

**ESTUDIO DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE FILTRACIÓN LENTA EN ARENA DEL ACUEDUCTO  
DE RÍO NEGRO, MUNICIPIO DE POPAYÁN**



Universidad  
del Cauca

MAYRA ANDREA ZAMORA MORENO

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA  
POPAYAN  
2010

**ESTUDIO DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE FILTRACIÓN LENTA EN ARENA DEL ACUEDUCTO  
DE RÍO NEGRO, MUNICIPIO DE POPAYÁN**

MAYRA ANDREA ZAMORA MORENO

Director  
GERARDO IGNACIO NAUNDORF  
PROFESOR DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
Universidad del Cauca

Trabajo de grado presentado como requisito parcial  
Para optar al título de Biólogo

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA  
POPAYAN  
2010

**Nota de Aceptación**

---

---

---

**Director:** \_\_\_\_\_  
Profesor GERARDO IGNACIO NAUNDORF

Jurado: \_\_\_\_\_  
Profesora CLARA INES GIRALDO

Jurado: \_\_\_\_\_  
Profesora SANDRA CARLINA RIVAS

Popayán, 4 de Marzo de 2010

A Dios porque me guió en el camino correcto y me dio fuerzas para  
impulsarme y sacar adelante mi estudio y todos mis propósitos  
A mi padre por brindarme su amor además de ser un inmenso apoyo y un  
gran ejemplo académico  
A mi madre por el cariño, confianza y apoyo que me manifiesta y por su  
compañía en los momentos que la he necesitado  
A mis hermanos por su estímulo, amor y por estar pendientes de mi en todo  
momento  
A mi novio por alentarme y ayudarme a recobrar la calma cuando lo necesito  
A mis amigos por ayudarme a aclarar mi mente y compartir conmigo tantos  
momentos de felicidad  
Y finalmente a todas las personas que me ayudaron de alguna forma a  
culminar exitosamente esta etapa de mi vida

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi director Mcs Gerardo Ignacio Naundorf por su colaboración, tiempo y orientación.

A los funcionarios de la Asociación Acueducto Rural Río Negro y especialmente al Señor José Elmer Caldón por su acompañamiento y colaboración.

A Orlando Velazco, Geógrafo de la Universidad del Cauca por el suministro de información sobre el plan de ordenación de la microcuenca Chiguará.

A Oscar Felipe Jiménez, Biólogo de la Universidad del Cauca por su aporte y colaboración.

A Alejandro Jiménez, Estudiante de Biología de la Universidad del Cauca por su acompañamiento y colaboración.

A la Universidad del Cauca por los servicios prestados en el laboratorio de Microbiología y de Recursos Hidrobiológicos del departamento de Biología y al Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria del departamento de Ingeniería Ambiental y a sus respectivos funcionarios.

A la Asociación Acueducto Rural Río Negro por su financiamiento y suministro de información.

A la unidad de microscopía electrónica de la Universidad del Cauca por facilitarlos instrumentos para fotografiar las muestras de perifíton.

Finalmente, a todas las personas que de alguna manera colaboraron con el desarrollo de este trabajo.

## CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN.....	12
1. JUSTIFICACIÓN.....	14
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo general .....	15
2.2 Objetivos específicos:.....	15
3. MARCO REFERENCIAL .....	16
3.1 La filtración lenta en arena.....	16
3.1.1 Mecanismos de transporte.....	16
3.1.2 Mecanismo de adherencia.....	17
3.1.3 Mecanismo biológico de desinfección .....	17
3.2 Disposiciones legales para la calidad microbiológica del agua de consumo humano en Colombia. ....	20
3.3 Filtración por membrana.....	21
3.3.1 Bacterias coliformes.....	22
3.4 Disposiciones legales para la calidad fisicoquímica del agua de consumo humano.....	23
3.5 El Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano - IRCA. ....	25
3.6 El ensamble perifítico .....	27
3.7 El perifíton como indicador de la calidad del agua.....	28
4. ANTECEDENTES.....	30
4.1 Calidad de aguas para consumo humano .....	30
4.2 Experiencia previa.....	30
5. METODOLOGIA .....	32
5.1 Área de estudio.....	32
5.2 Análisis bacteriológicos .....	11
5.3 Análisis de la comunidad biológica .....	11
5.4 Determinación de los parámetros fisicoquímicos .....	12
5.5. Calculo del IRCA. ....	12
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	13
6.1 Análisis Bacteriológicos .....	13
6.2 Composición de la comunidad Perifítica .....	17
6.3 Bioindicación de la comunidad perifítica .....	10
6.4 Análisis Fisicoquímico.....	11
7. CONCLUSIONES .....	13
8. RECOMENDACIONES.....	14
BIBLIOGRAFÍA.....	15

## LISTA DE TABLAS

Pág.

<b>Tabla 1.</b> Ventajas y desventajas de la filtración lenta en arena.....	18
<b>Tabla 2.</b> Disposiciones gubernamentales de las características microbiológicas que debe cumplir el agua para consumo humano.....	19
<b>Tabla 3.</b> Disposiciones gubernamentales de las características físicas que debe cumplir el agua para consumo humano.....	21
<b>Tabla 4.</b> Disposiciones gubernamentales de las características químicas con implicaciones sobre la salud humana que debe cumplir el agua para consumo humano.....	22
<b>Tabla 5.</b> Disposiciones gubernamentales de las características químicas con consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana.....	22
<b>Tabla 6.</b> Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano, IRCA.....	23
<b>Tabla 7.</b> Clasificación del nivel de riesgo según el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano, IRCA.....	25
<b>Tabla 8.</b> Resultados bacteriológicos del acueducto Río Negro.....	35
<b>Tabla 9.</b> Valores de los IRCA por muestra y mensuales en el acueducto Río Negro.....	36
<b>Tabla 10.</b> Cobertura y uso de la tierra, Microcuenca Chiguará, Municipio de Sotará, Cauca.....	39
<b>Tabla 11.</b> Número de individuos, porcentaje, densidad y Shannon Weaver de la comunidad perifítica encontrada en los lechos filtrantes del acueducto Río Negro.....	40
<b>Tabla 12.</b> Composición del perifíton del acueducto Río Negro.....	41
<b>Tabla 13.</b> Bioindicación de los géneros presentes en el perifíton de los filtros de arena del acueducto Río Negro.....	45
<b>Tabla 14.</b> IRCA general para cada punto de muestreo.....	47
<b>Tabla 15.</b> Parámetros Fisicoquímicos en el punto uno de muestreo del acueducto Río Negro.....	49
<b>Tabla 16.</b> Parámetros Fisicoquímicos en el punto dos de muestreo del acueducto Río Negro.....	49
<b>Tabla 17.</b> Parámetros Fisicoquímicos en el punto tres de muestreo del acueducto Río Negro.....	50

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Acueducto de Río Negro.....	30
<b>Figura 2.</b> Localización del acueducto Río Negro y la bocatoma.....	31
<b>Figura 3.</b> Plano de la distribución general del acueducto Río Negro.....	32
<b>Figura 4.</b> Sistema de filtración en múltiples etapas del acueducto Río Negro; A: Filtros gruesos ascendentes; B: tanque de almacenamiento; C: Filtros lentos de arena.....	32
<b>Figura 5.</b> Dispersión de los coliformes totales en el acueducto Río Negro...37	
<b>Figura 6.</b> Dispersión de los coliformes fecales en el acueducto Río Negro. 38	
<b>Figura 7.</b> Alga Perifítica del género <i>Navicula</i> .....	39
<b>Figura 8.</b> Alga Perifítica del género <i>Frustulia</i> .....	39
<b>Figura 9.</b> Alga Perifítica del género <i>Pinnularia</i> .....	40
<b>Figura 10.</b> Alga Perifítica del género <i>Gonium</i> .....	40
<b>Figura 11.</b> Algas perífíticas: A, B: <i>Mougeotia</i> , C: <i>Zygnema</i> .....	43
<b>Figura 12.</b> Dendrograma de Bray Curtis para el perifiton del acueducto Río Negro.....	44
<b>Figura 13.</b> Dendrograma de Bray Curtis para las muestras fisicoquímicas tomadas en el acueducto de Río Negro.....	47



## RESUMEN

En esta investigación se realizó una caracterización biológica y fisicoquímica del agua en tres puntos durante el proceso de tratamiento llevado a cabo en el acueducto rural de Río Negro, ubicado en el municipio de Popayán, que cuenta con un sistema de filtración lenta en arena en múltiples etapas, con el fin de determinar la calidad del agua para consumo humano y la eficiencia del tratamiento aplicado. Para esto se tomaron muestras para análisis bacteriológicos, fisicoquímicos y del perifíton presente en los lechos de los filtros lentos de arena, con base en los métodos estándar (APHA 1992) y para tres puntos de muestreo, a saber: entrada del agua cruda, sistema de filtros dinámicos y tanque de distribución.

Los análisis bacteriológicos mediante el método de filtración en membrana arrojan que en el punto de entrada del agua cruda los organismos coliformes totales fueron en promedio de 78,47, mientras que para el sitio dos fueron de 67,97 y de 38,22 para el sitio tres. En cuanto a los coliformes fecales variaron entre 2,35 para el sitio uno, 0,21 para el sitio dos y 0,38 para el sitio tres. Aunque se observa una disminución en la población de organismos coliformes (totales y fecales) a medida que se avanza en el tratamiento, los valores indican que no se produce un agua de calidad y por lo tanto no cumple con los requerimientos exigidos en la resolución 2115 de 2007.

El índice de riesgo de la calidad del agua -IRCA presenta valores promedios de 64,84 en el punto uno, 50,15 en el punto dos y 36,09 en el punto tres. Aunque se presenta una disminución en el IRCA a medida que se avanza en el tratamiento, los valores indican alto riesgo y se encuentra por encima de los valores permitidos para aguas de consumo humano. Se requiere una vigilancia especial y se recomienda iniciar procesos de desinfección ya sea por cloración u otro método que complemente el tratamiento y mejore la calidad de agua producida.

El análisis de la comunidad perifítica indica que predominó el grupo de las diatomeas durante el tiempo de estudio y en especial los géneros *Navicula* (27,84%) y *Frustulia* (24,7%), algas de distribución cosmopolita, bioindicadoras de aguas con algún grado de enriquecimiento de nutrientes, categorizada como mesotróficas. Dichos nutrientes se originan presumiblemente por los aportes que recibe el acueducto Río Negro de la microcuenca Chiguará, fuente del agua cruda para el tratamiento.

**Palabras claves:** Calidad Filtración de múltiples etapas, bacterias coliformes, perifíton, Acueducto de Río Negro

## INTRODUCCIÓN

La vida ha aparecido y se ha desarrollado sobre nuestro planeta en plena adaptación al medio líquido. Los organismos contienen gran cantidad de agua y casi toda la química de la vida es química de soluciones acuosas. (Margalef 1955)

Ningún proceso metabólico ocurre sin la acción directa o indirecta del agua; ésta disuelve rocas, erosiona terrenos y arrastra sedimentos a lagos, ríos y al océano. Cubre el 71% de la superficie de la Tierra y es el medio natural para muchas formas de vida. (Roldán y Ramírez 2008). Se calcula que sólo una pequeña fracción (0.035%) del agua dulce del planeta se encuentra en los ríos y cuerpos de agua, el resto se encuentra como agua subterránea (1.05%), glaciares (2.415%) y la gran mayoría como agua salada en mares y océanos (96.5%). (Méndez N., Gómez N., Iglesias P. 2006)

Como se sabe, el agua es indispensable para la humanidad, especialmente las aguas continentales, ya que son utilizadas para gran cantidad de actividades como; consumo directo, producción y recreación, por lo tanto es de gran importancia realizar estudios que permitan desarrollar un uso adecuado de la misma y nos ayuden a entender las dinámicas de esta sustancia. Por esta razón se instauró una ciencia encargada del estudio de las relaciones funcionales y de productividad de las comunidades de agua dulce y la manera en que las afecta el ambiente físico, químico y biológico que es llamada limnología.

El agua fue considerada como un recurso inagotable y renovable, pero muchas de las actividades humanas han alterado su ciclo natural y han ocasionado contaminaciones y cambios prácticamente irreversibles en sus propiedades fisicoquímicas.

Colombia no es ajena a la problemática mundial sobre la escasez y alteración de las aguas, especialmente las que se utilizan como fuentes para consumo humano, pues se han producido notables alteraciones de los ecosistemas de páramo y los bosques andinos, con pérdida de amplias áreas de cobertura de vegetación natural y suelos que transforman la capacidad de regulación hídrica. (Méndez N., Gómez N., Iglesias P. 2006), los cuales son fundamentales para mantener los suministros del recurso agua.

Adicionalmente, los cuerpos de agua del país están siendo contaminados debido a vertimientos de aguas servidas o empleadas

en diferentes procesos que por lo general no reciben tratamiento previo. Además, el agua de escorrentía arrastra residuos orgánicos, de abonos y plaguicidas, sedimentos y metales pesados que generan la contaminación de las quebradas y ríos del departamento.

Dado que el agua para consumo humano se toma principalmente de los ríos y quebradas que pasan por los diferentes municipios, se hace imperativo contar con plantas de tratamiento que garanticen el suministro de agua potable de calidad a sus habitantes.

Entre otros mecanismos, en los últimos años se ha planteado el proceso de filtración en múltiples etapas como una posible solución al problema de suministro de agua, particularmente para los acueductos rurales, como es el caso El acueducto de Río Negro ubicado en el municipio de Popayán y que suministra agua a 12 veredas de los municipios de Timbío, Sotará y Popayán.

En este trabajo se pretende evaluar la calidad del agua producida por la planta de tratamiento de agua para consumo humano del acueducto de Río Negro. Para tal efecto se realizaron análisis físicoquímicos hídricos, bacteriológicos y de la comunidad periférica que se desarrolla sobre los filtros de arena.

De esta manera se pretende colaborar con información que permita un mejor conocimiento de los procesos que se desarrollan en este sistema de tratamiento y de igual manera establecer información sobre la calidad de agua que suministra el acueducto y plantear posibles soluciones para mejorar la provisión del agua a la comunidad.

