comunidad mediante conferencias y capacitaciones, para que puedan saber con exactitud cuál es el uso que se le está dando al embalse, sus problemáticas y posibles consecuencias si no se cambian las inadecuadas prácticas agrícolas, partiendo de los fertilizantes que se utilizan ya que contribuyen al cambio de la dinámica normal del embalse.

Se sugiere realizar estudios complementarios sobre las tendencias y cambios del fitoplancton en el embalse en cuanto a su relación con el estado trófico, teniendo en cuenta los valores de productividad y grupos funcionales, con el objetivo de que esta información ayude a definir y discutir las medidas de uso y manejo de este sistema en el tiempo.

Mantener el sistema bajo unas condiciones de calidad que se muevan dentro de los lineamientos de la integralidad ecológica, es decir, en los que se minimizan los riesgos de aparición de situaciones indeseables dentro del sistema.

Embalse. Presa de agua o área cerrada o desfiladero sobre un río, arroyo o canal con la finalidad de contener el agua en el cauce fluvial para su posterior aprovechamiento en abastecimiento o regadío, para elevar su nivel con el objetivo de derivarla a canalizaciones de riego, o para la producción de energía mecánica al transformar la energía potencial del almacenamiento en energía cinética, y ésta nuevamente en mecánica al accionar la fuerza del agua un elemento móvil.

Aguas residuales. Conjunto de las aguas que son contaminadas durante su empleo en actividades realizadas por las personas. Los trabajos agrícolas y ganaderos pueden producir una contaminación muy grave de las aguas de los ríos y los acuíferos, debida sobre todo a los vertidos de aguas cargadas de residuos orgánicos, procedentes de las labores de transformación de productos vegetales, o de los excrementos de los animales (purines principalmente).

Análisis químico. Conjunto de técnicas y procedimientos empleados para identificar y cuantificar la composición química de una sustancia. En un análisis cualitativo se pretende identificar las sustancias de una muestra. En el análisis cuantitativo lo que se busca es determinar la cantidad o concentración en que se encuentra una sustancia específica en una muestra.

Contaminación orgánica. Esta contaminación se produce por los restos de animales que contengan minerales en su organismo tales como el carbono, hidrógeno y oxígeno.

Coliforme. Grupo que incluye las bacterias de forma bacilar y aeróbicas y facultativas anaeróbicas, Gram negativas, no formadoras de esporas las cuales fermentan la lactosa, con formación de gas en un período de 48 horas, a 35 °C ó 37 °C.

Eutrofización. Designa el enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema. El uso más extendido se refiere específicamente al aporte más o menos masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático.

Fósforo. De símbolo P, es un elemento no metálico reactivo, fundamental en los organismos vivos y con múltiples aplicaciones industriales.

El fósforo forma hidruros con hidrógeno, siendo el más importante el PH_3 , semejante al amoníaco (NH_3) o hidruro de nitrógeno. Todos los halógenos se combinan directamente con el fósforo formando haluros, que se usan en la preparación de haluros de hidrógeno y compuestos orgánicos. El fósforo se halla ampliamente distribuido en la naturaleza y ocupa el lugar 11 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. No se da en estado puro, sino que se encuentra principalmente en forma de fosfato, como rocas fosfáticas y apatito. También se presenta en estado combinado en los suelos fértiles y en muchas aguas naturales. Es un elemento importante en la fisiología de animales y plantas. Está presente en todos los huesos de los animales en forma de fosfato cálcico.

Nitrógeno. De símbolo N, es un elemento gaseoso que compone la mayor parte de la atmósfera terrestre. El nitrógeno se puede fijar de dos formas industriales o biológicas.

Calidad de agua. Según su uso es la afectación de características físico-químicas, organolépticas y microbiológicas. Su composición es evaluada según la actividad relacionada con el hombre, en este caso es la estabilidad que tiene el cuerpo de agua dentro de sus condiciones estándar de calidad.

Composición mineral. La composición mineral del agua influye no sólo sobre la calidad del agua, sino también del alimento, condicionando así los niveles productivos sin tener una participación principal en los procesos químico-biológicos de los embalses.

Cuenca. Es la relación entre área y drenaje natural hacia esta misma área o cuerpo de agua, en esta ocasión es la relación área-río Chicamocha.

