


| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
|  | MACROPROCESO DE APOYO | CÓDIGO: AAAr113 |
| | PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO | VERSIÓN: 3 |
| | DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL | WIGENCIA: 2017-11-16 |
| | | PAGINA: 1 de 8 |

26.

FECHA viernes, 24 de noviembre de 2017

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad


| | |
|-----------------------------------------------|------------------------|
| UNIDAD REGIONAL | Seccional Girardot |
| TIPO DE DOCUMENTO | Trabajo De Grado |
| FACULTAD | Ciencias Agropecuarias |
| NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO | Pregrado |
| PROGRAMA ACADÉMICO | Ingeniería Ambiental |

El Autor(Es):

| APELLIDOS COMPLETOS | NOMBRES COMPLETOS | No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN |
|----------------------------|--------------------------|----------------------------------------|
| Ramos Cortes | Herly Johana | 1069755067 |
| Salazar Gallo | Sonia Liliana | 1062387341 |
| | | |
| | | |

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000978000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.082-2

Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Accedese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
|  | MACROPROCESO DE APOYO | CÓDIGO: AAAr113 |
| | PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO | VERSIÓN: 3 |
| | DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL | VIGENCIA: 2017-11-16 |
| | | PAGINA: 2 de 8 |

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

| APELLIDOS COMPLETOS | NOMBRES COMPLETOS |
|----------------------------|--------------------------|
| Meneses Ortigón | Luz Andrea |
| | |
| | |

| TÍTULO DEL DOCUMENTO |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EFFECTO DEL VERTIMIENTO DEL RÍO BOGOTÁ, SOBRE LAS COMUNIDADES HIDROBIOLÓGICAS Y LAS VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS DEL RÍO MAGDALENA EN GIRARDOT - CUNDINAMARCA |

| SUBTÍTULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| |

| TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía |
|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Trabajo de grado, para optar por el título de Ingeniero Ambiental |

| AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO | NÚMERO DE PÁGINAS |
|-------------------------------------|--------------------------|
| 17/11/2017 | 125 |

| DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves) | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| ESPAÑOL | INGLÉS |
| 1. Zona de confluencia | confluence zone |
| 2. Calidad del agua | Water Quality |
| 3. BMWP | BMWP |

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá - Cundinamarca
Teléfono (091) 8201483 Línea Gratuita 019000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.052-2

Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional



MACROPROCESO DE APOYO
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

CÓDIGO: AAar113
VERSIÓN: 3
VIGENCIA: 2017-11-16
PAGINA: 3 de 8

| | |
|-------------|------------|
| 4. Algas | Algae |
| 5. Nitratos | Nitrates |
| 6. Fosfatos | Phosphates |


RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

El río Magdalena es uno de los afluentes más importantes del país, convirtiéndose en el eje fundamental de desarrollo nacional. Sin embargo, este afluente se ve afectado por la desembocadura del río Bogotá, el cual es un importante tributario que presenta una de las estructuras económicas más diversificadas, la cual está estrechamente ligada al uso de sus recursos naturales, así como al desarrollo de actividades agrícolas, mineras y procesos de transformación industrial, que han deteriorado el ecosistema, produciendo cambios sustanciales de las características propias de un río de alta montaña y convirtiéndolo en uno de los más contaminados de sur América. El ecosistema en estudio es la zona de confluencia del río Bogotá y el Magdalena razón por la cual la investigación se llevó a cabo, específicamente en la cuenca baja, ya que allí hay pocos estudios que proporcionen datos acerca de la calidad del agua en la desembocadura, lugar donde se concentra la contaminación más alta acumulada a lo largo de su recorrido. Por lo tanto, el objeto del presente proyecto es conocer el efecto de los vertimientos provenientes del cauce natural del río Bogotá sobre el río Magdalena. Para ello, se realizaron muestreos de agua para estudios de parámetros físicos, químicos, microbiológicos y biológicos en 4 puntos de la zona de confluencia, en dos épocas climáticas del año; una seca y otra lluviosa. En cada punto se tomaron muestras de agua para analizar Temperatura, pH, Turbiedad, alcalinidad, Fosfatos, Nitratos, Materia orgánica, DBOs, OD, Amonio, Coliformes totales y fecales. En cuanto al muestreo de macroinvertebrados se realizó mediante los métodos de colecta manual y red surber, mientras que para la colecta de fitoplancton y zooplancton, se usaron redes de plancton con las cuales se hizo arrastre horizontal. Mediante el análisis de componentes principales se establece que las variables que influenciaron la presente investigación fueron los nitratos y fosfatos, mostrando un comportamiento diferente en los dos ríos. Además, se confirma que los macroinvertebrados y el plancton presente, están estrechamente relacionados con las condiciones fisicoquímicas actuales. Finalmente se concluye que el río Bogotá tiene un efecto negativo sobre el río Magdalena al alterar las variables fisicoquímicas del agua, deteriorando la calidad del recurso hídrico y por lo tanto disminuyendo las comunidades

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 01300976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asignado que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
|  | MACROPROCESO DE APOYO | CÓDIGO: AAAr113 |
| | PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO | VERSIÓN: 3 |
| | DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL | VIGENCIA: 2017-11-16 |
| | | PAGINA: 4 de 8 |

hidrobiológicas propias de esta fuente hídrica, permitiendo solo el establecimiento de organismos tolerantes a estos escenarios. Al no ser tan significativa la alteración se demuestra que el Magdalena, aún tiene la capacidad de diluir el elevado grado de contaminación que recibe.

The Magdalena River is one of the most important tributaries of the country, becoming the fundamental axis of national development. However, this tributary is affected by the Bogotá River mouth, which is an important tributary that presents one of the most diversified economic structures, which is closely linked to the use of its natural resources, as well as to the development of agricultural activities, mining and industrial transformation processes, which have deteriorated the ecosystem, producing substantial changes in the characteristics of a high mountain river and making it one of the most polluted in South America. The ecosystem under study is the confluence zone of the Bogotá and Magdalena rivers, which is why the research was carried out, specifically in the lower basin, since there are few studies that provide data on the quality of water at the mouth, where the highest accumulated pollution is concentrated along its route. Therefore, the object of the present project is to know the effect of the vertimientos coming from the natural course of the Bogotá River on the Magdalena River. To do this, water samples were taken for studies of physical, chemical, microbiological and biological parameters in 4 points of the confluence zone, in two climatic seasons of the year; one dry and one rainy. At each point, water samples were taken to analyze Temperature, pH, Turbidity, Alkalinity, Phosphates, Nitrates, Organic matter, BOD5, OD, Ammonium, total and fecal Coliforms. The sampling of macroinvertebrates was carried out by means of manual collection methods and the surber network, while, for the collection of phytoplankton and zooplankton, plankton nets were used with which horizontal trawling was done. By means of the analysis of main components it is established that the variables that influenced the present investigation were nitrates and phosphates, showing a different behavior in the two rivers. In addition, it is confirmed that the macroinvertebrates and the present plankton are closely related to the current physicochemical conditions. Finally, it is concluded that the Bogotá River has a negative effect on the Magdalena River by altering the physicochemical variables of the water, deteriorating the quality of the water resource and therefore diminishing the hydrobiological communities of this water source, allowing only the establishment of tolerant organisms to these scenarios. As the alteration is not so significant, it is shown that the Magdalena still has the capacity to dilute the high degree of contamination it receives.



MACROPROCESO DE APOYO
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

CÓDIGO: AAAR113
VERSIÓN: 3
VIGENCIA: 2017-11-16
PAGINA: 5 de 8

AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":

| AUTORIZO (AUTORIZAMOS) | | SI | NO |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|----|
| 1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer. | | | X |
| 2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet. | X | | |
| 3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí con cedidas con las mismas limitaciones y condiciones. | X | | |
| 4. La inclusión en el Repositorio Institucional. | X | | |

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 4281483 Línea Gratuita 01600097000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.692.062-2

Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional



| | |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| MACROPROCESO DE APOYO | CÓDIGO: AAAr113 |
| PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO | VERSIÓN: 3 |
| DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL | VIGENCIA: 2017-11-16 |
| | PAGINA: 6 de 8 |

autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros, respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

SI NO

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.


LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiro(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la

Diagonal 18 No. 20-29 Pasagajugá - Cundinamarca
Teléfono (051) 8281483 Línea Gratuita 018000975000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.880.062-7

Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
|  | MACROPROCESO DE APOYO | CÓDIGO: AAAr13 |
| | PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO | VERSIÓN: 3 |
| | DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL | VIGENCIA: 2017-11-16 |
| | | PAGINA: 7 de 8 |

Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

- b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.
- c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.
- e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.
- f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
- g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.
- h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el "Manual del Repositorio Institucional AAAM003"
- i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



Diagonal 18 No. 20-28 Fusagasigá - Cundinamarca
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 01.8000976000
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NET: 890.830.062-2

Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional

| | | |
|--|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| | MACROPROCESO DE APOYO | CÓDIGO: AAAR113 |
| | PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO | VERSIÓN: 3 |
| | DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL | WIGENCIA: 2017-11-16 |
| | | PAGINA: 8 de 8 |

j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

| Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. Perez.Juan2017.pdf) | Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1. EFECTO DEL VERTIMIENTO DEL RIO BOGOTÁ, SOBRE LAS COMUNIDADES HIDROBIOLÓGICAS Y LAS VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS DEL RIO MAGDALENA EN GIRARDOT - CUNDINAMARCA | PDF |
| 2. | |
| 3. | |
| 4. | |

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

| APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS | FIRMA (autógrafa) |
|-------------------------------|----------------------|
| Ramos Cortes Herly Johana | |
| Salazar Gallo Sonia Liliana | |
| | |
| | |

12.1.50

**EFFECTO DEL VERTIMIENTO DEL RÍO BOGOTÁ, SOBRE LAS
COMUNIDADES HIDROBIOLÓGICAS Y LAS VARIABLES
FISICOQUÍMICAS DEL RIO MAGDALENA EN GIRARDOT –
CUNDINAMARCA**

HERLY JOHANA RAMOS CORTES
Código: 363213173
SONIA LILIANA SALAZAR GALLO
Código: 363213183

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL
GIRARDOT-CUNDINAMARCA
2017**

**EFFECTO DEL VERTIMIENTO DEL RÍO BOGOTÁ, SOBRE LAS
COMUNIDADES HIDROBIOLÓGICAS Y LAS VARIABLES
FISICOQUÍMICAS DEL RIO MAGDALENA EN GIRARDOT –
CUNDINAMARCA**

HERLY JOHANA RAMOS CORTES
Código: 363213173
SONIA LILIANA SALAZAR GALLO
Código: 363213183

Trabajo de grado, para optar por el título de Ingeniero Ambiental

Director
LUZ ANDREA MENESES ORTEGÓN
Biol. Esp. M.Sc.

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL
GIRARDOT-CUNDINAMARCA
2017

Notas de Aceptación

Firma del Director del trabajo

Firma del jurado

Girardot Cundinamarca, (06 de Octubre de 2017).

Dedicatoria

A Dios que supo guiarme y brindarme la sabiduría necesaria para llegar hasta este punto, permitiéndome continuar y no morir en el intento.

A mis padres, por creer en mí, permitirme cumplir mi sueño y ser mi apoyo emocional durante toda mi carrera.

A mis ángeles de la guarda, porque me motivaron a esforzarme y a ser valiente, esto es por ustedes y para ustedes.

Johana Ramos

A Dios, quien supo guiarme en cada uno de mis pasos y me dio fortaleza para no desfallecer.

Al motor de mi vida, quien supo esperar cada día con tanto amor el momento preciso para estar juntos, quien con sus palabras de afecto me daba ánimo para seguir adelante a pesar de la distancia, a ti hijo mío por cada una de las despedidas y lágrimas que derrame al estar lejos de ti.

A mi madre, hermano y tía, quienes, a pesar de las circunstancias, creyeron en mí y me brindaron su apoyo incondicional para que esta meta fuera posible.

A ti, que me acompañaste en las buenas y en las malas, siempre hasta el final, con tu incondicional amor.

Sonia Salazar

Agradecimientos

Agradecemos a la docente y directora Luz Andrea Meneses Ortegón por su paciencia, apoyo incondicional, confianza, excelente y acertada asesoría durante el desarrollo de este proyecto y por compartir sus conocimientos, permitiendo finalizar con éxito este trabajo.

A nuestras familias por brindarnos su apoyo y comprensión total a lo largo de toda la carrera.

A nuestros compañeros incondicionales (Laura Marcela, Felipe Rodríguez y Diana Céspedes) y a todos los amigos que me brindaron su apoyo moral, he hicieron divertido el desarrollo de esta propuesta.

A Miguel Ángel Molina Gutiérrez, por ser mi apoyo incondicional y emocional en los altos y bajos durante el desarrollo del proyecto.

Infinitos agradecimientos a Dios, quien nos dio sabiduría y paciencia para culminar esta meta, a toda nuestra familia, por cada granito de arena que pusieron, por cada palabra de apoyo y por todas las cosas que hicieron por mí en este recorrido, agradezco a mis compañeros quienes nos brindaron su ayuda desinteresada, y a todas aquellas personas que de una u otra forma hicieron posible esta meta en mi vida.

Contenido

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Glosario | 33 |
| Resumen | 36 |
| Introducción..... | 38 |
| Planteamiento del problema | 40 |
| Justificación | 42 |
| Objetivos..... | 44 |
| Objetivo general:..... | 44 |
| Objetivos específicos: | 44 |
| Marco Referencial | 45 |
| Marco Teórico..... | 45 |
| Importancia de los recursos hídricos..... | 45 |
| Contaminación hídrica en Colombia..... | 47 |
| Calidad del agua..... | 48 |
| Índice de calidad del agua (ICA)..... | 49 |
| Importancia del análisis fisicoquímico en la calidad del agua..... | 49 |
| Evaluación biológica: bioindicadores de condiciones ambientales en el agua..... | 50 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Importancia de los indicadores biológicos..... | 53 |
| Utilidad de los bioindicadores..... | 54 |
| Organismos bioindicadores..... | 56 |
| Índice BMWP/COL..... | 60 |
| Complementariedad de los índices físico-químicos con los microbiológicos..... | 61 |
| Marco legal..... | 63 |
| Diseño Metodológico..... | 66 |
| Área De Estudio..... | 66 |
| Fase De Campo..... | 69 |
| Fase De Laboratorio..... | 69 |
| Análisis físicoquímicos..... | 69 |
| Análisis hidrobiológico..... | 70 |
| Coliformes fecales:..... | 71 |
| Macroinvertebrados:..... | 71 |
| Fitoplancton y zooplancton:..... | 71 |
| Análisis De Datos:..... | 71 |
| Análisis de componentes principales (PCA):..... | 72 |
| Calculo del BMWP/COL:..... | 72 |
| Resultados..... | 75 |
| Temperatura..... | 81 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| Turbidez | 82 |
| Solidos Disueltos Totales | 83 |
| pH..... | 84 |
| Oxígeno disuelto | 85 |
| Materia orgánica..... | 86 |
| DBO ₅ | 87 |
| Alcalinidad | 88 |
| Nitratos | 89 |
| Amonio..... | 89 |
| Fosfatos | 90 |
| Coliformes totales | 91 |
| Coliformes fecales..... | 92 |
| Discusión | 99 |
| Conclusiones..... | 116 |
| Recomendaciones | 119 |
| Referencias | 120 |
| Anexos | 127 |

Lista De Tablas

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Normatividad que respalda el proyecto de investigación. | 63 |
| Tabla 2. Técnicas utilizadas para el análisis de las muestras | 70 |
| Tabla 3. Técnicas de análisis utilizadas por el laboratorio externo | 70 |
| Tabla 4. Puntajes de las Familias de Macroinvertebrados para el índice BMWP/COL. | 73 |
| Tabla 5. Clases de calidad de agua según valores del BMWP/COL..... | 73 |
| Tabla 6. Clasificación de la calidad del agua con respecto al índice WQI. | 74 |
| Tabla 7. Análisis de componentes principales..... | 75 |
| Tabla 8. Valor o peso de cada componente en el estudio..... | 76 |
| Tabla 9. Matriz de correlación | 78 |
| Tabla 10. Familias de Macroinvertebrados acuáticos colectados con red surber y colecta manual, en época de sequía. | 78 |
| Tabla 11. Familias de Macroinvertebrados acuáticos colectados con Red Surber y colecta manual, en época de lluvia. | 79 |
| Tabla 12. Fitoplancton encontrado, en época de sequía..... | 80 |
| Tabla 13. Fitoplancton encontrado, en época de lluvia..... | 80 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 14. Zooplancton encontrado en época de lluvia..... | 81 |
| Tabla 15. Resultados del Índice BMWP en los puntos de muestreo..... | 94 |
| Tabla 16. ICA de los puntos de muestreo | 94 |
| Tabla 17. Resultados del índice BMWP/Col para el P1 | 95 |
| Tabla 18. Calculo del ICA para el P1 en época seca | 95 |
| Tabla 19. Calculo del ICA del P1 en época de lluvia..... | 96 |
| Tabla 20. Resultados del índice BMWP/Col para el P2 | 96 |
| Tabla 21. Calculo del ICA para el P2 en época seca. | 97 |
| Tabla 22. Resultados del índice BMWP/Col para el P3..... | 98 |
| Tabla 23. Calculo del ICA para el P3 en época seca | 98 |
| Tabla 24. Calculo del ICA del P3 en época de lluvia..... | 99 |
| Tabla 25. Resultados del índice BMWP/Col para el P4 | 99 |
| Tabla 26. Resultados de los análisis fisicoquímicos en época de sequia..... | 127 |
| Tabla 27. Resultados de los análisis fisicoquímicos en época de lluvia..... | 128 |