## 1. JUSTIFICACIÓN

Es importante realizar análisis de calidad en el agua para consumo humano ya que ésta debe presentar condiciones específicas para evitar el origen de enfermedades en la comunidad que la utilice.

En los últimos años en Colombia en zonas rurales, ha logrado considerable desarrollo la filtración lenta en arena, pues ofrece ventajas importantes - bajos costos, facilidad de montaje, manejo, mantenimiento y acceso a materiales - que han hecho que en veredas, localidades y viviendas se instalen filtros que proporcionan agua de calidad aceptable para los consumidores.<sup>1</sup>

Por tanto es interesante realizar estudios biológicos en los procesos que se presentan a través de este tratamiento, que permitan identificar las comunidades, en este caso perifíticas, que participan en los procesos de tratamiento del agua y se desarrollan en los lechos de arena de los filtros, así como sobre la calidad del agua que producen y por ende de la eficiencia que estos sistemas ofrecen.

El acueducto de Río Negro, el cual abastece de agua potable a 1300 viviendas, con un promedio de cinco a siete personas por vivienda, ubicadas en 12 veredas de los municipios de Timbío, Sotará y Popayán. Cuenta con una demanda de aproximadamente 400L/día por habitante. Por esta razón requiere de análisis permanentes para establecer la calidad del agua, con base en las disposiciones legales existentes.

Este trabajo pretende realizar los análisis para establecer la calidad desde el punto de vista biológico, con especial referencia a la determinación de las bacterias indicadoras de calidad, a saber las coliformes totales y fecales, así como establecer la composición de la comunidad biológica que se desarrolla sobre los filtros de arena y que son los responsables en gran medida de la eliminación de la contaminación en general de las aguas a tratar y la calidad fisicoquímica del agua con base a las estipulaciones de la resolución número 2115 de 2007. Adicionalmente, se pretende evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento utilizado en el acueducto Río Negro.

---

<sup>1</sup> (<http://apramat.iespana.es/MANEJO%20DE%20AGUAS/FLA1.pdf>)

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

- Evaluar la calidad del agua y la eficiencia de una planta de tratamiento de agua para consumo humano del tipo de filtración lenta en arena.

### **2.2 Objetivos específicos:**

- Evaluar la calidad físico química de la fuente de agua y del agua tratada para consumo humano del acueducto rural Río Negro, de acuerdo con lo establecido en el capítulo II de la resolución número 2115 de 2007 emitida por el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Evaluar la calidad microbiológica del agua en el acueducto Río Negro, de acuerdo con lo establecido en el capítulo III de la resolución número 2115 de 2007 emitida por el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Calcular el índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano, IRCA, de acuerdo con lo establecido en el capítulo IV de la resolución número 2115 de 2007 dada por el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Caracterizar la comunidad de algas perifíticas asociados a los filtros utilizados en el proceso de tratamiento del acueducto de Río Negro.

### **3. MARCO REFERENCIAL**

#### **3.1 La filtración lenta en arena**

La filtración lenta en arena (FLA) es el sistema de tratamiento de agua más antiguo del mundo y se basa en el proceso natural de purificación que se da cuando el agua de lluvia atraviesa los estratos de la corteza terrestre y forma los acuíferos o ríos subterráneos: Es principalmente utilizado para eliminar la turbiedad del agua, sin embargo, si se diseña y opera convenientemente resulta de eficacia como un sistema de desinfección del agua.

Esta metodología que fue descrita por Huisman & Wood en 1974, consta de una caja o tanque que contiene una capa sobrenadante del agua que se va a desinfectar, un lecho filtrante de arena, drenajes y un juego de dispositivos de regulación y control.

Así pues, se debe entender que un filtro lento tradicional funciona con un proceso complejo que contiene varias operaciones como son el tamizado, sedimentación, adsorción, oxidación y acción bacteriana, que se dan mientras el agua atraviesa un lecho descendente de arena lo cual lleva a su potabilización. En este proceso actúan diferentes mecanismos físicos o de remoción y desinfección (biológico), los cuales serán descritos brevemente a continuación.

##### **3.1.1 Mecanismos de transporte**

Corresponden a una etapa de remoción básicamente hidráulica en donde se da una reducción en la velocidad lo que hace que se aumente la sedimentación y por lo tanto ocurren mecanismos que generan la colisión entre las partículas y granos de arena. Esto se genera mediante diferentes procesos: 1) al cernido donde las partículas de mayor tamaño son retenidas por el filtro; 2) la intercepción donde las partículas pueden colisionar con los granos de arena; 3) la sedimentación en la que actúan la fuerza de gravedad, fuerzas electrostáticas y 4) atracción de masas provocando la colisión de las partículas con los granos de arena; 5) la difusión que es provocada cuando cambia la trayectoria de las partículas debido a pequeñas variaciones de energía térmica en el agua y los gases disueltos en ella; y finalmente 6) el flujo intersticial el cual se presenta por el cambio continuo de dirección del flujo generando colisiones entre las partículas.

### 3.1.2 Mecanismo de adherencia

Este se da gracias a la acción de fuerzas eléctricas, acciones químicas y atracción de masas, así como por la película biológica que crece sobre ellos y es por medio de esta que se remueven las partículas que han colisionado en el medio filtrante.

### 3.1.3 Mecanismo biológico de desinfección

Trabaja junto al mecanismo de adherencia y son los responsables de la remoción completa de las partículas. Requiere de la formación vigorosa y suficiente de una capa biológica, conformado por bacterias depredadoras transportadas por el agua que utilizan como fuente de alimentación el depósito de materia orgánica y se reproducen selectivamente.

El contenido bacteriológico está limitado por el contenido de materia orgánica en el agua cruda y es acompañado de un fenómeno de mortalidad concomitante, durante el cual se libera materia orgánica para ser utilizada por las bacterias de las capas más profundas y así sucesivamente. De este modo, la materia orgánica degradable presente en el agua cruda se descompone gradualmente en agua, dióxido de carbono y sales relativamente inocuas, como sulfatos, nitratos y fosfatos (proceso de mineralización), los cuales son descargados en el efluente de los filtros.<sup>2</sup>

El agua a tratar entra en el volumen líquido que se encuentra encima del lecho filtrante (sobrenadante), en espera de su paso por el lecho de arena en el cual se tiene una permanencia hidráulica entre 4 y 12 horas (según sea la velocidad de filtración), que sirve para sedimentar las partículas más grandes y aglutinar a las más pequeñas para facilitar su remoción, así mismo crecen algas en las capas superiores bajo la influencia de la luz solar, que en general son favorables al tomar del agua dióxido de carbono, nitratos, fosfatos y otros nutrientes para formar material celular y oxígeno.<sup>3</sup>

En la parte superior del filtro se forma una película delgada activa la cual es llamada capa biológica o biopelícula con una textura gelatinosa y que está constituida por algas y otros microorganismos como las bacterias, protozoos y metazoos microscópicos. Es aquí donde el agua se libera de la mayoría de las impurezas (partículas minerales grandes, materia orgánica, algas vivas y muertas, parásitos y otros contaminantes) que son atrapadas

---

<sup>2</sup> <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo5.pdf>

<sup>3</sup> [http://www.frbb.utn.edu.ar/frbb/images/stories/frbb/materias/ingenieria\\_sanitaria/ENOHSa%20Filtracion%20lenta.pdf](http://www.frbb.utn.edu.ar/frbb/images/stories/frbb/materias/ingenieria_sanitaria/ENOHSa%20Filtracion%20lenta.pdf)

por los organismos presentes en esta capa superficial. Un fenómeno similar ocurre en el interior del manto donde los granos de arena se cubren por una capa compuesta principalmente por bacterias, bacteriófagos, rotíferos y protozoarios que degradan la materia orgánica proveniente del agua que se está tratando. Sin embargo, no presentan una gran eficiencia bacteriológica como se da en los primeros que al obtener la energía de la luz solar digieren y desdoblán en elementos más simples el material que se retiene y eliminan las bacterias patógenas.

La mayor retención de impurezas se da en los primeros 40 cm de profundidad del lecho de arena en donde intervienen procesos como el transporte, la adherencia o adsorción y la actividad biológica, además de procesos de sedimentación debido a la acción mecánica y la adsorción que se atribuye parcialmente a fuerzas eléctricas, a uniones químicas y a actividad molecular.

Se considera que 1 m<sup>3</sup> de manto contiene 15.000 m<sup>2</sup> de superficie (para un tamaño efectivo de 0,25 mm y porosidad inicial de 38%), lo que provoca la remoción de partículas superiores a 4 micrones (0,004 mm) con escurrimiento laminar en los poros o espacios vacíos entre los granos de arena (la porosidad varía entre el 38% y el 45% para la granulometría aceptada para filtros lentos).<sup>4</sup>

Así pues, la materia orgánica puede ser transformada de manera bioquímica y bacteriana en compuestos que sirven de revestimiento de los granos de arena. Otra parte es oxidada y proporciona energía a la bacteria para su metabolismo y también puede ser transformada en material celular que es utilizado para el desarrollo bacterial.

De esta manera el agua cruda que ingresa pierde sólidos suspendidos, coloides y microorganismos y en el proceso se transforman las impurezas y las células asimiladas en material inorgánico inocuo, el cual se evacua por el efluente del filtro. Un aspecto a considerar es que en el transcurso del agua por el filtro se presenta una reducción de oxígeno, la cual se debe compensar implementando un elemento de aireación en la salida.

El lecho de arena hasta los 40 cm de profundidad presenta tres zonas demarcadas: superior o capa biológica, intermedia o zona autótrofa y la inferior o zona heterótrofa. Lo anterior conlleva a la importancia de la formación de la capa biológica para lo cual el filtro debe presentar una etapa de “maduración” la cual puede darse en varios días o semanas y que se

---

4

[http://www.frbb.utn.edu.ar/frbb/images/stories/frbb/materias/ingenieria\\_sanitaria/ENOHSa%20Filtracion%20lenta.pdf](http://www.frbb.utn.edu.ar/frbb/images/stories/frbb/materias/ingenieria_sanitaria/ENOHSa%20Filtracion%20lenta.pdf)



reflejara en la eficiencia del filtro. También influirá la calidad del agua cruda, el diseño de las instalaciones, la operación y el mantenimiento.

Hasta ahora las investigaciones han demostrado que el método de filtración lenta en arena es muy eficiente en la eliminación de microorganismos patógenos como virus, helmintos, bacterias y protozoarios, además de la remoción de materia suspendida contenida en el agua cruda (ENOHSA, Ordeñana y Herrera). Entre los patógenos se encuentran los coliformes fecales, los cuales ven limitada su supervivencia en el lecho del filtro ya que la temperatura del agua es mucho más baja de la requerida por ellos y no tienen la cantidad necesaria de materia orgánica. Estos microorganismos son el parámetro fundamental para determinar la calidad del agua cruda y la eficiencia del proceso ya que están presentes en aguas contaminadas con heces humanas y de animales y causan enfermedades de origen hídrico, considerando el nivel de contaminación según la presencia o ausencia de estas y no por la densidad bacteriana.

Como se mencionó anteriormente, las eficiencias esperadas en el proceso de filtración lenta dependen de la calidad del agua cruda y esta se debe considerar con los siguientes parámetros: la turbiedad del efluente tratado debe ser menor a 1 UT, el color debe ser reducido aproximadamente un 50% (según Azevedo Netto, aunque hay reportes en la literatura desde 30 – 90%), que la velocidad de filtración no supere  $4,8 \text{ m}^3/\text{d m}^2$  (20 m/h) y que tenga una eficiencia de remoción de microorganismos según Di Bernardo de<sup>5</sup>:

- Bacterias entéricas: 90 a 99,9 %.
- Cercarias de esquistosomas: 100 %.
- Quistes de protozoarios: 90 a 99,9 %.
- Huevos de helmintos: 100 %.
- Virus: 100 %.

Es importante señalar que los subproductos de este mecanismo son netamente naturales (dióxido de carbono y sales relativamente inocuas, como sulfatos, nitratos y fosfatos, además de un contenido bajo de oxígeno disuelto) de degradación biológica y por tanto no conllevan ningún riesgo para la salud, esto gracias a que es innecesaria la acción de sustancias químicas sobre la materia disuelta en el agua.

Finalmente es de utilidad conocer los beneficios y problemas que trae consigo este mecanismo, para lo cual se presenta en la siguiente tabla.

---

5

**Tabla 1.** Ventajas y desventajas de la filtración lenta en arena <sup>6</sup>

<b>Ventajas y desventajas de la filtración lenta</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
La mayor ventaja de esta unidad reside en su simplicidad. El filtro lento sin controlador de velocidad y con controles de nivel mediante vertederos es muy sencillo y confiable de operar con los recursos disponibles en el medio rural de los países en desarrollo.	El filtro lento sin pretratamiento, no debe operar con aguas con turbiedad mayor de 20 ó 30 UNT; esporádicamente se pueden aceptar picos de 50 a 100 UNT.
No hay cambios organolépticos en la calidad del agua	La eficiencia de esta unidad se reduce con la temperatura baja.
Las comunidades aceptan el agua tratada por la FLA	La presencia de biocidas o plaguicidas en el afluente pueden modificar o destruir el proceso microbiológico en el que se basa la filtración lenta.

<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan/020867/020867-16.pdf>

### **3.2 Disposiciones legales para la calidad microbiológica del agua de consumo humano en Colombia.**

La calidad del agua para consumo humano fue establecida mediante la Resolución 2115 del año 2007 promulgada por el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. En dicha resolución se establecen los siguientes criterios y parámetros:

Artículo 11. *Características microbiológicas.* Las características microbiológicas del agua para consumo humano deben enmarcarse dentro de los siguientes valores máximos aceptables desde el punto de vista microbiológico, los cuales son establecidos teniendo en cuenta los límites de confianza del 95% y para técnicas con habilidad de detección desde 1 Unidad Formadora de Colonia (UFC) ó 1 microorganismo en 100 cm<sup>3</sup> de muestra:

---

<sup>6</sup> <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan/020867/020867-16.pdf>

**Tabla 2.** Disposiciones gubernamentales de las características microbiológicas que debe cumplir el agua para consumo humano

<b>Características microbiológicas</b>		
Técnicas utilizadas	Coliformes Totales	Escherichia coli
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>
Sustrato Definido	0 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>	0 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>
Presencia – Ausencia	Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>	Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>

[http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/agsresolucion%202115-07 .pdf](http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/agsresolucion%202115-07.pdf)

Parágrafo 2°. Ninguna muestra de agua para consumo humano debe contener E.coli en 100 cm<sup>3</sup> de agua, independientemente del método de análisis utilizado.