Desnitrificación. Producción microbiana normalmente anaeróbica de N_2 y N_2O a partir de nitritos y nitratos.

Distrofia. Condición de un lago en el cual hay sobresaturación de materia orgánica y el reciclaje de los nutrientes es muy lento.

Embalse. Cuerpo léntico de agua, creado por la acción del hombre buscando un almacenamiento de agua para épocas secas y una amortiguación de concentraciones orgánicas de los afluentes.

Eutrofia. Condición del agua rica en nutrientes.

Eutrofización. La eutrofización es el término empleado para describir los efectos biológicos del incremento en la concentración de nutrientes (usualmente Nitrógeno y Fósforo) sobre el ecosistema acuático.

Fitoplancton. Es la acción primaria de la formación de microorganismos en suspensión en el cuerpo de agua, y están constituidos por ejemplo por algas las cuales tienen capacidad fotosintética, y que en gran medida representan un riesgo para la estabilidad de los embalses.

Geología. Ciencia que estudia la forma terrestre de los componentes del planeta, teniendo en cuenta el suelo y sus componentes, para la naturaleza del embalse es preciso estas características para objetar sobre sus sedimentos y capacidad de productividad biológica.

Hipolimnio. Capa profunda de un lago, poco o no iluminada, fría y trofófica (respiración).

Léntico. Se refiere a aguas quietas (lagos, lagunas, embalses, etc.).

Materia orgánica. Es aquel material que procede de desechos de alimentos, de aguas residuales domésticas y de fábricas y es descompuesta por bacterias, protozoarios y diversos organismos mayores.

Nitrificación. Proceso de oxidación del NH_3 a NO_2 y de este a NO_3 .

Nutrientes. Estos elementos son esenciales para la vida ya que representan un efecto en la producción biológica de las especies, en este caso representarán un riesgo para el crecimiento de especies dentro del cuerpo de agua.

Oligotrofia. Condición del agua pobre en nutrientes.

Ortofosfatos. Forma inorgánica del Fósforo (PO_4) como es asimilado por las plantas y algas.

Sedimentación. Proceso por el cual el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo del río, embalse o canal artificial. Toda corriente de agua, caracterizada por su caudal, velocidad y forma de la sección y tiene una capacidad de transportar material sólido en suspensión.

BIBLIOGRAFÍA

Aguirre Ramírez, N. J. Palacio Vaena, J., Ramírez Restrepo, J. J. Características limnológicas del embalse El Peñol. Recuperado de <http://gaia.udea.edu.co/Articulos%20Hidrobiologia%20Sanitaria/Caracteristicas%20Limnologicas%20del%20embalse%20El%20Penol-Guatape,%20Colombia.pdf>.

Alcalde, R., Perl, J. E. (2006). Estado trófico del embalse Casa de Piedra (Argentina): Panorama actual y perspectivas de evolución. Recuperado de <http://www.cadp.org.ar/docs/congresos/2008/80.pdf>.

Alcaldía Municipal de Toca. (s.f.). Geografía. Recuperado de <http://toca-boyaca.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=m111--&m=f#geografia>

Alzate, J., Iribar, X. (1982). Estudio limnológico de los embalses de Artikutza y Añarbe. Recuperado de <http://www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur05/05alzate/05alzate.htm>.

Antoni Palau Ibars. (2003). Medidas de gestión y adecuación ambiental de embalses frente a la eutrofia. Recuperado de http://www.limnetica.com/Limnetica/limne22a/L22a1_Control_eutrofizacion_embalses.pdf.

Arcos Ramos, R., et al. (2004). Evaluación del componente Orgánico como un factor iniciativo del estado Trófico del lago de Xochimilo. Recuperado de http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/CA/EO/CAO-39.pdf.

Asociación de Ingenieros Sanitarios de Antioquia. (1986). Caracterización pretratamiento de las aguas residuales industriales. Medellín: AINSA.

Asociación de Ingenieros Sanitarios de Antioquia. (1986). Limnología aplicada a embalses. Medellín: AINSA.

Audersik, T. y Audersik, G. (1999). Biología la vida en la tierra. 4 ed. México: Pearson.