Lista De Figuras

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Girardot-Cundinamarca. | 67 |
| Figura 2. Ubicación geográfica del área de estudio..... | 68 |
| Figura 3. Ubicación de los 4 puntos de muestreo..... | 68 |
| Figura 4. Comportamiento de los componentes principales en los puntos de muestreo, durante las dos épocas. | 77 |
| Figura 5. Barrera física para remoción de residuos sólidos. | 110 |
| Figura 6. Alternativa de estabilización del talud del río y remoción de nutrientes...112 | |
| Figura 7. Capacidad de remoción de N y P del vetiver..... | 113 |
| Figura 8. Punto 1 de muestreo, río Bogotá..... | 129 |
| Figura 9. Punto 2 de muestreo, río Magdalena. | 129 |
| Figura 10. Punto 3 de muestreo, Zona de mezcla. | 130 |
| Figura 11. Punto 4 de muestreo, aguas abajo del río Magdalena. | 131 |
| Figura 12. Macroinvertebrados colectados en Punto 1, en época seca..... | 131 |
| Figura 13. Macroinvertebrados colectados en punto 2, en época seca..... | 132 |
| Figura 14. Macroinvertebrados colectados en punto 3, en época seca. | 132 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 15. Macroinvertebrados colectados en punto 4, en época seca. | 133 |
| Figura 16. Macroinvertebrados colectados en Punto 1, en época de lluvia. | 133 |
| Figura 17. Macroinvertebrados colectados en Punto 2, en época de lluvia. | 134 |
| Figura 18. Macroinvertebrados colectados en Punto 3, en época de lluvia. | 134 |
| Figura 19. Macroinvertebrados colectados en Punto 4, en época de lluvia. | 135 |
| Figura 20. Familia Planorbiidae. | 135 |
| Figura 21. Familia Noteridae. | 136 |
| Figura 22. Larva de Chironomidae. | 136 |
| Figura 23. Familia Hydrobiidae. | 137 |
| Figura 24. Familia Thiaridae. | 137 |
| Figura 25. Familia Ampullariidae. | 138 |
| Figura 26. Ulothrix. | 138 |
| Figura 27. Fragmentos de Ankistrodesmus. | 139 |
| Figura 28. Euglena. | 139 |
| Figura 29. Nitzschia. | 139 |
| Figura 30. Hyalotheca. | 140 |

| | |
|-----------------------------------|-----|
| Figura 31. Botryococcus..... | 140 |
| Figura 32. Raphidiopsis C.F. | 141 |
| Figura 33. Hyalotheca..... | 141 |
| Figura 34. Tabellaria..... | 141 |
| Figura 35. Oscillatoria. | 142 |
| Figura 36. Acanthocystis..... | 142 |
| Figura 37. Synedra. | 142 |
| Figura 38. Copepoda..... | 143 |
| Figura 39. Nitzschia..... | 143 |
| Figura 40. Merismopedia. | 143 |
| Figura 41. Dynobryon..... | 144 |
| Figura 42. Acari. | 144 |

Glosario

Afluentes: Corresponde a un curso de agua, también llamado tributario, que desemboca en otro río más importante con el cual se une en un lugar llamado confluencia.

Biota: Se conoce como biota al conjunto de especies de plantas, animales y demás organismos que están presentes en un área determinada.

Calidad del agua: Puede definirse como la composición fisicoquímico-biológica que la caracteriza y recordado el hecho de que el agua pura no existe en la naturaleza, se habla que un agua es de calidad, cuando sus características la hacen aceptable para un cierto uso. Es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia.

Contaminación hídrica: Es la incorporación al agua de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales, aguas residuales y de otros tipos. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos. Los principales contaminantes de este recurso son las aguas residuales, materia orgánica, agroquímicos, detergentes, petróleo, minerales inorgánicos y compuestos químicos, sedimentos arrastrados por escorrentía, etc.

Contaminación física: Se genera por la presencia de cuerpos extraños que flotan suspendidos, (como por ejemplo envases desechables, plásticos o tierra) y afectan el color, olor y sabor del agua.

Contaminación química: es la presencia de elementos disueltos, metales, ácidos, detergentes, fertilizantes, insecticidas, plaguicidas; consecuencia, principalmente, de actividades industriales, agrícolas y urbanas.

Contaminación biológica: se debe a la presencia de microorganismos, como bacterias, virus, protozoos y parásitos, que producen enfermedades, como, por ejemplo: el tifus, la hepatitis o el cólera.

Cuenca alta: La parte de la cuenca que, por su posición, capta y almacena la mayor parte de los aportes de la precipitación y tiene una cobertura vegetal típica de pastos o bosques y menor presión demográfica.

Cuenca media: De mayor pendiente relativa, con un caudal caracterizado por torrentes turbulentos, se le denomina también zona de transporte de sedimentos o de escurrimiento.

Cuenca baja: La parte baja de la cuenca, de menor pendiente relativa, con un caudal de flujo continuo, cauce definido y amplia planicie de inundación, suele llamarse cono de deyección o zona de depósito.

Impacto ambiental: Cualquier alteración en el sistema ambiental biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuido al desarrollo de un proyecto, obra o actividad.

Ecosistema ambientalmente crítico: Es aquel que ha perdido su capacidad de recuperación o autorregulación.

Vertidos: Se denomina vertidos a cualquier disposición de aguas residuales en un cauce o masa de agua. También se utiliza el término para los vertidos que se realizan sobre el terreno. Como consecuencia de la actividad humana, su impacto sobre el medio ambiente es negativo y debe ser minimizado por medio de medidas correctoras adecuadas. Los vertidos urbanos, o aguas negras, se caracterizan por su contaminación orgánica (fecal), disuelta o suspendida, que se mide en su conjunto (sin discriminar compuestos específicos) por su demanda química de oxígeno (DQO) y su demanda biológica de oxígeno (DBO₅).

Resumen

El río Magdalena es uno de los afluentes más importantes del país, convirtiéndose en el eje fundamental de desarrollo nacional. Sin embargo, este afluente se ve afectado por la desembocadura del río Bogotá, el cual es un importante tributario que presenta una de las estructuras económicas más diversificadas, la cual está estrechamente ligada al uso de sus recursos naturales, así como al desarrollo de actividades agrícolas, mineras y procesos de transformación industrial, que han deteriorado el ecosistema, produciendo cambios sustanciales de las características propias de un río de alta montaña y convirtiéndolo en uno de los más contaminados de sur América. El ecosistema en estudio es la zona de confluencia del río Bogotá y el Magdalena razón por la cual la investigación se llevó a cabo, específicamente en la cuenca baja, ya que allí hay pocos estudios que proporcionen datos acerca de la calidad del agua en la desembocadura, lugar donde se concentra la contaminación más alta acumulada a lo largo de su recorrido. Por lo tanto, el objeto del presente proyecto es conocer el efecto de los vertimientos provenientes del cauce natural del río Bogotá sobre el río Magdalena. Para ello, se realizaron muestreos de agua para estudios de parámetros físicos, químicos, microbiológicos y biológicos en 4 puntos de la zona de confluencia, en dos épocas climáticas del año; una seca y otra lluviosa. En cada punto se tomaron muestras de agua para analizar Temperatura, pH, Turbiedad, alcalinidad, Fosfatos, Nitratos, Materia orgánica, DBO₅, OD, Amonio, Coliformes totales y fecales. En cuanto al muestreo de macroinvertebrados se realizó mediante los métodos de colecta manual y red surber, mientras que para la colecta de fitoplancton y zooplancton, se usaron redes de plancton con las cuales se hizo arrastre horizontal. Mediante el análisis de componentes principales se establece que las variables que influenciaron la presente investigación fueron los nitratos y fosfatos, mostrando un

comportamiento diferente en los dos ríos. Además, se confirma que los macroinvertebrados y el plancton presente, están estrechamente relacionados con las condiciones fisicoquímicas actuales. Finalmente se concluye que el río Bogotá tiene un efecto negativo sobre el río Magdalena al alterar las variables fisicoquímicas del agua, deteriorando la calidad del recurso hídrico y por lo tanto disminuyendo las comunidades hidrobiológicas propias de esta fuente hídrica, permitiendo solo el establecimiento de organismos tolerantes a estos escenarios. Al no ser tan significativa la alteración se demuestra que el Magdalena, aún tiene la capacidad de diluir el elevado grado de contaminación que recibe.