### **3.3 Filtración por membrana**

Los métodos de análisis bacteriológicos consisten en análisis rutinarios para determinar la presencia de coliformes en el agua. Las bacterias coliformes no son patógenas, pero se asocian a menudo con organismos que si lo son, convirtiéndose en un claro índice de seguridad bacteriológica en un cuerpo de agua. Las bacterias coliformes viven normalmente en los intestinos del hombre y otros organismos de sangre caliente. Estas bacterias son más resistentes que las bacterias patógenas; por ello, su ausencia en el agua es un índice de que el agua es bacteriológicamente segura para la salud humana. Para determinar la calidad bacteriológica del agua se utilizan varias técnicas, entre las cuales, las más usadas, son el método de filtración por membrana y la técnica de sustrato definido. (Roldán 2008)

La técnica se fundamenta en la filtración de un volumen conocido de muestra o de sus diluciones, a través de una membrana con poros muy pequeños que pueden retener los microorganismos. Las bacterias atrapadas en los poros pueden crecer localmente y formar una colonia observable a simple vista. Se supone que en cada poro entra sólo una bacteria. La filtración se realiza con un dispositivo (embudo de filtración) estéril, montado sobre un

frasco receptor con un soporte para la membrana de filtración. El sistema de filtración se completa con una bomba de succión. (Roldán 2008)

En términos generales la técnica consiste en pasar la muestra de agua a través de un filtro de membrana que posteriormente es transferido a la superficie de un medio sólido o sobre un soporte absorbente, conteniendo el medio líquido deseado. El uso del medio apropiado permite la detección rápida de los coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales por sus colonias características. (Prescott, 2004)

La técnica de filtración en membrana es altamente reproducible y puede utilizarse para estudiar volúmenes relativamente grandes de muestra, debe tenerse presente que esta técnica es muy efectiva para medir calidad de agua potable, pero tiene limitaciones con aguas turbias.

Esta técnica es utilizada para analizar la presencia de coliformes y coliformes fecales, y recuperar eficazmente los coliformes estresados y se ha convertido en el método más común y preferido para evaluar las características microbiológicas del agua. (Prescott, 2002)

### **3.3.1 Bacterias coliformes.**

El agua contenida en lagos, pantanos, ríos, arroyos y mares es llamada superficial, y está sometida en mayor o en menor grado a contaminación por microorganismos provenientes del agua atmosférica (precipitación), de corrientes superficiales y de todos los desechos o vertimientos deliberados que se hacen en ellas. Las poblaciones bacterianas por tanto, difieren en número y calidad, según la procedencia del agua, su composición de elementos nutritivos y las condiciones biológicas, climatológicas y geofísicas. (Roldán, 2008)

Las bacterias que se encuentran en el agua pueden agruparse en tres clases: bacterias naturales del agua, bacterias del suelo y bacterias de origen intestinal. Entre estos últimos se encuentran los provenientes de la flora normal del intestino del hombre y de los animales de sangre caliente y se consideran indicadores de contaminación. En los análisis rutinarios del laboratorio no se acostumbra a diferenciar las especies, ya que se les considera a todas, en forma colectiva, como miembros del grupo coliforme, y se les da la misma importancia desde el punto de vista sanitario. La determinación de la presencia del grupo coliforme constituye el indicio más serio y fidedigno de contaminación, así como la eficacia de la de la purificación y de la potabilidad del agua. (Roldán, 2008)

Los coliformes resultan muy útiles en análisis de agua para determinar el nivel de contaminación de la misma, debido a las características bioquímicas que presentan y su fácil identificación. Las bacterias de este género se encuentran principalmente asociados al tracto intestinal tanto de humanos como de animales de sangre caliente sin embargo se introducen en gran número al medio ambiente por las heces de estos siendo esta la principal razón por la cual se utilizan como indicadores de contaminación fecal.

En lo que se refiere a la técnica del filtro de membrana, el grupo coliforme puede definirse como el formado por las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gram negativas, no esporuladas y de forma alargada, que desarrollan una colonia roja con un brillo metálico en un medio tipo Endo que contenga lactosa tras una incubación de 24 horas a 35 °C. Al estudiar cultivos purificados de bacterias coliformes, se observa una reacción de citocromo oxidasa (CO) negativa y una de p-galactosidasa (ONPG) positiva. En esta técnica, todas las colonias rojas, rosadas, azules, blancas o incoloras que no tienen brillo suelen ser consideradas como no coliformes. El grupo coliforme así definido se caracteriza por producir aldehídos a partir de la fermentación de la lactosa. (APHA, 1992)

Esta clasificación es netamente operacional y no tiene carácter taxonómico y por ello dentro de los coliformes se incluyen una gran variedad de microorganismos, siendo la mayoría pertenecientes al grupo de las bacterias entéricas. (Madigan, Martiko y Perder, 2004)

### 3.4 Disposiciones legales para la calidad fisicoquímica del agua de consumo humano.

La resolución 2115 de 2007 expresa los siguientes criterios y parámetros para la caracterización de la calidad del agua desde el punto de vista físico químico, tal como se indica en las siguientes tablas.

**Tabla 3.** Disposiciones gubernamentales de las características físicas que debe cumplir el agua para consumo humano

<b>Características Físicas</b>		
<b>Características físicas</b>	<b>Expresadas como</b>	<b>Valor máximo aceptable</b>
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad(UNT)	2

[http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/agsresolucion%202115-07 .pdf](http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/agsresolucion%202115-07.pdf)

**Tabla 4.** Disposiciones gubernamentales de las características químicas con implicaciones sobre la salud humana que debe cumplir el agua para consumo humano

<b>Características químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana</b>		
<b>Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana</b>	<b>Expresados como</b>	<b>Valor máximo aceptable (mg/L)</b>
Carbono Orgánico Total	COT	5
Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,1
Nitratos NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 10	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10
Fluoruros	F <sup>-</sup>	1

[http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/agsresolucion%202115-07 .pdf](http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/agsresolucion%202115-07.pdf)

**Tabla 5.** Disposiciones gubernamentales de las características químicas con consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana

<b>Características químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana</b>		
<b>Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico</b>	<b>Expresadas como</b>	<b>Valor máximo aceptable (mg/L)</b>
Calcio	Ca	60
Alcalinidad Total	CaCO <sub>3</sub>	200
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	250
Aluminio	Al <sub>3</sub> <sup>+</sup>	0,2
Dureza Total	CaCO <sub>3</sub>	300
Hierro Total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36

Manganeso	Mn	0,1
Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,5

[http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/agsresolucion%202115-07 .pdf](http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/agsresolucion%202115-07.pdf)

### 3.5 El Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano - IRCA.

El decreto 1575 de 2007 establece el IRCA como el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano. Este índice tiene por objeto asociar el riesgo a la salud humana causado por los sistemas de abastecimiento y establecer los respectivos niveles de riesgo.

El IRCA resulta de la calificación del agua de consumo humano con base en los puntajes que se le asignan según la siguiente tabla para los parámetros estipulados para su análisis:

**Tabla 6.** Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano, IRCA

Característica	Puntaje de riesgo	Característica	Puntaje de riesgo
Color Aparente	6		
Turbiedad	15	Sulfatos	1
pH	1.5	Hierro Total	1.5
Cloro Residual Libre	15	Cloruros	1
Alcalinidad Total	1	Nitratos	1
Calcio	1	Nitritos	3

Fosfatos	1	Aluminio (Al <sup>3+</sup> )	3
Manganeso	1	Fluoruros	1
Molibdeno	1	COT	3
Magnesio	1	Coliformes Totales	15
Zinc	1	<i>Escherichia Coli</i>	25
Dureza Total	1	Sumatoria de puntajes asignados	100

[http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/agsresolucion%202115-07 .pdf](http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/agsresolucion%202115-07.pdf)

El valor del IRCA es cero (0) puntos cuando cumple con los valores aceptables para cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas contempladas en la Resolución y cien puntos (100) para el más alto riesgo cuando no cumple ninguno de ellos.

El cálculo del IRCA está contemplado en el artículo 14 de la resolución 2115 de 2007 y se establece con base en las siguientes fórmulas:

El IRCA por muestra :

$$IRCA (\%) = \frac{\sum \text{puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{puntajes de riesgo asignados a todas las características analizadas}} \times 100$$

El IRCA mensual :

$$IRCA (\%) = \frac{\sum \text{de los IRCAs obtenidos en cada muestra realizada en el mes}}{\text{Número total de muestras realizadas en el mes}}$$

**Tabla 7.** Clasificación del nivel de riesgo según el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano, IRCA

<b>Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse</b>			
<b>Clasificación IRCA (%)</b>	<b>Nivel de Riesgo</b>	<b>IRCA por muestra (Notificaciones)</b>	<b>IRCA mensual (Acciones)</b>



		<b>que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)</b>	
80.1 -100	INVIABLE SANITARIAMENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.
35.1 - 80	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
14.1 - 35	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
5.1 - 14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
0 - 5	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia.	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.

[http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/agsresolucion%202115-07 .pdf](http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/agsresolucion%202115-07.pdf)

### **3.6 El ensamble perifítico**

Teniendo en cuenta que en la literatura se encuentran abundantes definiciones para el término perifiton, se asumirá en este trabajo el concepto utilizado por Marshall que designa biofilm, biopelícula o películas microbianas al agregado o ensamble de microorganismos y productos extracelulares asociados a un sustrato. Es entonces el resultado de la colonización, crecimiento y metabolismo celular microbiano organizado sobre superficies no vivas o sobre tejidos. El término perifiton está estrechamente relacionado con el desarrollo de comunidades algales y por lo tanto se han realizado

múltiples estudios de estas comunidades en los cuerpos de agua dulce con diferentes propósitos. El ensamble presente en la biopelícula es un grupo de taxones que se desarrollan en escalas espaciales y temporales diferentes. (Roldán 2008)

La formación del ensamble de especies en la biopelícula se lleva a cabo básicamente en tres fases: colonización; agrupamiento, crecimiento y formación de la matriz extracelular; y crecimiento de la matriz.

En el proceso de filtración lenta en arena el perifíton es fundamental para el desarrollo de lo que es conocido como capa biológica conformando el sustrato de la misma, por lo tanto es de especial importancia en la etapa de desinfección biológica del agua ya que constituye centros para el reciclaje de la materia orgánica y como se mencionó anteriormente es aquí donde el agua se libera de la mayoría de las impurezas.

### **3.7 El perifíton como indicador de la calidad del agua**

La razón más importante para incluir las algas como indicadores ambientales en los programas de monitoreo es su papel principal en el flujo de energía en los ecosistemas acuáticos. Los cambios en la producción algal y su composición taxonómica pueden afectar las interacciones en la red alimenticia y dinámica del ecosistema. Las consecuencias ecológicas del crecimiento excesivo de algas resultan del aumento en las concentraciones de nutrientes limitantes como el fósforo. Las algas varían en su valor nutritivo, afectando los niveles tróficos más altos en la red alimenticia acuática. (Peña, Palacios, y Álvarez 2005)

Los ensambles algales al igual que las demás agrupaciones acuáticas, reflejan en alto grado la calidad del medio en el cual viven. Diferentes estudios sobre la relación del perifíton y la calidad fisicoquímica del agua de los ríos concluyen que, al igual que otras agrupaciones, algunas algas perifíticas se desarrollan mejor en medios oligotróficos y otras en medios eutróficos. (Peña, Palacios, y Álvarez 2005). El tipo de organismo presente, así como las densidades o abundancias relativas, son elementos claves en el análisis de la estructura y funcionamiento de un ecosistema y puede ser utilizado para evaluar la capacidad y funcionamiento de un sistema de filtración como el que se estudió en este trabajo.

La principal variable de cualquier población o comunidad de plantas acuáticas es el número de individuos presente en un área dada o volumen de hábitat. Se requiere una muestra cuantitativa para determinar la densidad celular o biomasa por unidad de hábitat. También se usa un análisis taxonómico para evaluar las condiciones del ecosistema, el cual requiere un esquema de clasificación actualizado. Normalmente se realizan valoraciones

taxonómicas de las asociaciones de algas por dos razones: (1) para clasificar la condición del cuerpo de agua, basada en condiciones específicas (indicadoras) presentes y (2) para comparar la diversidad de algas o composición taxonómica, entre sitios de referencia (con mínimo impacto) y aquellos que sospechan que están contaminados. (Peña, Palacios, y Álvarez 2005)

Los índices de diversidad de la comunidad han sido usados ampliamente como un indicador de la condición del ecosistema. El índice de diversidad más empleado es el de Shannon- Wiener, basado en la teoría de la información y se calcula mediante la fórmula:

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Donde el  $p_i$  es la proporción de individuos de la especie  $i$ , es decir,  $p_i = n_i/N$  (número de individuos de la especie  $i$  sobre número de individuos de toda la comunidad). Las asociaciones de algas muestran aumentos y disminuciones en la diversidad de las especies, como respuesta a los impactos antropogénicos. (Peña, Palacios, y Álvarez 2005)

## **4. ANTECEDENTES**

### **4.1 Calidad de aguas para consumo humano**

Como se ha mencionado los cuerpos de agua cumplen con unas características especiales que les son otorgadas debido a los componentes de los suelos de las cuencas, la cobertura vegetal, entre otras, sin embargo estas están siendo alteradas debido a la contaminación antropogénica, principalmente por industrialización y vertimientos de aguas servidas. Esto ocasiona gran impacto negativo en los ecosistemas y en la salud pública en general.

La efectividad para la prevención y control de la contaminación del agua depende fundamentalmente de las medidas de control y vigilancia que se establezcan, también del diseño y construcción de infraestructura de servicios públicos como plantas de potabilización y tratamiento de aguas residuales tanto domésticas como industriales. (Roldán R., Ramírez J. 2008)

Para definir calidad de agua primero que todo se debe plantear la pregunta ¿calidad de agua para qué? Ya que el tipo de agua óptima para riego, recreación, acuicultura y potabilización es de diferentes características tanto fisicoquímicas como microbiológicas.