Carmouze, J.P. (1994). O metabolismo dos ecossistemas aquáticos. Fundamentos teóricos, métodos de estudio y análisis químicos. São Paulo: Edgar Blücher Ltda.

Colin Vaux, P. (1998). Introducción a la ecología. Recuperado de www.urp.edu.pe/.../EB_0302_Recursos_Naturales_y_Ecologia_Plan2006.pdf

Corporación Autónoma Regional de Boyacá. (2006). Formulación participativa del plan de ordenación y manejo ambiental de la cuenca alta del río Chicamocha. Recuperado de http://www.secretariadeambiente.gov.co/sda/libreria/pdf/intreg/CORPOBOYACAREGIONCENTRAL_%20POMCA.pdf.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2006). Guía para Formulación del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, Ministerio ambiente y vivienda territorial. Recuperado de http://www.car.gov.co/documentos/4_20_2006_10_27_22_AM_Guia_Elaboracion_PSMV_0306.pdf

Díaz Vargas, M., Quiros Castelas, H. (2005). Caracterización de algunos parámetros Físicoquímicas del agua y sedimento del Lago Zempoala. Recuperado de http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/id/44756645.html.

Dominik, k. & m. Höfle. (2002). Changes in bacterioplankton community structure and activity with depth in a eutrophic lake as revealed by 5S rRNA analysis. *Appl. Environ. Microbiol.*, 68, 3606-3613.

Fernando Pantoja, A. (2006). Dinámica físicoquímica y fitoplanctónica del embalse guajataca. Recuperado de <http://grad.uprm.edu/tesis/pantojaagreda.pdf>. o disponible en Proquest. <http://proquest.umi.com/pqdweb?index=18&did=1260819531&SrchMode=1&sid=5&Fmt=2&VInst=PROD&VType=PQD&RQT=309&VName=PQD&TS=1254094419&clientId=57083>.

Fontúrbel, F. (2004). Modelo operacional ambiental y aspectos sociales relevantes del proceso de eutrofización localizada en cuatro estaciones experimentales del lago Titikaka. La Paz: Publicaciones Integrales.

García, M. (2009). Las 20 presas más dañinas del entorno. Recuperado de <http://dicelocovideoweb.blogspot.com/2009/05/las-20-presas-mas-daninas-para-el.html>

González, E. J., Ortaz, M. (1998). Efectos del enriquecimiento con N y P sobre la comunidad del fitoplancton en microcosmos de un embalse tropical (La Mariposa). Recuperado de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77441998000100002&lng=es&nrm=iso. ISSN 0034-7744.

González, E. J.; Carrillo, V., Peña Herrera, C. (2004). Características físicas y químicas del embalse agua fría (Parque Nacional Macarao, Estado Miranda, Venezuela). Recuperado de <http://acta.ivic.ve/55-3/articulo5.pdf>.

Guiset, A., y Duvigneaud, P. (1981). La síntesis ecológica. Recuperado de www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/.../Progreso.

Hernández Fernández, S. (1995). Ecología para Ingenieros. El impacto ambiental. Madrid: Colegio de Ingenieros.

Ibars A., P. (1991). Dinámica del Oxígeno en el hipolimnio de un embalse nuevo y oligotrófico de alta montaña provisto de sistema de bombeo. Recuperado de <http://www.limnetica.com/Limnetica/Limne7/Limnetica-vol7-pag175-182.pdf>.

Jaimes Vera, E. R. (2002). Establecimiento del índice de contaminación trófico (ICOTRO) e índices de Carlson para el N y F para el Lago Tota (Boyacá). (Tesis inédita de Ingeniería). Tunja: Universidad de Boyacá. Facultad de Ciencias e Ingeniería, 2002.

Koneman, E. W. The Enterobacteriaceae in Diagnostic Microbiology. 5ª ed. Washington Square: Lippincott – Raven Publishers, 1997: 173- 203

López M., P. (1991). Manual teórico-práctico. Química sanitaria. Santiago de Cali: Departamento de Procesos Químicos y Biológicos.

Margalef, R. (1983). Limnología. Recuperado de www.librospdf.net/limnologia-Margalef/1/ - España.

Metcalf & Eddy. (1994). Ingeniería Sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Recuperado de www.digital.unal.edu.co/dspace/.../patriciamendozasalgado.2004%20.pdf

Millán Villaneda, A. M. (1992). Embalses Sostenibles. Estudio de un Caso Colombiano. Recuperado de http://columbus.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/480/1/mi_822.pdf.