Palabra claves: Zona de confluencia, Calidad del agua, BMWP, Algas, nitratos, fosfatos.

Introducción

Los sistemas loticos son considerados uno de los recursos naturales más importantes para la vida, sin embargo, en las últimas décadas estos recursos hídricos han sufrido deterioro de su calidad a causa de las actividades humanas, llevando a una reducción sustancial de su biota acuática o incluso su desaparición (Jonsson, et al., 2001, Lara-Lara, J.R et al., 2008, citado por González, Ramírez, Meza, y Días, 2012, p. 136)

En los últimos años el concepto de calidad del agua ha cambiado de un enfoque puramente fisicoquímico a otro que integra todos los componentes del ecosistema, como las comunidades biológicas (Roldan Pérez, G., 2003, p. 14). Grupos como los Macroinvertebrados acuáticos, han sido utilizados como indicadores de las condiciones ambientales en que viven (presiones físicas y químicas sobre el ecosistema), (Roldán Pérez, G. 1990 citado por González, et al. 2012).

En el caso del río Bogotá, este nace en el nororiente de Cundinamarca, en un sitio conocido como el Páramo de Guacheneque, desde allí recorre aproximadamente 380 km hasta la ciudad de Girardot a 280 m.s.n.m., donde entrega todo su caudal al río Magdalena (Institutos de Estudios Urbanos (Red de Bogotá), s.f., párr., 1). Al poseer el río Bogotá esta estratégica ubicación geográfica, se ha presentado el desarrollo de asentamientos humanos y diversas actividad antrópicas a lo largo de la cuenca, volviéndolo susceptible a todo tipo de contaminación indiscriminada por parte del sector agrícola, minero, pecuario, industrial y un inadecuado ordenamiento territorial, que ha causado que se use el río como sistema de alcantarillado y vertedero de desechos, generándose una importante degradación en la calidad

del recurso, que conlleva a su vez una disminución de la diversidad de fauna y flora y una pérdida importante de su biota acuática.

Conocer la degradación del recurso hídrico, la pérdida de comunidades hidrobiológicas y su interacción con el medio, permite comprender las condiciones que prevalecen en este sistema lotico; por lo cual surge la necesidad de evaluar el grado de afectación del vertimiento proveniente del cauce natural del río Bogotá sobre el río Magdalena a través de análisis fisicoquímicos e hidrobiológicos (bacterias, fitoplancton, zooplancton y Macroinvertebrados), y de esta forma proponer alternativas de manejo para el cauce del río Bogotá.

Planteamiento del problema

En la actualidad se han degradado ecosistemas acuáticos importantes como la cuenca del río Bogotá, debido a que menos del 5% de los municipios del país tratan sus aguas residuales, descargándose a estos recursos hídricos cerca de cuatro millones y medio de m³ diarios de estas aguas, como resultado del ineficiente control y prevención de la contaminación, lo cual conlleva a que haya déficit de agua en el 14% del territorio nacional, (Pérez, G. S. 2002, p. 84).

“En el caso de la cuenca del río Bogotá, sus principales tributarios son los ríos san francisco, Sisga, Siecha, Tibitó, Teusacá, Chicú, Juan amarillo, Fucha, Tunjuelito, Balsillas, Soacha y Muña en la cuenca alta, Calandaima y Apulo en su cuenca baja. Si bien es cierto, el río Bogotá no atraviesa el casco urbano de la ciudad de Bogotá, es allí donde se genera el mayor impacto sobre este recurso, debido a que es utilizado como el receptor de todas las aguas residuales que circulan en la capital; las aguas que se vierten al Bogotá vienen cargadas de grandes cantidades de materia orgánica, metales pesados, vertidos industriales, grasas entre otros, que con llevan al deterioro de la calidad del recurso y por lo tanto disminuyen las especies que lo habitan, (Alcaldía Mayor de Bogotá, Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente citado por Biblioteca Luis Ángel Arango, 2016).

Atendiendo a lo anterior, numerosas entidades han establecido un plan de recuperación de la cuenca del río Bogotá, para lo cual se han realizado cuantiosos estudios fisicoquímicos en algunos tramos de la cuenca alta y media; sin embargo, en la cuenca baja no se le ha dado igual importancia.

Los parámetros fisicoquímicos e hidrobiológicos a lo largo de toda la cuenca del río Bogotá son variantes, condiciones como la topografía del terreno, las diferentes entradas de agua y calidad de las mismas, así como los múltiples factores climáticos típicos de las zonas que atraviesa la cuenca, influyen en la calidad del recurso que llega a la desembocadura del río Bogotá, en este contexto surge la necesidad de conocer ¿Cómo influencia el vertimiento del río Bogotá, a las comunidades hidrobiológicas y las variables fisicoquímicas del río Magdalena?

Por lo tanto, es importante realizar un diagnóstico de la calidad con la que llega el agua a la zona de confluencia entre el río Bogotá y el río Magdalena, caracterizando las condiciones fisicoquímicas que prevalecen, así mismo, cómo estas intervienen sobre la presencia o ausencia de comunidades hidrobiológicas. Se pretende que los resultados obtenidos se conviertan en información base y sirvan de herramienta para futuras investigaciones donde se evidencie el impacto de la pérdida de biodiversidad acuática a causa de la contaminación, además, se resalte la importancia de recuperar este tipo de ecosistemas.

Justificación

El avanzado grado de contaminación y deterioro que presenta la cuenca del río Bogotá, hace que se concentre gran atención sobre este vital recurso, debido a que abastece cerca del 20% de la población total del país, (Instituto de Estudios Urbanos (Red Bogotá), s.f).

Con objeto de conocer específicamente las condiciones con que este recurso llega a su desembocadura y el impacto que puede tener sobre la otra importante fuente de abastecimiento como es el río Magdalena, se decide realizar el presente estudio, no solamente desde el punto de vista fisicoquímicos sino también hidrobiológico, debido a los pocos estudios que hay de la zona que proporcionen datos acerca de la calidad del agua y sus efectos sobre las comunidades del río Magdalena.

Por lo tanto, “es importante reconocer el gran valor que tiene la bioindicación como un método para medir la calidad del agua, ya que la presencia de una comunidad en un cuerpo de agua determinado es un índice inequívoco de las condiciones que allí están prevaleciendo” (Roldan, 1999, p.376). Además “Conocer la realidad de la calidad del agua podrá evitar posibles riesgos sanitarios, ya que el agua es uno de los principales medios para la transmisión de muchas enfermedades que afectan a los humanos” (Carrion Gutierrez., 2014), tal como lo demostró Natalia Castro, estudiante de ingeniería ambiental de la Universidad de los Andes, quien en un estudio concluyo que los cultivos de hortalizas de la sabana se han afectado con metales pesados por los vertimientos industriales a las aguas del río Bogotá, (Gonima, 2014 párr. 4)

Desde el punto de vista de la parte ecológica es importante, ya que al incluir el análisis de bioindicadores como los Macroinvertebrados y el plancton, se evidencia la presión que ejerce el grado de contaminación sobre el ecosistema, (Lozano O., 2005).

Por lo tanto, es fundamental comprender el estado actual del ecosistema en estudio, particularmente porque las condiciones actuales de esta corriente de agua se desconocen y han estado sujetas por largo tiempo a perturbaciones, impulsando así estudios que pueden contribuir a la preservación, restauración y/o recuperación de la cuenca del río Bogotá, ecosistema de vital importancia para el país.