El conocimiento y desarrollo actuales de la microbiología ha permitido utilizar los microorganismos tanto para la evaluación de las condiciones sanitarias del agua como para la implementación de medidas de depuración y recuperación de la misma. (Roldán R., Ramírez J. 2008)

Para evaluar la calidad del agua para consumo humano son de especial importancia las bacterias coliformes, un grupo de indicadores de contaminación de las cuales se hablará más adelante.

### **4.2 Experiencia previa**

En Colombia el nuevo marco legislativo y las instituciones creadas por la ley 12 de 1986, sobre descentralización administrativa la nueva constitución política y la ley 142 de servicios públicos que permite la veeduría y participación comunitaria en la prestación de servicios públicos domiciliarios, favorecen el desarrollo de tecnologías apropiadas como alternativas de solución a las crisis urbanas y rurales que se presentan en aspectos vitales como producción agrícola, salud, vivienda, saneamiento ambiental, generación de energía, entre otros. (Becerra A.<sup>7</sup>)

---

<sup>7</sup> <http://www.itacab.org/publicaciones/eacolomb.PDF>

En este proceso intervienen diferentes entes de la actividad económica nacional, entre los cuales se cuentan el estado, los gremios, las instituciones de investigación, las universidades y en especial la comunidad. (Becerra A.)

La tecnología apropiada en Colombia, ha demostrado tener vigencia, más que en el marco legal vigente, en la realidad nacional, mostrando en muchas ocasiones ser más eficiente que la tecnología convencional en la satisfacción de las necesidades de la población, además responde al llamado mundial de lucha por un desarrollo sostenible. (Becerra A.)

En el congreso nacional ACODAL de 1994 el ministro de desarrollo económico reconoció que no se estaba realizando suficiente atención a la implementación de tecnologías apropiadas en el sector de agua potable y saneamiento básico. La Universidad del Valle reconociendo la problemática que se desarrolla en este sector, gestó desde los años 80 el Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico, CINARA.

Adicionalmente, han surgido otros institutos y entidades que han trabajado en la búsqueda de tecnologías apropiadas para responder a los problemas de potabilización de aguas y saneamiento básico, destacándose entre otros el Instituto de Crédito Territorial ICT, la Fundación privada de Santa Fe de Bogotá y la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, CDMB. Algunos de los métodos alternativos han sido los sistemas de filtración lenta en arena, lagunas facultativas y sistemas anaerobios.

El CINARA ha desarrollado formas de hacer factible la filtración lenta en arena, mediante la exploración de tratamientos previos en medios gruesos, desarrollando el concepto de la tecnología FiME, Filtración en Múltiples Etapas, que combina los conceptos de multibarrera y tratamiento integrado. (Becerra A.).

Con base en la experiencia desarrollada en este campo, esta tecnología se estableció para la operación de la planta de tratamiento del acueducto de Río Negro, la cual se describe más adelante.

---

## 5. METODOLOGIA

### 5.1 Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el acueducto Río Negro (ver Figura 1), localizado a los  $2^{\circ}25'0.52''\text{N}$  y  $76^{\circ}36'7.07''$  a una altura de 1861msnm (ver Figura 2), en el municipio de Sotará, al sur occidente del municipio de Popayán.

El Acueducto de Río Negro se abastece de la quebrada Chiguará que pertenece a la subcuenca río Negro de la cuenca río Hondo, que a su vez entrega sus aguas al río Cauca. La bocatoma se encuentra a una altura de 1960 msnm, y está localizada a  $2^{\circ}24'2.886''\text{N}$  y  $76^{\circ}34'4.591''$  (ver Figura 2).

**Figura 1.** Acueducto de Río Negro



Figura 2. Localización del acueducto Río Negro y la bocatoma

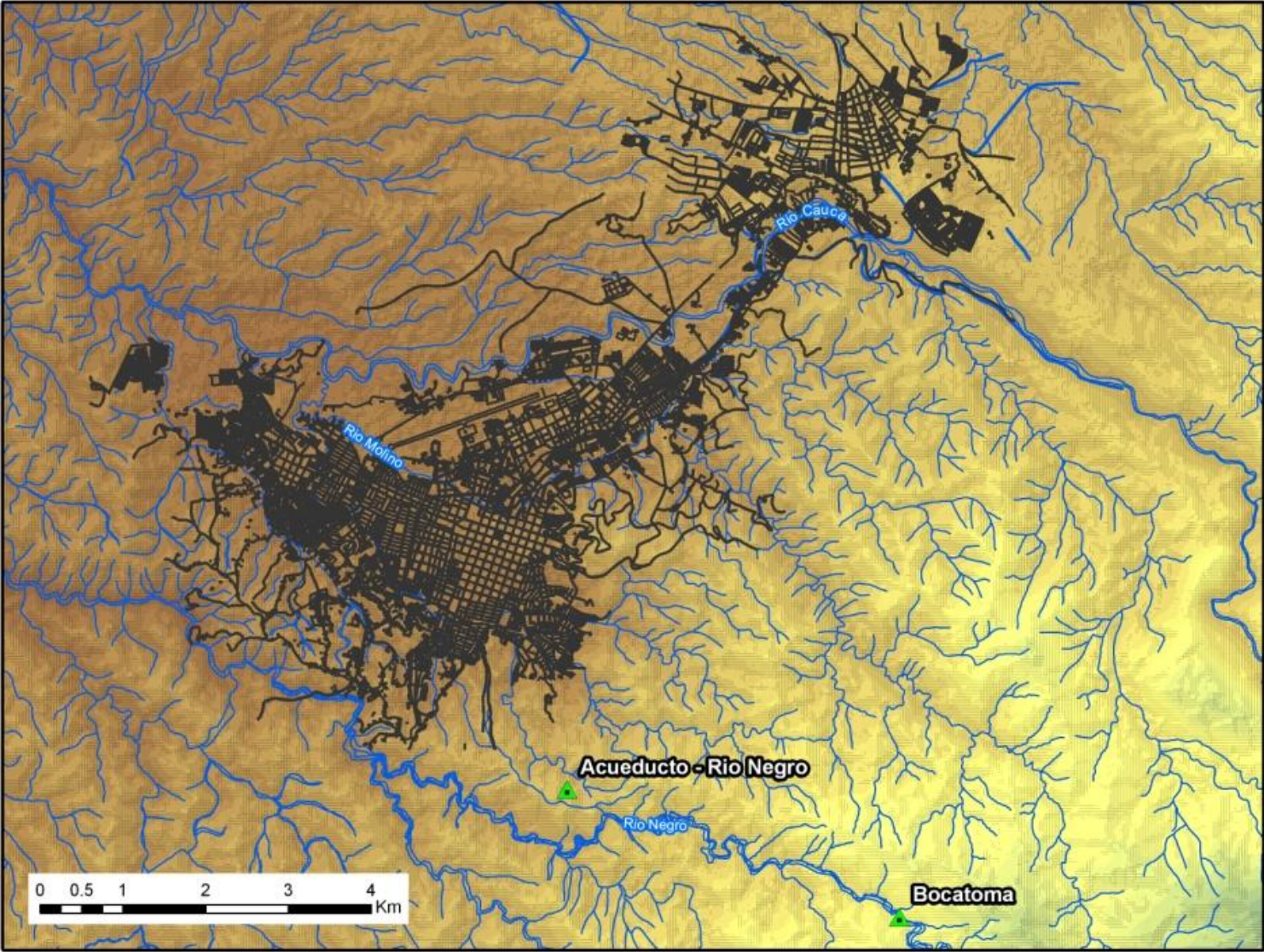
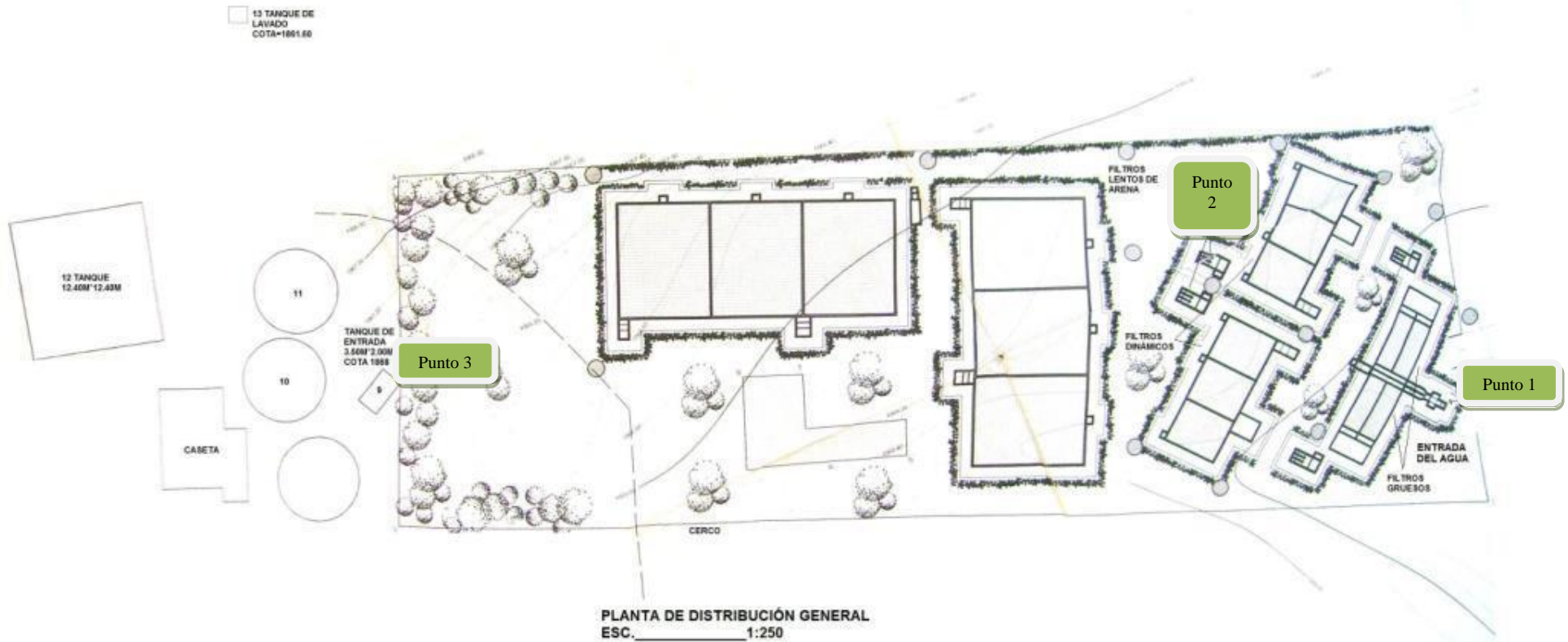


Figura 3. Plano de la distribución general del acueducto Río Negro





El acueducto de Río Negro cuenta con un sistema de filtración en múltiples etapas FiME que consta básicamente de filtros gruesos dinámicos y ascendentes, filtros lentos de arena y tanques de almacenamiento (ver Figuras 3 y 4)

**Figura 4.** Sistema de filtración en múltiples etapas del acueducto Río Negro; A: Filtros gruesos ascendentes; B: tanque de almacenamiento; C: Filtros lentos de arena



Los tanques gruesos dinámicos de graba cuentan con tres capas de 25 cm de material particulado grueso, este es el primer componente de la planta de tratamiento y sirve para quitar parte de la turbiedad que trae el agua. De ahí el agua pasa a seis filtros gruesos de flujo ascendente con una pulgada de arena más delgada y seis capas de 25 cm de arena de 1/2, 1/4, y 1/8, este es el segundo componente de la planta de tratamiento y sirve para quitar la turbiedad y parte de los microbios que han pasado por el filtro grueso dinámico. Posteriormente el agua se transporta a los cinco filtros lentos de arena que hay en funcionamiento y que cuentan con una capa de arena de 1/6, otra de 2 mm y posteriormente una de 80 cm con un espesor de 0.3 – 3 mm, aquí el flujo del agua es descendente este es el último componente de la planta de tratamiento y sirve para retirar del agua los microorganismos que

causan enfermedades y la turbiedad que pasa por los otros filtros. Finalmente el agua se almacena en los tanques y pasa a la cámara de reparto de donde se transporta a la comunidad. (Figura 3)

Utilizan cal para corregir los niveles de pH cuando son muy bajos, dependiendo del valor a veces de hasta 1 K/500 ml y sulfato de aluminio para corregir la turbiedad en temporada de invierno con 3.6 mg/L, aunque no se obtienen los resultados esperados cuando la turbiedad es mayor a 1000 UFT.

## 5.2 Análisis bacteriológicos

Los análisis bacteriológicos, con especial referencia en la determinación de coliformes totales y fecales, se realizaron mediante el método estándar de filtración por membrana, Referencia 9222 (APHA, 1992), la cual está incorporada y establecida en la normatividad colombiana (Resolución 2115 de 2007).

La técnica por filtración se aplicó tanto para el agua cruda (punto uno) como para agua tratada (puntos dos y tres). En todos los casos se analizaron 100 ml de muestra de agua y se trabajó diluciones de  $10^{-2}$ . Los análisis bacteriológicos se realizaron semanalmente.

## 5.3 Análisis de la comunidad biológica

Se realizó el estudio de la comunidad perifítica que se desarrolla sobre el material filtrante, mediante el método de los transectos o de Lackey (APHA, 1992)<sup>21</sup>, con la finalidad de determinar las abundancias relativas y densidades de los géneros de algas presentes en el biofiltro. Para esto se colectaron muestras cualitativas al azar en diferentes sitios de los lechos de arena filtrantes y se fijaron en solución 6:3:1 (transeau) cada quince días durante los meses de Julio a Noviembre de 2009.

La densidad de organismos se determinó empleando la fórmula:

$$\frac{\text{Organismos}}{\text{ml}} = \frac{C \times A_t}{A_s \times S \times V}$$

Donde:

C: Número de organismos contados

A<sub>t</sub>: Área del cubre objetos en mm<sup>2</sup>

A<sub>s</sub>: Área de un transecto, en mm<sup>2</sup>

S: Número de transectos contados

V: Volumen de la muestra bajo el cubre objetos, en ml.