Ministerio del Medio Ambiente de Colombia. (1996). Lineamientos de política para el manejo integral del agua. Bogotá: El Ministerio.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1993). Avances en el Manejo y Aprovechamiento Acuícola de Embalses en América Latina y el Caribe. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB488S/AB488S05.htm>.

Páez Osuna, F., Fernández Pérez, H. (1983). Comparación de tres técnicas para analizar materia orgánica en sedimentos nota científica. Recuperado de <http://biblioweb.dgsca.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1984-1/articulo180.html>.

Peralta, P., León, J. (2006). Estudios de caracterización limnológica de los embalses de la provincia de Mendoza. Programa de riego y drenaje de la provincia de Mendoza. Recuperado de http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-programas/prosap/informacion/ccays/08_01.pdf.

Pineda, C. J., Giraldo Samper, M. Agua y vida en Colombia, apuntes y conclusiones. En: Foro Paipa 2007. Recuperado de <http://site.ebrary.com/lib/bibliotecauniboyacasp/docDetail.action?docID=10287019&p00=embalses%20%20colombia>.

Presa Aswan High. (2009). (Saad el Aali, Sadd al-'Ali). Recuperado de http://www.pbs.org/wgbh/buildingbig/wonder/structure/aswan_high.html

Ramírez R., J. J y Noreña, J.F. (2004). Caracterización del sedimento de una laguna tropical raza. Recuperado de <http://www.cadp.org.ar/docs/congresos/2008/80.pdf>.

Ramírez, A. & G. Viña. (1998). Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Bogotá: Panamericana.

Romero, J. (2002). Calidad del agua. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Roldán, G. (1992). Fundamentos de Limnología Neotropical. Antioquia (Medellín): Universidad de Antioquia.

Roldán, G., et al. (Marzo, 2000). Estudio Limnológico del embalse del Guavio. Revista Académica Colombiana de la Ciencia. 24(90). Recuperado de <http://www.accefyn.org.co/PubliAcad/Periodicas/Volumen24/90/73-84.pdf>.

Roldán, G. (2002). Limnología y eutrofización de embalses en Colombia. 2da. Reunión de Eutrofización de Lagos y Embalses. Antioquia: Universidad Católica de Oriente.

Sawyer, C. N., McCarty, P. L., Parkin, G. F. (2002). Química para Ingeniería Ambiental. Limusa.

Segura Pinzón, J. E. (2006). Diagnóstico, caracterización y evaluación ambiental de la fuente abastecedora y receptora de la cabecera municipal de Toca (Boyacá). (Trabajo de grado Ingeniero Sanitario). Tunja: Universidad de Boyacá. Facultad de Ciencias e Ingeniería.

Smith, R.L. & T.M. Smith. (2001). Ecología. Madrid: Addison Wesley.

Terrel, C. & P. Bytnar. (1996). Water quality indicators guide. Kendall/Hunt publishing company, Dubuque.

Vásquez, C., Ariza, A., Pinilla, G. (2009). Descripción del estado trófico de diez humedales del altiplano cundiboyacense. Revista de la Facultad de Ciencias Pontificia. 11. Recuperado de <http://site.ebrary.com/lib/bibliotecauniboyacasp/docDetail.action?docID=10307155&p00=embalses%20%20colombia>.

Vázquez, L., Ríos, R. A. (2001). Estudio sobre las concentraciones de nitrógeno y fósforo en los embalses de Puerto Rico. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/REPDOM/vasquez.pdf>.

Vicente, E., de Hoyos, C., Sánchez, P., Cambra, J. (2005). Metodología para el Establecimiento del Estado Ecológico, según la Directiva Marco del Agua. Protocolos de Muestreo y Análisis de Fitoplancton. Madrid: Ministerio del Medio Ambiente.

Vollenweijer, R. A. (1968). Water management research. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Organization for Economic Co-operation and Development. Directorate for Scientific Affairs. Paris: Mimeographed.

Wetzel, Robert. Limnología. Barcelona: Omega S.A.

Este libro se terminó de imprimir
en el mes de junio de 2014 en
BÚHOS EDITORES LTDA.