Objetivos

Objetivo general:

Evaluar el efecto que tiene el vertimiento del río Bogotá sobre las comunidades hidrobiológicas y las variables fisicoquímicas del río Magdalena.

Objetivos específicos:

- Caracterizar las condiciones fisicoquímicas e hidrobiológicas del agua en la zona de confluencia entre el río Bogotá y el río Magdalena.
- Determinar la calidad del agua en la desembocadura del río Bogotá y Magdalena.
- Relacionar las variables hidrobiológicas y fisicoquímicas del río Bogotá y el río Magdalena.
- Plantear alternativas de manejo y recuperación en la cuenca baja del río Bogotá.

Marco Referencial

Marco Teórico

Importancia de los recursos hídricos.

“Los ecosistemas acuáticos continentales figuran entre los más productivos de la tierra. Son fuente de diversidad biológica, aportan el agua y la productividad primaria a las innumerables especies animales que de ellos dependen para su supervivencia” (Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), 2016).

Entre las funciones de los ecosistemas acuáticos se pueden mencionar: 1) el abastecimiento y almacenamiento de agua para riego, consumo humano, procesos industriales, pesca, transporte, recreación y turismo, y generación de energía eléctrica; 2) la mitigación de inundaciones; 3) la recarga y descarga de acuíferos; 4) el transporte y la retención de nutrientes y sedimentos (fertilización de planos inundables); 5) la oferta de recursos hidrobiológicos; y 6) refugio y hábitat de cientos de especies de microorganismos, plantas y animales, incluidas las aves migratorias. Por otro lado, los ecosistemas acuáticos son receptores de los procesos de contaminación de las diferentes actividades de los sectores productivos, por lo que, además, se convierten en un medio para la transmisión de enfermedades y de contenidos tóxicos; sin embargo, estos ecosistemas también tienen la capacidad para depurar las aguas de algunos agentes contaminantes, especialmente los de origen orgánico (Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), 2016).

Los ecosistemas acuáticos son sistemas abiertos, es decir, que intercambian masa y energía con su entorno, las variables externas son los flujos de agua de entrada y de salida, el

aporte de nutrientes y de sustancias tóxicas, la precipitación, el viento, la radiación solar y la temperatura. Otras variables son las de estado o variables internas, como la presencia de fitoplancton (conjunto de organismos vegetales que se encuentran suspendidos en la columna de agua y se mueven a merced de la corriente), los nutrientes almacenados y las poblaciones de peces (Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), 2016).

Por lo tanto, la preservación de la integridad de las fuentes de agua es entendida como el mantenimiento de su estructura y función, e implica conservar el balance natural de sus condiciones químicas, físicas y biológicas como un todo, (Arango, *et al.* 2008, párr.1).

Sin embargo, los crecimientos de los consumos, la deforestación y la escasa gestión sobre las cuencas y manejo de los recursos naturales, al igual que la ausencia casi total de tratamiento de aguas residuales, han puesto en la mira, cada vez con mayores evidencias, problemas en la disponibilidad del agua, incluyendo las limitaciones por calidad de la misma, desabastecimiento y racionamiento en un número cada vez mayor de municipios del país, con sus consecuentes efectos nocivos sobre la calidad de vida de la población y sobre el buen desarrollo de las actividades económicas (Londoño Arango, 2001).

Contaminación hídrica en Colombia.

“Las principales fuentes de contaminación de las aguas, tanto dulces como del mar, son la descarga directa de aguas servidas de origen doméstico e industrial.” (Dourojeanni, A., & Jouravlev, A. 1999). “En Colombia la contaminación hídrica proviene principalmente de las actividades industriales, domésticas y agropecuarias, además del aporte de residuos de las explotaciones mineras y de sitios de disposición final de residuos” (Ministerios del Medio Ambiente, 1997. p.13).

“Si bien se reconoce la riqueza hídrica nacional, tanto en la distribución temporal como espacial, este enorme potencial se restringe en su aprovechamiento por la confluencia de múltiples factores antrópicos que han generado efectos en los componentes del ciclo hidrológico y, en especial, sobre la calidad del agua, por la incorporación de residuos a las fuentes abastecedoras. También lo afectan, en buena medida, los patrones de aprovechamiento, caracterizados por mecanismos de uso poco eficiente del recurso” (Cardona González, A. H. 2003., párr. 6).

En los grandes centros urbanos y núcleos industriales del país, la calidad del recurso hídrico se ha deteriorado por la descarga de residuos peligrosos (básicamente de la industria química, farmacéutica y de transformación), la descarga de materia orgánica y la presencia de microorganismos patógenos, aportados por algunos tipos de industrias y servicios (hospitales y otros). Adicionalmente, las aguas industriales se manejan juntamente con las aguas residuales domésticas de los núcleos urbanos: menos de 5% de los 1.044 municipios del país tratan sus aguas residuales. En consecuencia, muchas corrientes naturales de agua que corren

cerca de las ciudades o que las atraviesan, son poco más que alcantarillas abiertas, como el río Bogotá, (Ministerios del Medio Ambiente, 1997. p.13).

Calidad del agua.

“Cuando se refieren a la calidad del agua, se evalúa sus características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano estas últimas incluyen fauna y flora en sus componentes micro y macro, en este caso el concepto se torna complejo y relativo, en el sentido que debe aclararse al hablar de una buena o mala calidad del agua, según el objetivo de la evaluación o la utilización final del recurso.” (Bartram, J., et al 2009).

El concepto de calidad del agua ha sido asociado al uso del agua para consumo humano, entendiéndose que el agua es de calidad cuando puede ser usada sin causar daño. Sin embargo, dependiendo de otros usos que se requieran para el agua, se puede determinar la calidad del agua para dichos usos. En este contexto, se considera que el agua es de buena calidad cuando está exenta de sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los consumidores y está exenta de sustancias que transmitan sensaciones sensoriales desagradables para el consumo, como el color, el olor, el sabor o turbiedad. La importancia de la calidad del agua radica en que el agua es uno de los principales medios para la transmisión de muchas enfermedades que afectan a los humanos. (Lenntech. Holding B.V 2006. Citado por: Aguas con el Agua, Calidad del Agua)

Índice de calidad del agua (ICA).

“El Índice de Calidad del Agua tienen como objeto estimar (generalmente valores entre 0 y 1), el grado de calidad de un determinado cuerpo hídrico continental” (Ramírez, A., Restrepo, R., y Viña, G. 1997, párr.2). “Este número es una agregación de las condiciones físicas, químicas y en algunos casos microbiológicas del cuerpo de agua” (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014). “Con ello se pretende reconocer problemas de contaminación de una forma ágil, sin tener que recurrir a la observación de cada una de las numerosas variables fisicoquímicas determinadas; esto se resalta cuando hay que realizar una gran cantidad de evaluaciones de forma periódica.”(Ramírez, A., et al 1997, párr.2) “Toma en cuenta una gama de factores ambientales a través de variables simples que permiten el análisis de los principales orígenes de la contaminación: oxígeno disponible, materia orgánica, sólidos, mineralización, acidez, entre otros, y características claves de la columna de agua como la temperatura” (IDEAM 2014, párr.3).

Importancia del análisis fisicoquímico en la calidad del agua.

“La implementación de nuevas metodologías que involucren más de dos parámetros para la valoración de la calidad del agua toma cada vez más importancia, los índices de calidad del agua engloban varios parámetros en su mayoría fisicoquímicos y en algunos casos microbiológicos que permiten reducir la información a una expresión sencilla, conocida como: índices de calidad del agua (ICA) e índices de contaminación del agua (ICO)”. En la actualidad los indicadores desarrollados involucran desde un parámetro hasta más de 30, pudiendo agruparse en diferentes categorías como: contaminación por materia orgánica e

inorgánica, eutrofización, aspectos de salud, sustancias suspendidas y disueltas, nivel de oxígeno y características fisicoquímicas (Samboni, Carvajal L., y Escobar, 2007 p. 3).

“La ventaja de los métodos físico-químicos radica en que sus análisis suelen ser más rápidos y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia, en comparación con los métodos biológicos, basados en la observación y medición de ciertas comunidades de seres vivos en las aguas; además, la elección de las especies debe ser cuidadosa ya que de esta depende la evaluación de la calidad del recurso, que generalmente solo se realiza para un uso determinado, a diferencia de las físico-químicas, que permiten una evaluación para diferentes tipos de uso. Los resultados de un análisis deben permitir resolver diferentes tipos de conflictos como el uso del agua y la integridad ecológica de los sistemas acuáticos, los cuales involucran aspectos socioeconómicos, por lo que los ICA e ICO son una herramienta importante pues su cálculo involucra más de una variable, de tal manera que el uso correcto de estos indicadores permite utilizarlos para la evaluación de los programas de gestión de recursos hídricos, (Samboni, Carvajal L., y Escobar, 2007 p. 4).