Posteriormente se realizó la identificación a nivel de género en el microscopio empleando diversas claves taxonómicas. Igualmente se consultaron bases de imágenes como los de la Universidad de Texas y <http://protist.i.hosei.ac.jp/>, entre otras.

La información de los géneros de algas presentes nos permitió realizar análisis de bioindicación de la calidad del agua y complementar la información sobre la calidad biológica del agua que abastece dicho acueducto.

Además se realizó un análisis comparativo entre las muestras con un dendrograma de Bray Curtis.

#### **5.4 Determinación de los parámetros fisicoquímicos**

Complementariamente, se realizaron análisis fisicoquímicos hídricos, empleando diversos métodos estándar, colorimétricos y potenciométricos<sup>14</sup>. Para tales efectos, se tomaron muestras integradas de la columna de agua de los tanques de tratamiento y de la red de distribución inicial. Para la medición de oxígeno, saturación de oxígeno, temperatura, pH y conductividad se empleó una sonda multiparamétrica YSI. Igualmente se midieron los parámetros básicos: acidez total, alcalinidad total, dureza total, dureza carbonácea, calcio, cloruros, hierro, turbiedad (método, 113 Spectroquant ), amonio, fósforo reactivo soluble y nitratos con base en los métodos Aquamerck, Spectroquant y Aquaquant de Merck, empleando un espectrofotómetro SQ 118 de alta precisión. La determinación del CO<sub>2</sub> disuelto se realizó mediante el método estándar de titulación con hidróxido de sodio, empleando fenolftaleína como indicador. Los análisis físico químicos se realizaron quincenalmente.

Adicionalmente se realizó un análisis comparativo entre las muestras con un dendrograma de Bray Curtis.

#### **5.5. Calculo del IRCA.**

El cálculo del IRCA se realizó con base en lo dispuesto por la Resolución 2115 de 2007.

---

<sup>14</sup> AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION -APHA. 1985. 15th Ed. Washington, D. C.: APHA

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Análisis Bacteriológicos

La tabla 8 presenta los resultados de los análisis bacteriológicos de la planta de tratamiento de Río Negro.

**Tabla 8.** Resultados bacteriológicos del acueducto Río Negro.

Meses	Muestra	Coliformes Totales			Coliformes Fecales		
		Punto uno	Punto dos	Punto tres	Punto uno	Punto dos	Punto tres
Julio	1	52,5	64,5	75	21	0	0
	2	67,5	10,5	6	0,5	0,5	0
	3	50	64	63	1,5	0,5	1,5
Agosto	4	118	111,5	2,3	2	0	0
	5	111	71	79,5	2	0,5	0,5
	6	82,5	44	38,5	2	0	0
	7	39	86	50	0	0	0,5
Septiembre	8	50	41	29	1	0,5	4
	9	109	23	56,5	9	0,5	0
	10	113	136	46	0	0,5	0
	11	85,5	42	0	0	0	0
	12	65	116	69	0	0	0
Octubre	13	76	94,5	56	0,5	0,5	0
	14	45,5	27	46	0	0	0
	15	132,5	105,5	0,5	0	0	0
Noviembre	16	66,5	64,5	0,5	0,5	0	0
	17	70,5	54,5	32	0	0	0
	<b>Promedio</b>	78,47	67,97	38,22	2,35	0,21	0,38

En los análisis bacteriológicos se observa una pequeña disminución en el número de unidades formadoras de colonia (UFC) con relación a los tres sitios muestreados desde la entrada del agua hasta la salida del acueducto. Sin embargo, esta no es significativa estadísticamente, con promedios de: 78,47 de coliformes totales (CT) y 2,35 de coliformes fecales (CF) para el punto uno; 67,97 de CT y 0,21 de CF en el punto dos y 38,22 CT y 0,38 CF para el punto tres.

Los resultados evidencian que el proceso de desinfección biológica del agua es deficiente ya que los conteos tanto de coliformes totales como fecales fueron altos y no se cumple con las normas establecidas para el agua potable. Esto hace que el agua del acueducto sea potencialmente peligrosa para la salud humana.

**Tabla 9.** Valores de los IRCA por muestra y mensuales en el acueducto Río Negro

Meses	Muestreo	IRCA por muestra (%)			IRCA mensual (%)		
		Punto uno	Punto dos	Punto tres	Punto uno	Punto dos	Punto tres
Julio	1	62,5	23,43	23,43	74,215	54,68	54,68
	2	85,93	85,93	85,93			
Agosto	3	62,5	62,5	62,5	42,965	42,965	62,5
	4	23,43	23,43	62,5			
Septiembre	5	64,06	64,06	25	63,28	44,53	13,28
	6	62,5	25	1,56			
Octubre	7	64,06	64,06	25	56,245	44,53	25
	8	48,43	25	25			
Noviembre	9	87,5	64,06	25	87,5	64,06	25
	Promedio	62,32	48,61	37,32	64,84	50,15	36,09

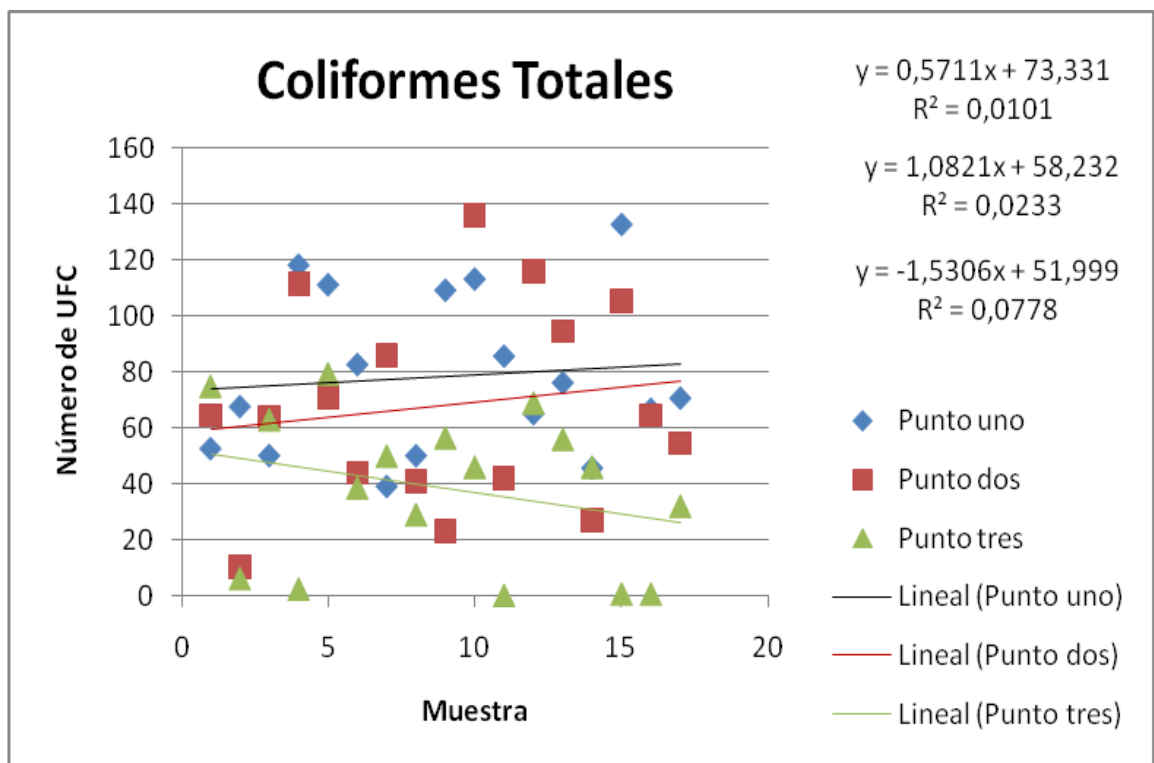
La tabla 9 indica los valores de los IRCA por muestra y mensuales. En cuanto a los IRCA por muestra se observa que los valores más elevados se presentaron en el mes de Noviembre para el punto uno y en el mes de Julio para los puntos dos y tres y los valores de menos riesgo ocurrieron en Agosto para el punto uno, en Octubre para el punto dos y en Septiembre para los puntos dos y tres, el promedio de riesgo más alto se presentó en el punto uno y el más bajo en el punto tres. De igual manera sucedió para los promedios de los IRCA mensuales en donde, el valor más elevado para los puntos uno y dos se presentó en Noviembre y para el punto tres se presentó en Agosto, mientras los valores de menos riesgo fueron en Agosto para los primeros puntos y para el último en Septiembre.

En los tres sitios de muestreo se presentaron valores elevados de coliformes totales y únicamente en cinco oportunidades los coliformes fecales cumplieron con los requisitos establecidos (muestras 11, 12, 14, 15 y 17) (Ver tabla 8 y figuras 5 y 6). En cuanto a coliformes totales los puntos uno y dos presentaron los valores más elevados en el mes de Agosto y el punto tres en el mes de Julio, igualmente los valores más bajos para los puntos uno y dos fueron en Julio y para el punto tres fueron en Noviembre. De igual manera los valores de coliformes fecales más altos fueron en Julio para los puntos uno y dos y en Septiembre para el punto tres, mientras que los valores más

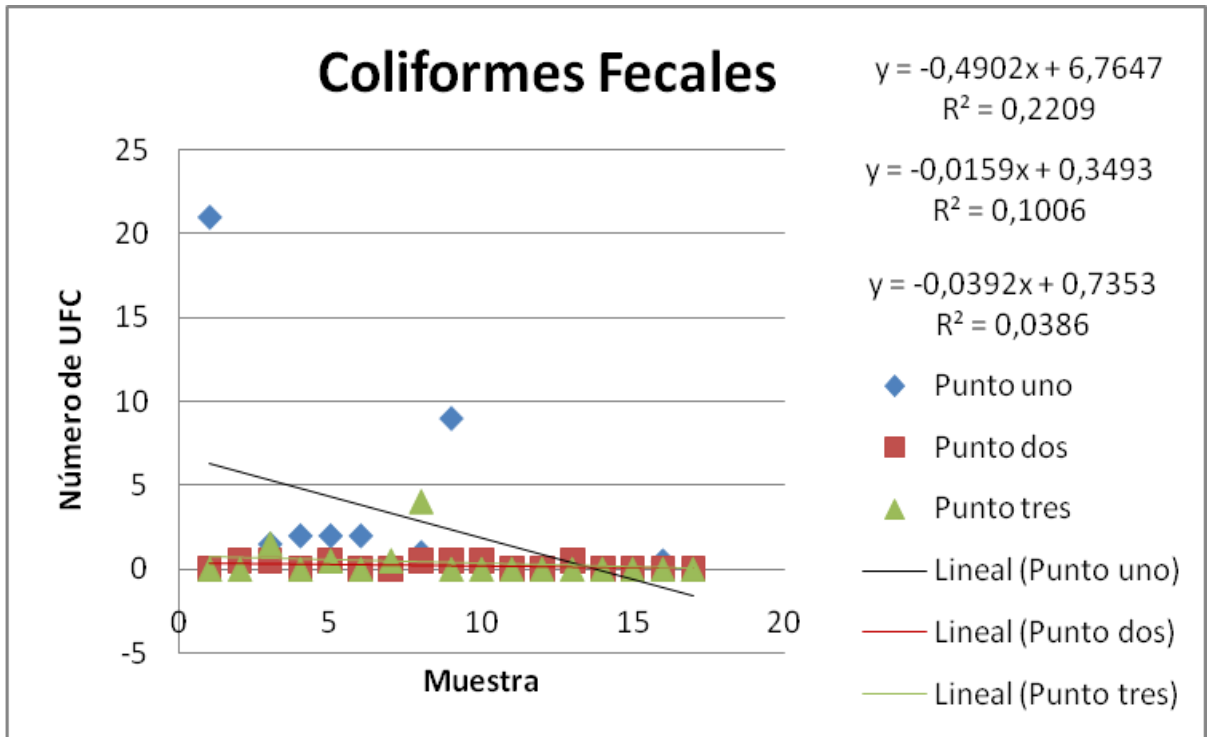
bajos fueron en Octubre para el punto uno, Noviembre para el punto dos y ambos meses para el punto tres. (Ver tabla 8)

Así pues se puede observar que se presentó una dispersión alta para coliformes totales en los tres puntos y en general (a excepción del punto uno) baja para coliformes fecales (Ver figuras 5 y 6), lo cual refleja que los tres primeros meses de muestreo presentaron una alteración mayor que los dos siguientes, esto coincide con las condiciones climáticas que se presentaron este año, ya que al iniciar los muestreos había un verano intenso que fue disminuyendo gradualmente para dar paso al invierno. Estas condiciones climáticas pueden influir ya que al presentarse las lluvias el río aumenta su volumen acrecentando su capacidad de dilución de sustancias y organismos.

**Figura 5.** Dispersión de los coliformes totales en el acueducto Río Negro.



**Figura 6.** Dispersión de los coliformes fecales en el acueducto Río Negro.



Por otro lado durante la temporada de muestreos, se realizaron limpiezas mediante raspado a los filtros lentos en tres ocasiones; Agosto 10 y Octubre 23 y 30, después de los cuales no se observaron diferencias significativas en la carga bacteriológica del agua tratada como se esperaba al iniciar esta investigación.

Los valores elevados de coliformes encontrados en la fuente de agua de la planta de tratamiento pueden ser explicados por el uso y manejo del suelo de la microcuenca de la quebrada Chiguará, la cual aporta posteriormente sus aguas al acueducto. Tal como se indica en la tabla 10, la actividad ganadera predomina en la zona y probablemente es la responsable del alto aporte de bacterias provenientes del tracto intestinal. Esto no solo implica problemas de salud debido al consumo de agua, sino también un daño indiscutible en el ecosistema y los suelos. Adicionalmente se presentan vertimientos de aguas residuales domésticas, problemas de concentración de sedimentos y la descomposición de la materia vegetal que es arrasada por los procesos erosivos.