Evaluación biológica: bioindicadores de condiciones ambientales en el agua.

“Los indicadores biológicos son atributos de los sistemas biológicos que se emplean para descifrar condiciones de su ambiente. Inicialmente, se utilizaron especies o asociaciones de éstas como indicadores, posteriormente, comenzaron a emplearse también atributos correspondientes a otros niveles de organización del ecosistema, como poblaciones, comunidades, etc., lo que resultó particularmente útil en estudios de contaminación.” (Wilhm, J. L. 1975 Citado por UNAD (s.f). Muchos organismos, sumamente sensibles a su medio ambiente, cambian aspectos de su forma, desaparecen o, por el contrario, prosperan cuando su

medio se contamina. Cada etapa de autodepuración en un río que sufrió una descarga de materia orgánica se caracteriza por la presencia de determinados indicadores. Según su sensibilidad a la polución orgánica se clasificaron especies como intolerantes, facultativas, o tolerantes, (UNAD s.f).

“Por ejemplo, los indicadores de contaminación por desechos industriales generalmente son resistentes a la falta total o parcial de oxígeno, la baja intensidad de luz, etc.” (Branco, S. M. 1984 citado por UNAD (s.f)), Por ende, los monitores biológicos útiles, aunque el uso de organismos indicadores de contaminación requiere conocer las tolerancias ecológicas y los requerimientos de las especies, así como sus adaptaciones para resistir contaminantes agudos y crónicos. Las investigaciones sobre organismos indicadores de polución comprenden el estudio auto ecológico, en el laboratorio, para establecer los límites de tolerancia de una especie a una sustancia o a una mezcla de ellas mediante ensayos de toxicidad; y el sinecológico, que se basa en la observación y análisis de las características ambientales de los sitios en los cuales se detectan con más frecuencia poblaciones de organismos de cierta especie. Algas, bacterias, protozoos, Macroinvertebrados y peces son los más usados como indicadores de contaminación acuática, (Wilhm, J. L. 1975 Citado por UNAD (s.f))

Determinar el tipo de microorganismos presentes en el agua y su concentración proporciona herramientas indispensables para conocer la calidad de la misma y para la toma de decisiones en relación al control de vertidos, tratamiento de aguas y conservación de ecosistemas, evitando así el riesgo de contaminación de las personas y el ambiente, (Pulido, M. D. P. A., de Navia, S. L. Á., Torres, S. M. E., y Prieto, A. C. G. 2005, párr. 11).

No obstante, existe una gran dificultad para determinar la presencia de todos los microorganismos patógenos implicados en los procesos de contaminación ambiental. Dicha determinación implica costos elevados, tiempo, y laboratorios especializados. Frente a estas dificultades y a la necesidad de hacer una evaluación rápida y fiable de la presencia de patógenos en el agua, se ha planteado la necesidad de trabajar con determinados grupos indicadores. Los microorganismos indicadores son aquellos que tienen un comportamiento similar a los patógenos, concentración y reacción frente a factores ambientales, pero son más fáciles, rápidos y económicos de identificar. Una vez se ha demostrado la presencia de grupos indicadores, se puede inferir que los patógenos se encuentran presentes en la misma concentración y que su comportamiento frente a diferentes factores como pH, temperatura, presencia de nutrientes, tiempo de retención hidráulica o sistemas de desinfección es similar a la del indicador, (Campos, C. 1999 citado por Arcos Pulido, *et al* 2005, párr. 11).

Dentro de los organismos que habitan los sistemas loticos, las diatomeas (*Bacillariophyceae*) han sido ampliamente utilizadas como indicadores de las condiciones del medio acuático. Su importancia radica en la capacidad que tiene para registrar rápidamente cambios influenciados por las características físicas y químicas del agua. El grado de tolerancia en algunas especies permite inferir o asociar niveles de polución y contaminación basándose únicamente en su composición. El cambio de especies, reducción del número total de especies, cambios en el número de individuos por especie y cambios en la proporción relativa de especies dentro de la comunidad, son los principales indicadores utilizados, (Cox 1996, Pan et al. 1996, Sabater et al. 1988 citado por Díaz-Quirós, C., y Rivera-Rondón, C. A. 2004, p.382).

No obstante, la búsqueda de indicadores biológicos en ríos está principalmente enfocada en encontrar especies que respondan principalmente a la física y química del agua, (Martínez, L. F., & Donato, J. 2003 citado por Díaz-Quirós, C., y Rivera-Rondón, C. A. 2004), por ejemplo los Coliformes son organismos que se han considerado como indicadores de contaminación fecal, no obstante no todos los Coliformes son de origen fecal, por lo que fue necesario desarrollar pruebas para diferenciarlos a efectos de emplearlos como indicadores de contaminación. Se distinguen, por lo tanto, los Coliformes totales, que comprende la totalidad del grupo, y los Coliformes fecales, aquellos de origen intestinal, (Vega, F. J. T. 2009).

Importancia de los indicadores biológicos.

El uso de especies para detectar procesos y factores en los ecosistemas acuáticos tiene varias ventajas en las que se destacan que:

- Las poblaciones de animales y plantas acumulan información que los análisis fisicoquímicos no detectan, es decir, las especies y comunidades bióticas responden a efectos acumuladores intermitentes que en determinado momento un muestreo de variables químicas o físicas pasan por alto.
- Muchas sustancias se acumulan en el cuerpo de ciertos organismos, por ende, su concentración en esos indicadores puede reflejar el nivel de contaminación ambiental.
- Como no es posible tomar muestras de toda la biota acuática, la selección de algunas pocas especies indicadoras simplifica y reduce los costos de la valoración sobre el estado del

ecosistema, a la vez que se obtiene solo la información pertinente, desechando un cúmulo de datos difícil de manejar e interpretar, (Pinilla, G. A. P. A. 1998, p. 13).

Utilidad de los bioindicadores.

El principal uso que se le ha dado a los indicadores biológicos ha sido la detección de sustancias contaminantes, ya sean estos metales pesados, materia orgánica, nutrientes (eutrofización), o elementos tóxicos como hidrocarburos, pesticidas, ácidos, bases y gases con miras a establecer la calidad del agua. En adición a esta utilización primordial, existen otra serie de fenómenos que no son de origen cultural o antropogénicos, que se pueden determinar mediante bioindicadores como son, por ejemplo; (Pinilla, G. A. P. A. 1998, p. 13)

- Saturación de oxígeno
- Condiciones de anoxia
- Condiciones de pH
- Estratificación térmica en la columna de agua
- Turbulencia del agua

Entre algunos indicadores biológicos para estos parámetros podemos encontrar los *Hydroptilidae*, que “Son una familia con un puntaje de 8 para el índice BMWP/COL, los cuales se encuentran en aguas de alta conductividad, temperatura y oxígeno” (Roldan, P 1988, p. 243), por el contrario, las familias *Thiaridae* y *Chironomidae* están relacionadas con bajos

niveles de oxígeno, (Hahn-Vonhessberg, C., Toro, D., Grajales-Quintero, A., Duque-Quintero, G., y Serna-Uribe, L. 2009, párr.46).

Así mismo, la predominancia de los *Tubificidae* se puede deber a que son tolerantes a las condiciones de anoxia, las especies de esta familia se usan como bioindicadores debido a que reaccionan con un desarrollo masivo al enriquecimiento orgánico de un cuerpo de agua, soportando condiciones muy desfavorables de oxígeno y altas concentraciones de sustancias toxicas como metales pesados, detergentes, pesticidas y herbicidas, (Roldán, G., & Ramírez, J. J. 2008 citado por Rivera-Usme, J. J., & Pinilla-Agudelo, G. A. 2013, Gaviria, E. A. 1993).