**Tabla 10.** Cobertura y uso de la tierra, Microcuenca Chiguará, Municipio de Sotará, Cauca

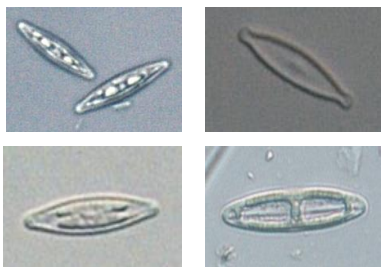
Clase	Tipo	Especie dominante	Uso Predominante	Extensión Has
<b>Bosques</b>	Bosque plantado	Pino, Eucalipto	Extracción protección	12,5
	Bosque denso nativo	Roble Guayacán	Protección conservación extracción	120
<b>Arbustales</b>	Arbustos y bosques densos	Encenillo, Laurel y Arrayán	Protección preservación	4,9
<b>Pastizales</b>	Pastos naturales	Kikuyo, Yaraguá	ganadería extensiva	335
	Pastos mejorados	Brachiaria	ganadería semiextensiva	3,6
<b>Cultivos</b>	Cultivos	Mora, maíz, tomate de árbol, frijol	Agricultura tradicional	11
	Pastizales, arbustos dispersos	Kikuyo, Yaraguá	Rehabilitación	2

Velasco, O. 2005. Plan de ordenación de la microcuenca de la quebrada Chiguara, Municipio de Sotará, Cauca

## 6.2 Composición de la comunidad Perifítica

Respecto a la composición de la comunidad perifítica, se observó la presencia de algas clorofitas (11 géneros), cianobacterias (2 géneros) y diatomeas (8 géneros) (ver tabla 12). Predominaron los organismos de los géneros *Navicula* (ver Figura 7) y *Frustulia* (ver Figura 8) con porcentajes de 27,84% y 24,7% y densidades de 1.340.044,44 organismos/ml y 1.188.977,78 organismos/ml respectivamente. En contraste, los géneros menos abundantes fueron *Pinnularia* (ver Figura 9) y *Gonium* (ver Figura 10) con porcentajes de 0.07% y 0.05% y densidades de 3.422,22 organismos/ml y 2.444,44 organismos/ml respectivamente. (Ver tabla 11)

**Figura 7.** Alga Perifítica del género *Navicula*



**Figura 8.** Alga Perifítica del género *Frustulia*





**Figura 9.**Alga Perifítica del género *Pinnularia*



**Figura 10.** Alga Perifítica del género *Gonium*



**Tabla 11.** Número de individuos, porcentaje, densidad y Shannon Weaver de la comunidad perifítica encontrada en los lechos filtrantes del acueducto Río Negro

GÉNEROS	Ni	%	DENSIDAD (organismos/ml)	ID
<i>Navicula</i>	2741	27,84	1340044,44	0,36
<i>Frustulia</i>	2432	24,7	1188977,78	0,35
<i>Cymbella</i>	1364	13,85	666844,44	0,27
<i>Gomphonema</i>	892	9,06	436088,89	0,22
<i>Mougeotia</i>	719	7,3	351511,11	0,19
<i>Zygnema</i>	420	4,26	205333,33	0,13
<i>Cosmarium</i>	290	2,94	141777,78	0,1
<i>Scenedesmus</i>	265	2,69	129555,56	0,1
<i>Encyonema</i>	220	2,23	107555,56	0,08
<i>Netrium</i>	127	1,29	62088,89	0,06
<i>cianobacteria nn</i>	118	1,19	57688,89	0,05
<i>Pandorina</i>	100	1,01	48888,89	0,05
<i>Closterium</i>	44	0,44	21511,11	0,02
<i>microspora</i>	30	0,3	14666,67	0,02
<i>Staurastrum</i>	24	0,24	11733,33	0,01
<i>Borzia</i>	24	0,24	11733,33	0,01
<i>Coelastrum</i>	9	0,09	4400	0,01
<i>Nitzschia</i>	9	0,09	4400	0,01
<i>Fragillaria</i>	7	0,07	3422,22	0,01
<i>Pinnularia</i>	5	0,05	2444,44	0
<i>Gonium</i>	3	0,03	1466,67	0
	9843			<b>2,06</b>

**Tabla 12.** Composición del perifiton del acueducto Río Negro.

GÉNEROS	MUESTRA																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Navicula</i>	119	118	169	175	84	130	221	124	131	68	201	196	33	185	194	257	336
<i>Frustulia</i>	125	85	145	174	186	188	271	200	119	122	159	214	76	100	87	154	27
<i>Cymbella</i>	49	99	46	330	92	124	68	30	88	122	33	56	64	83	55	25	0
<i>Gomphonema</i>	118	39	71	133	86	58	58	41	52	25	28	25	50	45	35	24	4
<i>Mougeotia</i>	2	0	41	108	35	0	0	0	0	0	167	174	4	95	0	6	87
<i>Zygnema</i>	84	0	13	40	3	0	0	0	0	0	0	211	0	0	0	28	41
<i>Cosmarium</i>	7	26	7	11	7	13	62	33	9	12	35	31	22	11	1	1	2
<i>Scenedesmus</i>	3	0	0	0	77	25	5	24	51	18	7	21	16	13	1	2	2
<i>Encyonema</i>	5	116	7	21	6	13	28	4	13	5	0		1	1	0	0	0
<i>Netrium</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	6	14	10	6	9	44	34
<i>Cianobacteria nn</i>	0	0	0	1	3	4	7	8	6	10	0	9	24	14	3	6	23
<i>Pandorina</i>	10	5	0	0	1	5	18	2	0	0	3	8	17	24		0	7
<i>Closterium</i>	2	0	0	1	3	2	0	0	0	0	0	1	1	1	3	24	6
<i>microspora</i>	0	0	0	0	0	4	3	0	3	0	5	4	2	4	5	0	0
<i>Staurastrum</i>	1	4	3	3	1	0	0	4	0	0	0	2		6	0	0	0
<i>Borzia</i>	0	1	0	2	0	1	0	3	1	2	6	1	3	2	2	0	0
<i>Coelastrum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	4	0	3	0	0	2
<i>Nitzschia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	2	4
<i>Fragillaria</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3	1	0	1	0	0
<i>Pinnularia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2		1	0	0	0	0
<i>Gonium</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1

En general la diversidad es baja, lo cual puede obedecer a que se trata de un sustrato artificial, que las fuentes de organismos perifíticos, al igual que las variaciones ambientales del río, no son muy amplias.

Las densidades de organismos son muy altas, lo cual puede ser causado por la baja velocidad de la corriente (Martinez, Donato 2003) en los filtros lo cual favorece el desprendimiento de la película algal con un consecuente reinicio de la sucesión (Zapata- Anzola, Donato- Rondon, 2005). Igualmente, puede incidir el proceso de limpieza del material filtrante y el incremento en las lluvias con el consecuente aumento de la turbiedad y el material particulado.

Esta densidad es un inconveniente al tratarse de agua para consumo humano ya que al presentarse una elevada descomposición de materia orgánica por parte de las algas se genera un sustrato en el cual se pueden preservar bacterias entre las cuales pueden presentarse algunas patógenas. (Ver tabla 11)

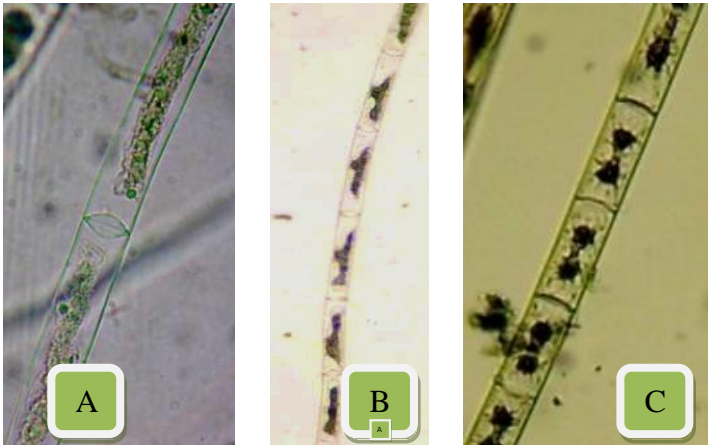
En cuanto a las similitudes entre los muestreos, se consideran bajas, donde las más similares son las muestras 9 y 6 y la muestra 17 es la que presenta menor similitud. (Ver Figura 12) Esto puede haberse ocasionado por la sucesión que se presenta en las comunidades de algas al generarse condiciones ambientales más favorables para unas respecto a las otras ya que como se mencionó anteriormente se presentó un cambio en el clima durante los muestreos, igualmente al encontrarse niveles óptimos para la velocidad de la corriente, el pH y la conductividad y al escasear los factores físicos y químicos sobre las comunidades algales facilita el desarrollo de las sucesiones que también pueden ser causadas por la baja velocidad de la corriente como lo plantearon Martínez L. y Donato J. en el 2003.

En relación a las épocas de raspado de los filtros lentos mencionadas anteriormente no se encontraron diferencias significativas en la composición de la comunidad biológica después de estos. Así pues se puede concluir que los cambios en la composición del perifiton presente en los lechos de arena obedecen a los aspectos climáticos e hidrológicos más que a los raspados que se realizan. Esto es de especial importancia ya que se debe recordar que la literatura no recomienda usar los filtros hasta pasados quince días del raspado. (Sánchez L., Latorre J., Galvis G. 2009)

Sin embargo es innegable que se realiza una extracción de muchas de las comunidades ya establecidas que generan espacios en los que se comienza la sucesión por otras comunidades. Así pues como se ha planteado en estudios de influencia de la limpieza y raspado de los filtros de arena (Sánchez L., Latorre J., Galvis G. 2009) en el comportamiento de la comunidad algal, se presenta un periodo de maduración posterior a estas limpiezas, que para este estudio tenía una duración de más o menos quince

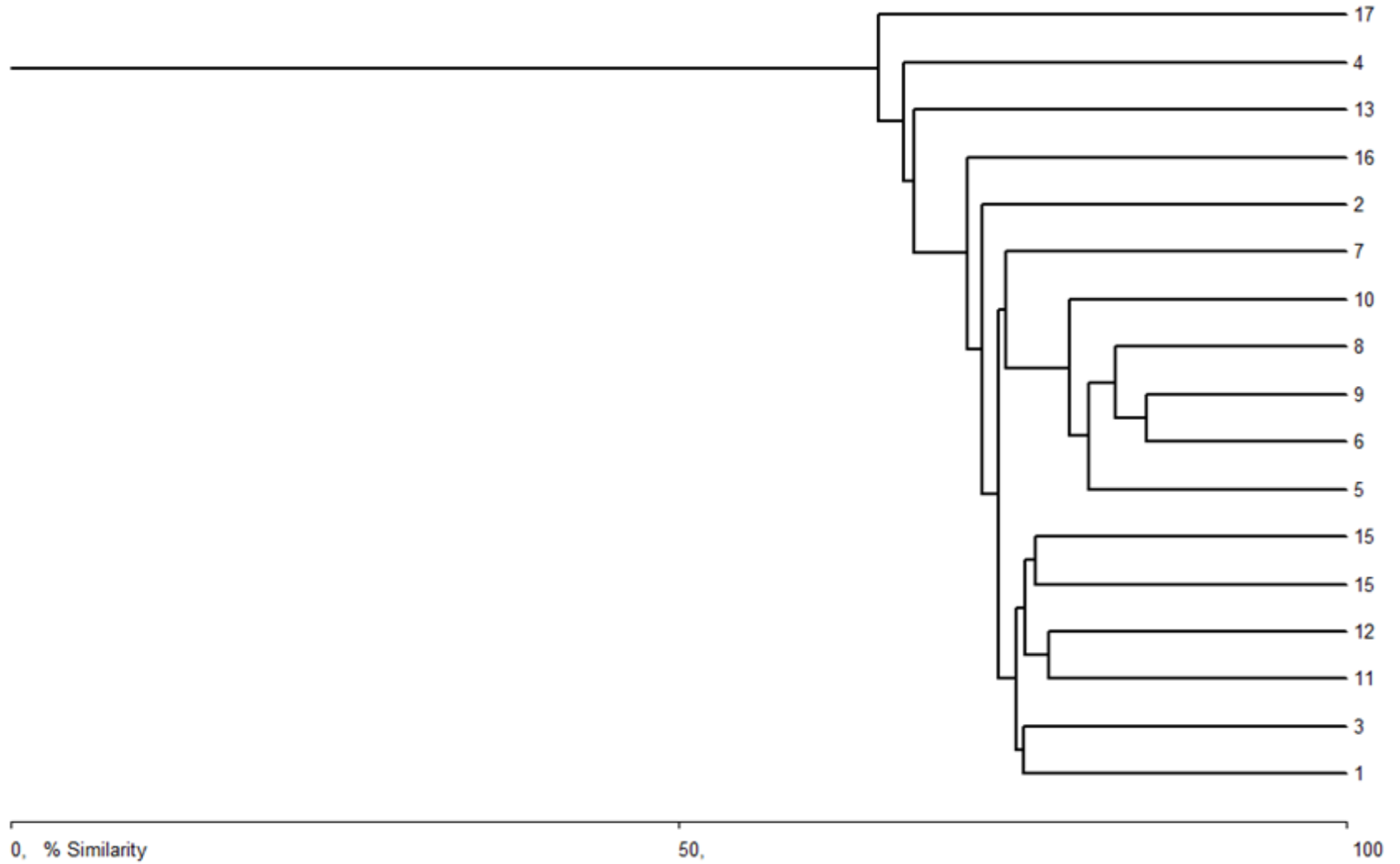
días y durante el cual se colectaron y se observó una proliferación de algas filamentosas que cubrían la superficie de los tanques, las cuales fueron posteriormente identificadas en el laboratorio en los géneros *Mougeotia* y *Zygnema* (ver Figura 11), luego de estos días la película algal flotante empezaba a disminuir hasta que desaparecía.