En cuanto a indicadores de estratificación térmica y de oxígeno en la columna de agua en un río, cuando este llega a la parte baja su temperatura puede variar entre 8 y 10°C con respecto a la parte alta, presentando bajas concentraciones de oxígeno ya que el lecho se torna más profundo, por ende la fauna de Macroinvertebrados en los ríos es más diversa principalmente en las partes altas, pero a medida que desciende el cauce se va perdiendo diversidad de *Ephemeropteros* y *Trichopteros*, igualmente comenzando a aumentar los *Odonatos* y los *Hemípteros*, ya en áreas muy contaminadas se puede registrar dominio de uno a dos grupos por lo regular los *Chironomidos* y los *Tubificidae* con una cantidad de hasta cincuenta mil organismos por metro cuadrado.(Pérez, G. R. 2003 citado por Escobar, D. M. V., De, P. D. A. A. Y., 2012, p.23).

En el caso de organismos indicadores de pH “*Clostridium Perfringens* es una bacteria que puede ser utilizada como indicadora de pH ya que tolera elevadas temperaturas, desecación, pH extremos y falta de nutrientes, entre otras condiciones adversas.” (. Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración de Agua s.f). Mientras que, para la turbulencia

del agua se podrían utilizar los Coliformes totales como indicador ya que en un estudio se determinó que altos valores de turbidez (y materia orgánica) suelen ser paralelos a la detección de valores elevados de Coliformes totales, (Moreno A, O. Y Perez L, J., 1999 citado por Marcó, L., Azario, R., Metzler, C., & García, M. D. C. 2004, p.79). “Midiendo la eficacia de la desinfección contra el Poliovirus y los Coliformes en aguas con turbidez de 1 a 5 UNT, hallaron que las partículas orgánicas los protegían mejor que las inorgánicas (arcillas y fosfato de aluminio). En el caso de las orgánicas encontraron una relación directa de los niveles de turbidez, que al reducirla de 5 a 1 UNT, disminuía 5 veces la concentración de los organismos resistentes a la desinfección” (Hoff, J, y Geldreich, E. 1981 citado por Marcó, L. *et al.* 2004, p.79) “La correlación encontrada entre la turbidez y los Coliformes totales nos permiten sugerir el uso de la turbidez como indicador cualitativo indirecto de riesgo de contaminación microbiológica, en aguas captadas de fuentes superficiales. Para el caso de muchos virus y parásitos, cuya supervivencia no está necesariamente ligada a la presencia de Coliformes, con más razón la medición nefelométrica de las partículas servirá para medir indirectamente el riesgo de contaminación por aquellos gérmenes” (Mcjunki F.1996 citado por Marcó, L., Azario, R., Metzler, C., & García, M. D. C. 2004, p.81).

Organismos bioindicadores.

Los organismos o grupos de organismos más utilizados como indicadores de contaminación son:

Bacterias. “En las aguas destinadas al consumo doméstico, uno de los factores más importantes para tener en cuenta es su estado sanitario, reflejado en los organismos que contiene. Las bacterias que se encuentran más frecuentemente en el agua son las bacterias entéricas que colonizan el tracto gastrointestinal del hombre y son eliminadas a través de la materia fecal. Cuando estos microorganismos se introducen en el agua, las condiciones ambientales son muy diferentes y por lo tanto su capacidad de reproducirse y de sobrevivir son limitadas. Debido a que su detección y recuento a nivel de laboratorio son lentos y laboriosos, se ha usado el grupo de las bacterias Coliformes como indicadores, ya que su detección es más rápida y sencilla” (Pulido, M. 2005, p.72).

El grupo de microorganismos Coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana debido a que estos son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal en grandes cantidades tanto del hombre como de los animales de sangre caliente, permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas y se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección, (Pulido, M. 2005, p.71).

Fitoplancton. La importancia de emplear algas como indicadores biológicos se debe a su relación con la eutrofización, existen muchos ejemplos de algas microscópicas que permiten inferir sobre la calidad de los ambientes acuáticos, estas permiten conocer las fluctuaciones en las masas de agua, lo que ha permitido trascender en la caracterización de especies tolerantes o afines a la materia orgánica y en su capacidad de descomponerla, (Antezana, R. C. H., Ostoic, F. R., & Ramos, A. G s.f, p.6).

Una de las características más importantes del estudio de las algas, es su capacidad depuradora del medio ambiente, ya que a través del proceso de fotosíntesis incorporan

oxígeno, contribuyendo de esta manera a la oxidación de la materia orgánica, por un lado y por el otro a aumentar el oxígeno disuelto en el agua, el cual será utilizado por las otras comunidades u organismos que componen la flora y fauna del medio acuático donde viven, (Antezana, R. C. H., Ostoic, F. R., & Ramos, A. G s.f, p.7).

De las microalgas, las diatomeas son preferidas para los monitoreos debido a que es el grupo autotrófico dominante además de que su identificación es simple. Las ventajas de su uso es que son cosmopolitas, algunas especies son muy sensibles a cambios ambientales, mientras que otras muy tolerantes, algunas son muy sensibles a cambios ambientales por periodos muy largos, el muestreo es sencillo, rápido y pueden cultivarse para estudiarlas en diseños experimentales, (Toro et al., 2003 citado por Antezana, R. C. H., Ostoic, F. R., y Ramos, A. G. s.f, p.7).

Zooplancton. El zooplancton es un grupo muy diverso de pequeños animales, la mayoría microscópicos, que tienen poca capacidad para desplazarse en el agua. Por eso en realidad se encuentran suspendidos en el agua y se mueven junto con las corrientes, este grupo constituye la comunidad animal más amplia y variada sobre la que se tiene conocimiento. Casi todos los grupos zoológicos están representados, desde los protozoarios hasta los vertebrados en sus estados larvarios. Estos animales del zooplancton son organismos consumidores, ya que necesitan tomar su alimento de otros organismos. Por consumirlo directamente de los vegetales se les llama consumidores primarios siendo herbívoros y si lo toman de otros animales se les llama consumidores secundarios, siendo carnívoros; dentro de este grupo de organismos del plancton animal algunos son capaces de alimentarse de ambos, filtrando indiscriminadamente fitoplancton o capturando, en forma selectiva, organismos animales,

denominándose omnívoros, (Zooplankton, S.F., Lemus, J. L. C., Torres-García, M., y Mondragón, M. F. 1997).

Macroinvertebrados. “Los Macroinvertebrados son los organismos más ampliamente usados como bioindicadores en la actualidad por diversas circunstancias entre las que se destacan:”

1. Tener una amplia distribución (geográfica y en diferentes tipos de ambientes).
2. Una gran riqueza de especies con gran diversidad de respuestas a los gradientes ambientales.
3. Ser en su mayoría sedentarios, lo que permite el análisis espacial de la contaminación.
4. En otros casos, la posibilidad de utilizar su reacción de huida (deriva) como indicador de contaminación.
5. En algunas especies, tener ciclos de vida largo porque integra los efectos de la contaminación en el tiempo.
6. Poder ser muestreados de forma sencilla y barata.
7. Una taxonomía en general bien conocida a nivel de familia y género.
8. La sensibilidad bien conocida de muchos taxones a diferentes tipos de contaminación.

9. El uso de muchas especies en estudios experimentales sobre los efectos de la contaminación, (Resh, V. H., 2008 citado por Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., & Rieradevall, M. 2009, p.3).

“De todos los organismos que se encuentran dentro de un sistema acuático, los Macroinvertebrados bentónicos ofrecen ventajas para ser usados como indicadores de contaminación ya que se encuentran en todos los ecosistemas acuáticos, por lo que favorecen los estudios comparativos” (Figuerola, R.; C. Valdovinos, E. Araya, y O. Parra. 2003 citado por. Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., y Rieradevall, M. 2009, p.4). Además, las respuestas de las comunidades de estos organismos, a las diferentes perturbaciones ambientales, son útiles para determinar y medir el impacto de los diferentes modos de contaminación; residuos municipales, agrícolas industriales e impactos de otros usos del suelo sobre aguas superficiales, (Principales bioindicadores del agua s.f.).

Índice BMWP/COL.

El Biological Monitoring Working Party (BMWP) fue establecido en Inglaterra en 1970, es un método simple y rápido para evaluar la calidad del agua por contaminación de materia orgánica, usando los Macroinvertebrados como bioindicadores. El método solo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles como Perlidae y Oligoneuriidae reciben un puntaje de 10; en cambio, las más tolerantes a la contaminación, como, por ejemplo, Tubificidae, reciben una puntuación de 1, la suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP. Los valores de puntaje para las familias individuales reflejan su tolerancia a la

contaminación con base en el conocimiento de la distribución y la abundancia. (Armitage et al. 1983 citado por Roldan 2016, p.45).

Complementariedad de los índices físico-químicos con los microbiológicos.