**Figura 11.** Algas perífíticas: A, B: *Mougeotia*, C: *Zygnema*



**Figura 12.** Dendrograma de Bray Curtis para el perifiton del acueducto Río Negro

Bray-Curtis Cluster Analysis (Single Link)



### 6.3 Bioindicación de la comunidad perifítica

En general las algas perifíticas presentes en los filtros de arena analizados en el acueducto Río Negro, son indicadoras de aguas mesotróficas a eutróficas. (Ver tabla 13)

Los individuos más abundantes en las muestras fueron pertenecientes al género *Navicula* (ver imagen 1) que es uno de los más ricos en especies dentro de las diatomeas y está distribuido por todo el planeta, es muy común en cuerpos de agua dulce y en el trópico y la mayoría de estas especies están clasificadas como indicadoras de aguas mesotróficas y aguas medianamente contaminadas al igual que *Closterium*, *Cosmarium*, y *Gonium* que también se encontraron en las muestras (Peña - Salamanca et al. 2005).

**Tabla 13.** Bioindicación de los géneros presentes en el perifíton de los filtros de arena del acueducto Río Negro

GÉNERO	BIOINDICACIÓN
<i>Navicula</i>	Mesotrofia fría, aguas medianamente contaminadas
<i>Cymbella</i>	Aguas litorales y sucesión
<i>Gomphonema</i>	Eutrofia fría y aguas poluídas
<i>Mougeotia</i>	Aguas turbias, eutrofia
<i>Cosmarium</i> y <i>Netrium</i>	Oligotrofia y mesotrofia
<i>Scenedesmus</i> y <i>Pinnularia</i>	Oligotrofia y eutrofia
<i>Closterium</i> y <i>Staurastrum</i>	Oligotrofia y meso a eutrofia
<i>Coelastrum</i>	Eutrofia
<i>Nitzschia</i> y <i>Pandorina</i>	Mesotrofia, eutrofia
<i>Fragillaria</i>	Aguas litorales y mesotrofia

El que se presente esta abundancia de *Navicula* y otros organismos de características tróficas similares se debe presumiblemente a que el agua posee los requerimientos nutricionales óptimos para su desarrollo. Adicionalmente debido a las condiciones de velocidad del agua en los tanques, estas algas pueden crecer sin ser arrastradas por la corriente ya que estas no suelen presentarse en aglomeraciones ni poseen estructuras que las fijen al sustrato.

Su presencia además sugiere que el agua procedente de la quebrada Chiguará está presentando contaminación orgánica que se da por el uso de los suelos y los aportes que se dan a esta microcuenca, especialmente por la actividad de ganadería extensiva.

En cuanto al fenómeno de maduración que se presenta en los filtros de arena luego de los raspados en el que se observa la proliferación de *Zygnema* y *Mougeotia* que luego desaparece en un rango de quince días. Así pues se puede inferir que al realizar la extracción de un gran número de algas en estos, se aumenta la cantidad de nutrientes libres en el agua como el fósforo ya que no hay quien los consuma, además se debe tener en cuenta que en el acueducto se agregan concentraciones de sulfato de aluminio el cual amarra el fósforo y no lo deja disponible para los microorganismos y que al realizar los raspados este es liberado de esta manera se generan condiciones favorables para el desarrollo de algas con requerimientos nutricionales más altos y por lo tanto indicadores de eutrofia como son *Zygnema* y *Mougeotia* que como ya se mencionó tienen una gran proliferación mientras dura el proceso de maduración en el lecho de arena, luego del cual al generarse de nuevo la competencia nutricional se reducen los niveles de fósforo causando de esta manera la reducción en el número de individuos de estos géneros.

#### **6.4 Análisis Físicoquímico**

Los parámetros físicoquímicos se indican por sitios de muestreo en las tablas 15, 16 y 17.

Con estos datos se pretendía establecer los cambios en las características físicoquímicas del agua debido al proceso de tratamiento por el sistema de filtración lenta en arena, sin embargo no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los sitios de muestreo ni a través del tiempo en el que se realizó el estudio. (Ver figura 13) Esto demuestra que aunque se hayan observado cambios en los valores, el agua mantiene una calidad físicoquímica en todo el sistema.

En general el agua del acueducto tiene valores aceptables para la mayoría de los parámetros medidos a excepción de la turbiedad y los nitratos, que siempre se encontraron con valores superiores o en el límite de los valores aceptados para el agua de consumo humano (Ver tablas 15, 16 y 17) lo cual tuvo una influencia directa en el cálculo del IRCA general (Ver tabla 14) que fue calculado con los promedios de los parámetros tanto biológicos como físicoquímicos e indica que el agua del acueducto tiene un riesgo alto en los tres puntos.

Esto puede ser generado por el uso del suelo que se presenta en las laderas del Río Negro y la quebrada Chiguará antes de la bocatoma del acueducto y que pueden estar aportando sustancias al cauce por arrastre después de las lluvias y por descargas orgánicas de actividades antrópicas, además los valores de turbiedad aumentaron en la época en que se presentaron lluvias

ya que el río arrastra mucho material en suspensión generando en algunas oportunidades obstrucción en la bocatoma.

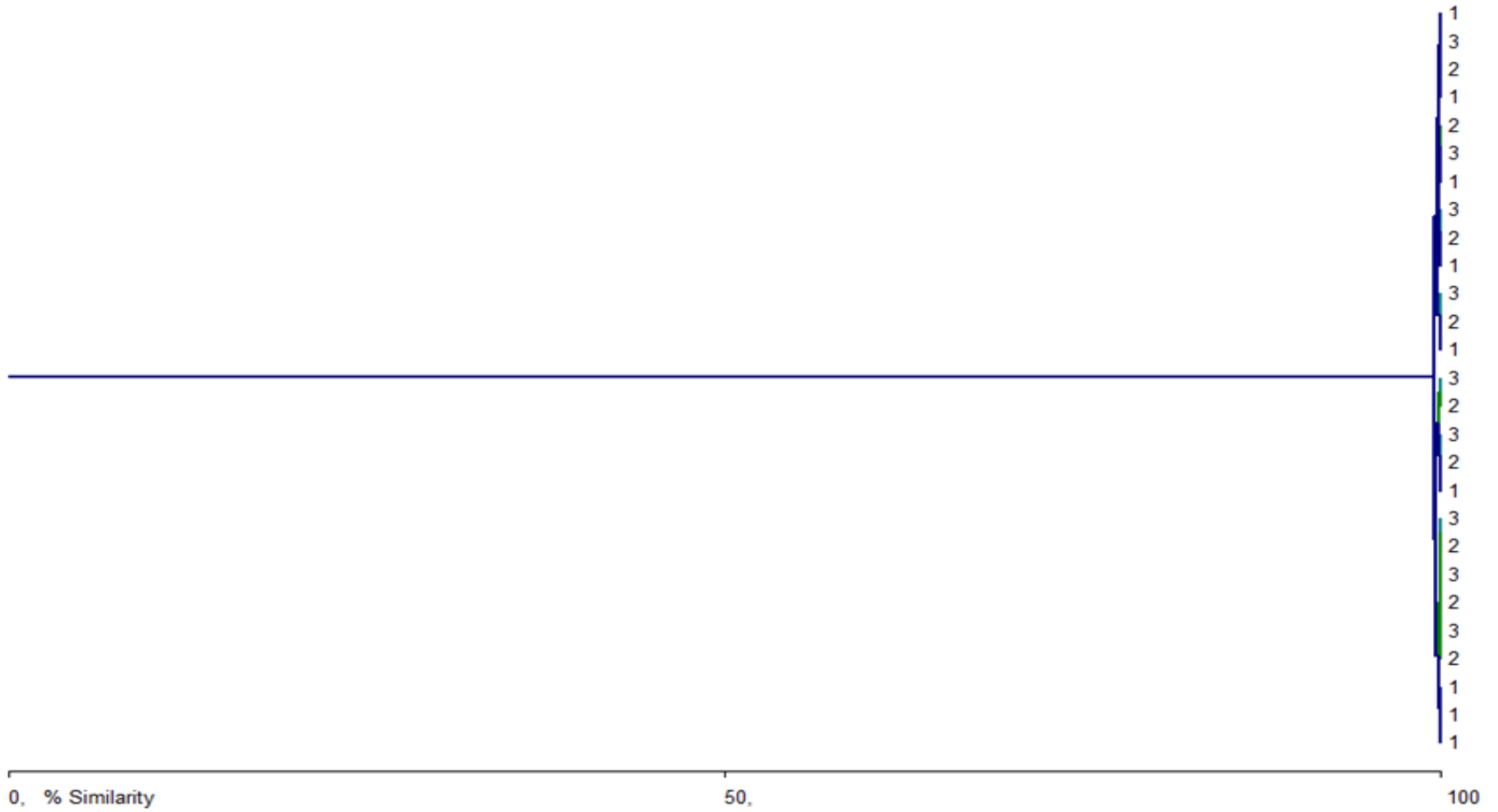
**Tabla 14.** IRCA general para cada punto de muestreo

PARÁMETROS	PUNTO UNO	PUNTO DOS	PUNTO TRES
Temperatura (°C)	14,75	15,98	16,68
%O <sub>2</sub>	88,25	80,10	77,13
O <sub>2</sub> disuelto (mg/L)	7,63	6,71	6,57
Conductividad (Ω)	58,47	33,33	36,96
pH	6,59	6,72	6,91
Acidez (mmol/L)	0,40	0,36	0,27
Alcalinidad (mmol/L)	0,34	0,34	0,30
Dureza Temporal (mmol/L)	0,46	0,27	0,33
Dureza Total (mmol/L)	0,40	0,39	0,29
CO <sub>2</sub> (mg/L)	2,51	2,64	2,36
Calcio (mg/L)	7,00	6,86	5,71
Cloruros (mg/L)	3,30	3,00	3,73
Hierro ppm	0,03	0,03	0,00
Turbiedad (unf)	3,33	3,33	2,00
Amonio (mg/L)	0,01	0,00	0,00
Fósforo Reactivo Soluble (mg/L)	0,00	0,00	0,01
Nitratos (mg/L)	108,33	112,50	87,50
Coliformes Totales (10 <sup>2</sup> )	78,38	69,54	43,91
Coliformes Fecales (10 <sup>2</sup> )	3,04	0,27	0,50
IRCA general	56	56	41



**Figura 13.** Dendrograma de Bray Curtis para las muestras fisicoquímicas tomadas en el acueducto de Río Negro

Bray-Curtis Cluster Analysis (Complete Link)



Referente a los parámetros que han sido relacionados con el desarrollo de la comunidad perifítica (Díaz-Quirós, Rivera-Rondón. 2004) se observa que al encontrarse la conductividad y el pH dentro del rango neutro y debido a que la velocidad de la corriente en los filtros es baja se facilitan la fijación, crecimiento y estabilidad física de la comunidad.

Dos de los factores limitantes más importantes para las algas están dados por los requerimientos nutricionales de nitrógeno y fósforo. En cuanto al primero no se presentan inconvenientes ya que hay suficientes cantidades de nitratos disponibles en el agua para ser tomados por la comunidad perifítica, respecto a que no se hayan encontrado valores para el fósforo reactivo soluble, se presume que el método que se utilizó no cuenta con una sensibilidad apropiada para la detección del mismo y por lo tanto arroja valores de 0, sin embargo debido a la densidad algal y al desarrollo de esta comunidad se presume que los valores de fósforo se encuentran en suficiente cantidad para cubrir sus necesidades nutricionales.

En cuanto a otros factores limitantes se observó que la temperatura presento promedios de 14,7 en el punto uno, 15,98 en el punto dos y 16,68 en el punto tres, los valores máximos se presentaron en Septiembre y los mínimos en Octubre y Noviembre, lo que corresponde con el transcurso de verano a invierno que se mencionó anteriormente.

Así mismo la oxigenación es alta siendo mayor en el punto uno debido a que aquí se realiza la entrada del agua al acueducto y por lo tanto llega con mucha más actividad que la que se presenta en el proceso de desinfección. Por otro lado el CO<sub>2</sub> se mantuvo bajo, lo que nos indica que no hay muchos procesos de respiración o de degradación de materia orgánica, (Vásquez – Zapata G. 2001) lo cual se esperaba ya que en los puntos de muestreo hay una baja profundidad por lo cual no se alcanza a formar una estratificación lumínica, permitiendo que se realice el proceso fotosintético, además los organismos perifíticos realizan el proceso de respiración en la noche y los muestreos fueron realizados siempre de día.

**Tabla 15.** Parámetros Físicoquímicos en el punto uno de muestreo del acueducto Río Negro

MUESTRA	PUNTO UNO								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temperatura (°C)	14,6	14,7	14,7	15,5		15	14	14	14
%O <sub>2</sub>	99,4	94,2	99,1					100	
O <sub>2</sub> disuelto (mg/L)	8,8	8,2	9,3		5,2	5,5	8,8	10,9	
Conductividad (Ω)	63,8	67,6	62,3	28,63		70			

<b>pH</b>	6,81	6,05	7,27	6,48	6,5	6,5	6,5	6	6,8
<b>Acidez (mg/L)</b>	40	30	100	30	30	30	20	30	30
<b>Alcalinidad (mg/L)</b>	30	50	20	30	30	40	40	30	40
<b>Dureza Temporal (mg/L)</b>	30	20	150	30	30	30	30	30	40
<b>Dureza Total (mg/L)</b>	30	30	40	30	40	70	0,4	40	26
<b>CO<sub>2</sub> (mg/L)</b>	2,5	3,5	1,1	2	2,5	3,5	2,5	2,5	2
<b>Calcio (mg/L)</b>	12	9	4	8	4	6	6	14	8
<b>Cloruros (mg/L)</b>	4	6	8	4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
<b>Hierro ppm</b>	0,05		0,1	0	0	0	0	0	0
<b>Turbiedad (UNT)</b>	1	9				0		9	10
<b>Amonio (mg/L)</b>	0	0,05	0	0	0	0	0	0	0
<b>Fósforo Reactivo Soluble (mg/L)</b>	0					0			
<b>Nitratos (mg/L)</b>					125	100	100	100	75

**Tabla 16.** Parámetros Físicoquímicos en el punto dos de muestreo del acueducto Río Negro

<b>MUESTRA</b>	<b>PUNTO DOS</b>								
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	15,6	15,3	15,8	16,2		17	16	14	15
<b>%O<sub>2</sub></b>	91,1	77,5	87,6					72,11	100,00
<b>O<sub>2</sub> disuelto (mg/L)</b>	7,66	6,7	7,6		5	5,2	8,1	7	10
<b>Conductividad (Ω)</b>	37,94	30,7	29,1	28,91		40			
<b>pH</b>	7,6	6,53	7,21	6,22	6,5	6,5	6,5	6	6,8
<b>Acidez (mg/L)</b>	10	20	100	30	30	40	20	70	40
<b>Alcalinidad (mg/L)</b>	40	40	30	30	40	30	30	30	50
<b>Dureza Temporal (mg/L)</b>	20	30	20	20	30	40	30	30	50
<b>Dureza Total (mg/L)</b>	50	40	20	30	50	40	40	50	21
<b>CO<sub>2</sub> (mg/L)</b>	2	3	2,5	3	2,5	3	2,5	1,5	2,5
<b>Calcio (mg/L)</b>	4	8	10	6	6	8	6	14	12
<b>Cloruros (mg/L)</b>	4	6	6	4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5
<b>Hierro ppm</b>	0,1		0,1	0	0	0	0	0	0
<b>Turbiedad (UNT)</b>	2	7				1		2	3
<b>Amonio (mg/L)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Fósforo Reactivo Soluble (mg/L)</b>	0					0			
<b>Nitratos (mg/L)</b>					125	100	75	125	125

**Tabla 17.** Parámetros Físicoquímicos en el punto tres de muestreo del acueducto Río Negro

MUESTRA	PUNTO TRES								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temperatura (°C)	16,2	16,1	16,4	16,4		17	18	16	15
%O <sub>2</sub>	65,4	87,4	88,3					81,79	100,00
O <sub>2</sub> disuelto (mg/L)	6,3	7,08	7,42		5,6	5,5	7,5	7,6	10
Conductividad (Ω)	29,5	32,1	30,9	27,29		65			
pH	7,7	6,94	7,6	6,13	7	6,5	6,5	6,5	6,8
Acidez (mg/L)	30	20	20	30	30	40	20	10	30
Alcalinidad (mg/L)	20	40	20	30	30	40	30	30	40
Dureza Temporal (mg/L)	20	40	50	30	30	30	30	40	10
Dureza Total (mg/L)	20	20	20	40	30	30	40	40	23
CO <sub>2</sub> (mg/L)	1,5	3	2,5	2	2,5	2,5	2,5	2	2
Calcio (mg/L)	8	8	2	6	4	6	6	12	6
Cloruros (mg/L)	6	8	5	6	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
Hierro ppm	0		0	0	0	0	0	0	0
Turbiedad (UNT)	1	5				0		2	1
Amonio (mg/L)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fósforo Reactivo Soluble (mg/L)	0					0,01			
Nitratos (mg/L)					75	100	75	125	75

Finalmente se considera con los resultados presentados en este estudio referentes tanto a parámetros biológicos y físicoquímicos las condiciones del agua que el acueducto de Río Negro entrega a la comunidad son deficientes y no cumple con las normas sanitarias, ya que presenta un elevado número de unidades formadoras de colonias de coliformes tanto totales como fecales, de igual manera los representantes más abundantes de la comunidad perifítica evidencian la mesotrofia y ligera contaminación orgánica del agua, además las densidades algales son muy altas para aguas destinadas para consumo humano y en general los valores de turbiedad y nitratos exceden los establecidos en las normas de salubridad.

De esta manera considerando que la demanda de agua potable en toda la zona que atiende el acueducto es de 47.520.000 L/mes de agua potable (Velasco 2005), es necesario y prioritario establecer medidas de desinfección más eficientes como la cloración.

## 7. CONCLUSIONES

- El sistema de filtración en múltiples etapas no está siendo efectivo en la desinfección del agua del acueducto
- A excepción de la turbiedad y los nitratos los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro de los rangos establecidos en el capítulo II de la resolución número 2115 de 2007 emitida por el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- La calidad bacteriológica del agua del acueducto Río Negro no es aceptable de acuerdo con los rangos establecidos en el capítulo III de la resolución número 2115 de 2007 emitida por el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- El índice del IRCA establecido en el capítulo IV de la resolución número 2115 de 2007 emitida por el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, arroja como resultados que el agua del acueducto de Río Negro se encuentra en un nivel de riesgo alto por lo cual es no apta para el consumo humano y requiere una vigilancia especial
- El agua del Acueducto Río Negro no es apta para consumo humano y por lo tanto deben implementarse prácticas que ayuden a la desinfección del agua
- Deben efectuarse correctivos en el uso de suelos y del agua de la microcuenca Chiguará, ya que esta es la razón por la cual el agua se encuentra en mal estado
- Los géneros perifíticos más abundantes presentes e los filtros de arena son *Navicula* y *Frustulia*, Los géneros menos abundantes son *Pinnularia* y *Gonium*
- Los individuos perifíticos presentes en los lechos de arena del acueducto Río negro son indicadores de aguas mesotróficas a eutróficas y con contaminación por materia orgánica.

## 8. RECOMENDACIONES

- Como se demuestra en este trabajo es necesario implementar medidas para la vigilancia de la calidad bacteriológica del agua del acueducto Río Negro, entre las cuales se encuentran.
  - Realizar cloración
  - Aumentar la presión del agua para contrarrestar la contaminación
  - Limpiar y desinfectar tanques de almacenamiento y pozos
- Implementar el modelo de zonificación ambiental y el plan de manejo ambiental planteado por Velasco 2005 para la microcuenca Chiguará ya que esto ayudaría a eliminar o por lo menos corregir los aportes orgánicos que están ingresando en esta microcuenca y que posteriormente generan los problemas planteados en este estudio.
- Realizar actividades de educación ambiental, para concientizar a la comunidad sobre la importancia de cuidar el recurso agua y las repercusiones de esto sobre su salud

## BIBLIOGRAFÍA

APHA, AWWA and WPCF 1992. *MÉTODOS NORMALIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE AGUAS POTABLES Y RESIDUALES*, (1ª Ed.). Ediciones Díaz de Santos, S.A., Madrid

Becerra A. TECNOLOGIAS APROPIADAS PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE. [En línea] Colombia, [Fecha de consulta: Enero 2010] disponible en: <http://www.itacab.org/publicaciones/eacolomb.PDF>

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA. *Documento compilatorio de disposiciones regulatorias de carácter general expedidas por la comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico- cra* . [En línea] Colombia, 2004 [Fecha de consulta: Marzo de 2009] disponible en: [http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/cga\\_compilacion.pdf](http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/cga_compilacion.pdf)

Centro Panamericano de ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, EPA. *CURSO SOBRE MÉTODOS BACTERIOLÓGICOS PARA EL ANÁLISIS DE AGUA POTABLE*. [En línea]. Perú, 2000 [Fecha de consulta: Marzo tres de 2009]. Disponible en: <http://bvsde.per.paho.org/bvsala/e/fulltext/curso/curso.pdf>

Díaz-Quirós C., Rivera-Rondón C. 2004. DIATOMEAS DE PEQUEÑOS RÍOS ANDINOS Y SU UTILIZACIÓN COMO INDICADORAS DE CONDICIONES AMBIENTALES. *Caldasia* 26(2) 381- 394.

ENOHSA Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento. *Capítulo vii - 4. Filtración lenta*. [En línea] [Fecha de consulta: Marzo de 2009] disponible en: [http://www.frbb.utn.edu.ar/frbb/images/stories/frbb/materias/ingenieria\\_sanitaria/ENOHSA%20Filtracion%20lenta.pdf](http://www.frbb.utn.edu.ar/frbb/images/stories/frbb/materias/ingenieria_sanitaria/ENOHSA%20Filtracion%20lenta.pdf)

Madigan M., Martiko J., Parker J. 2004. *BROCK BIOLOGÍA DE LOS MICROORGANISMOS*. Décima edición. Pearson Educación S.A, Madrid

Margalef, R. 1955. LOS ORGANISMOS INDICADORES EN LA LIMNOLOGÍA. Instituto forestal de investigaciones y experiencias. Madrid

Martínez L., Donato J. 2003. EFECTOS DEL CAUDAL SOBRE LA COLONIZACIÓN DE ALGAS EN UN RÍO DE ALTA MONTAÑA TROPICAL (BOYACÁ, COLOMBIA). *Caldasia* 25(2): 337-354.

Méndez N., Gómez N., Iglesias P. 2006. CAUCA CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS. Instituto geográfico Agustín Codazzi. Imprenta nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

*MÉTODO DE FILTRACIÓN POR MEMBRANA PARA LA DETERMINACIÓN DE COLIFORMES TOTALES.* [En línea]. [Fecha de consulta: Marzo tres de 2009]. Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan2/032981-I-II/032981-I-07b.pdf>

Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. *RESOLUCIÓN NÚMERO 2115 DE 2007.* [En línea]. Colombia, 2007. [Fecha de consulta: Marzo tres de 2009]. Disponible en: [http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/agsresolucion%202115-07 .pdf](http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/agsresolucion%202115-07.pdf)

Ordeñana L., Herrera A. , & et al. *CALIDAD TOXICOLÓGICA Y PRESENCIA DE VIRUS EN EL EFLUENTE DE UN FILTRO LENTO DE ARENA.* [En línea]. México. [Fecha de consulta: Marzo tres de 2009]. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/impactos/mexicon/R-0061.pdf>

Organización Panamericana de la Salud, Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. *LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO DEL MILENIO: UN PACTO ENTRE LAS NACIONES PARA ELIMINAR LA POBREZA HUMANA.* [En línea] [Fecha de consulta: Marzo tres de 2009] disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd57/HDR03perspectiva.pdf>

Organización Panamericana de la Salud, Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. *CAPITULO CINCO FILTRACIÓN LENTA.* [En línea] Colombia [fecha de consulta: Marzo tres de 2009] disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo5.pdf>

Organización Panamericana de la Salud, Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. *FILTRACIÓN LENTA EN ARENA.* [En línea] [Fecha de consulta: Marzo tres de 2009] disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan/020867/020867-16.pdf>

Organización Panamericana de la Salud, Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. *DIMENSIÓN DEL PROBLEMA Y SU POSIBLE SOLUCIÓN.* [En línea] [Fecha de consulta: Marzo tres de 2009] disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/019970/019970%20-01.pdf>

Peña - Salamanca E., Palacios – peñaranda M., Alvarez N. 2005. ALGAS COMO INDICADORAS DE CONTAMINACIÓN. Primera edición. Universidad del valle programa editorial. Cali, Colombia.



Pinilla G. 2000 INDICADORES BIOLÓGICOS EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS CONTINENTALES DE COLOMBIA. Fundación universitaria de Bogotá, Jorge Tadeo Lozano

Prada – Matiz A. *LA FILTRACION EN ARENA, ALCANCES Y POSIBILIDADES DE APLICACIÓN EN LA ORINOQUIA*. [En línea] Colombia [fecha de consulta: Marzo tres de 2009] disponible en: <http://apramat.iespana.es/MANEJO%20DE%20AGUAS/FLA1.pdf>

Prescott L. Harley J. Klein D. 2004. MICROBIOLOGÍA. Quinta edición. McGraw Hill. Madrid, España.

Presidente de la República de Colombia. *DECRETO NÚMERO 475 DE 1998*. [En línea]. Colombia, 1998. [Fecha de consulta: Marzo tres de 2009]. Disponible en: [http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/haq\\_dec475-1998.pdf](http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/haq_dec475-1998.pdf)

Presidente de la República de Colombia. *DECRETO NÚMERO 1575 DE 2007*. [En línea]. Colombia, 2007. [Fecha de consulta: Marzo tres de 2009]. Disponible en: [http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/cep\\_decreto%201575%20de%202007.pdf](http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/cep_decreto%201575%20de%202007.pdf)

Roldán – Pérez G., Ramírez – Restrepo J., 2008. FUNDAMENTOS DE LIMNOLOGÍA NEOTROPICAL. Segunda edición. Editorial Universidad de Antioquia.

Sánchez L., Latorre J., Galvis G. *PERIODO DE MADURACIÓN: EFECTO DE LA LIMPIEZA DE LA BIOMEMBRANA EN UN FILTRO LENTO EN ARENA*. [En línea] Colombia [Fecha de consulta: Marzo de 2009] disponible en: <http://cinara.univalle.edu.co/archivos/pdf/74.pdf>

Sánchez L., Latorre J., Galvis G. *COMPORTAMIENTO DE LA POBLACIÓN DE ALGAS Y PROTOZOOS DESPUÉS DE LA LIMPIEZA DE LA BIOMEMBRANA EN UN FILTRO LENTO EN ARENA*. [En línea] Colombia [Fecha de consulta: Marzo de 2009] disponible en: <http://www.univalle.edu.co/~cinarauv/archivos/pdf/73.pdf>

The State of New Jersey. *FACTS MICROORGANISMOS EN EL AGUA POTABLE*. [En línea]. [Fecha de consulta: Marzo tres de 2009]. Disponible en: [http://www.state.nj.us/health/eoh/hhazweb/micro\\_sp.pdf](http://www.state.nj.us/health/eoh/hhazweb/micro_sp.pdf)

Vásquez – Zapata G. 2001. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS NATURALES.

Velasco O. 2005. PLAN DE ORDENACIÓN DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA CHIGUARÁ, MUNICIPIO DE SOTARÁ, CAUCA.

Villas – Rojas Y., Zea – Mazo C. *ALGAS COMO BIOINDICADORES CAUSANTES DE OBTURACIÓN EN LOS FILTROS LENTOS DE ARENA DEL CORREGIMIENTO DE ALTAVISTA*. [En línea] Colombia, 2006 [Fecha de consulta: Marzo de 2009] disponible en: [http://www2.eppm.com/bibliotecaepm/biblioteca\\_virtual/documents/tesisyesidantoniiovilla\\_TOC.pdf](http://www2.eppm.com/bibliotecaepm/biblioteca_virtual/documents/tesisyesidantoniiovilla_TOC.pdf)

Zapata- Anzola A., y Donato- Rondon J. 2005. CAMBIOS DIARIOS DE LAS ALGAS PERIFÍTICAS Y SU RELACIÓN CON LA VELOCIDAD DE CORRIENTE EN UN RÍO TROPICAL DE MONTAÑA (RÍO TOTA – COLOMBIA). *Limnetica*, 24(3-4): 327-338. Madrid, España.