“Los estudios limnológicos sobre calidad de agua, parten del principio de que a cada tipo de ecosistema acuático está asociada una comunidad particular de organismos” (Margalef 1983, Cole 1983, Wetzel 1983, Roldán 1992 citado por : Posada, G., José, A., Roldán, P., Ramírez, R., & John, J. 2000, p.59).

el componente agua, es una parte del ecosistema acuático en el que se desarrollan una serie de comunidades vivas que dependen de las características físicoquímicas del mismo y pueden verse notablemente modificadas al ser alteradas. La mayoría de los parámetros utilizados para la evaluación de la calidad del agua son de carácter físicoquímico, que no reflejan las posibles alteraciones existentes que hayan podido suceder tiempo atrás. Por este motivo la vigilancia y control de la contaminación del agua se complementa con organismos como bioindicadores, (Alba-Tercedor, J. 1996 citado por Posada, G., José, A., Roldán, P., Ramírez, R., y John, J. 2000, p.59).

Existen multitud de metodologías que utilizan una amplia variedad de organismos: bacterias, protozoos, algas, macrófitos, macroinvertebrados y peces, entre otros. De todas las metodologías, aquellas basadas en el estudio de los macroinvertebrados acuáticos son las más usuales, por lo tanto los métodos físicoquímicos y biológicos son complementarios en los procesos de evaluación de calidad del agua, la importancia de su complementariedad radica en que, los bioindicadores nos muestran el estado actual del recurso desde su estructura

ecológica, es decir nos ofrecen un concepto cualitativo de si hay o no afectación al ecosistema y con los métodos fisicoquímicos se estaría encontrando el origen de la afectación, si es química o física ofreciéndonos datos exactos en el momento, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización de ambos en la evaluación del recurso hídrico, (Resh, V. H., 2008 citado por Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., & Rieradevall, M. 2009, p.3).

Marco legal

Tabla 1. *Normatividad que respalda el proyecto de investigación.*

| NORMATIVA | DESCRIPCIÓN |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ley 23 del 1973 | Principios fundamentales sobre prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo. Se expide el código de los recursos naturales |
| Artículo 4 | Se entiende por contaminación la alteración del medio ambiente por sustancias o formas de energía puestas allí por la actividad humana o de la naturaleza, en cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir con el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora y la fauna, degradar la calidad del medio ambiente o afectar los recursos de la Nación o de particulares |
| Decreto ley 2811 de 1974 | Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Se declara el ambiente patrimonio común, el estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo. |
| Artículo 8 | Se entiende por contaminante cualquier elemento, combinación de elementos, o forma de energía que actual o potencialmente puede producir alteración ambiental. La contaminación puede ser física, química, o biológica. |
| Art 134 -145 | de prevención y control de la contaminación de las aguas |
| Ley 9 de 1979 | Código sanitario nacional |
| Art. 51 a 54 | Control y prevención de las aguas para consumo humano |

| | |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Constitución política 1991 | elevó a norma constitucional la consideración, manejo y conservación de los recursos naturales y el medio ambiente |
| Art 79 | Consagra el derecho de todas las personas residentes en el país de gozar de un ambiente sano |
| Art. 80 | El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. |
| Art. 95 | así como el deber de las personas y del ciudadano de proteger los recursos naturales y de velar por la conservación del ambiente |
| Ley 373 de 1997 | Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua |
| Art 1 | Las corporaciones autónomas regionales y demás autoridades ambientales encargadas del manejo, protección y control del recurso hídrico en su respectiva jurisdicción aprobarán la implantación y ejecución de dichos programas en coordinación con otras corporaciones autónomas que compartan las fuentes que abastecen los diferentes usos. |
| Decreto 1449 de 1997 | en relación con la conservación, protección y aprovechamiento de las aguas |
| Art 2 | Definiciones: Calidad del agua: Es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia |
| Resolución 2115 de 2007 | Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. |

| | |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Decreto 1575 de 2007 | Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano |
| Decreto 3930 del 2010 | Establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados. |
| Artículo 7. | Para el establecimiento de los modelos de simulación de calidad. |
| | a) DBO ₅ : Demanda Bioquímica de oxígeno a cinco (5) días. |
| | b) DQO: Demanda Química de Oxígeno. |
| | c) SS: Sólidos suspendidos. |
| | d) pH: Potencial del Ion Hidronio, H ⁺ . |
| | e) T: Temperatura. |
| | f) OD: Oxígeno disuelto. |
| | g) Coliformes Totales y Coliformes Fecales. |
| Resolución 631 de 2015 | Establece los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertidos puntuales a los cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. |

Fuente: Autores

Diseño Metodológico

Área De Estudio

“Girardot tiene una extensión aproximada de 138 km², siendo uno de los municipios más pequeños en extensión del departamento de Cundinamarca. Está situado en la región andina, al sur occidente del departamento a 326 m.s.n.m, localizado sobre la margen derecha de los ríos Magdalena y Bogotá a 4° 17'43" Norte y 74° 44' 56", Oeste y limita” (Secretaría de Educación Municipal - Alcaldía de Girardot, 2012)

- Por el Norte: Con los municipios de Nariño y Tocaima.
- Por el Oriente: Con el municipio de Ricaurte.
- Por el Sur: Con el departamento del Tolima.
- Por el Occidente: Con el departamento del Tolima y el municipio de

Nariño (Figura 1)

La ciudad de Girardot cuenta con un clima cálido y seco, su temperatura promedio es de 30 °C aproximadamente. Como todo su territorio está debajo de los 1.000 m.s.n.m, sus temperaturas son elevadas, registrándose las más altas durante los meses de febrero, agosto y Septiembre y durante el resto del año hay un ligero descenso producido por un régimen de lluvias moderado, distinguiéndose dos períodos lluviosos de abril a junio y de septiembre a noviembre. (Asociacion Municipal de Juntas de Girardot, 2012)

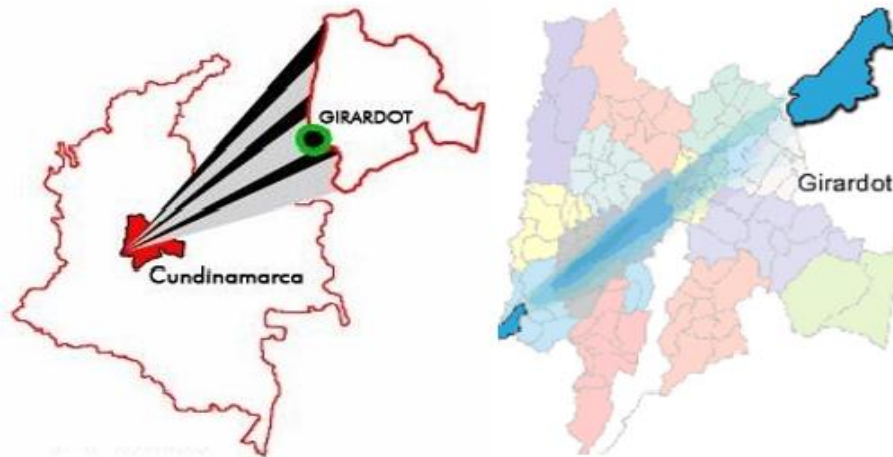


Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Girardot-Cundinamarca. Recuperado de asociación municipal de juntas Girardot

Para el desarrollo de la propuesta se seleccionaron 4 puntos de muestreo (P1, P2, P3 y P4) en la zona de confluencia del río Bogotá, los cuales fueron georreferenciados con un GPS Móvil Garmin Etrex. El P1, se realizó aguas arriba del río Bogotá (N 04°17'19.7'' y W 74°47'46.4'' a 278 m.s.n.m), el P2; aguas arriba del río Magdalena (N 04°17'17.9'' y W 74°47'39.7'' a 273 m.s.n.m), el P3, se muestreo en la zona de confluencia entre el río Bogotá y Magdalena (N 04°17'18.5'' y W 74°47'47.8'' a 274 m.s.n.m) y el P4, se realizó aguas abajo de la zona de mezcla de los dos ríos (N 04°17'28.9'' y W 74°48'01.1'' a 270 m.s.n.m).

En cada punto se tomaron muestras puntuales de agua, con el fin de analizar parámetros fisicoquímicos e hidrobiológicos. Para la caracterización fisicoquímica se estudiaron los siguientes parámetros: temperatura, turbiedad, pH, oxígeno disuelto, materia

orgánica, demanda biológica de oxígeno en cinco días (DBO_5), sólidos disueltos totales (SDT), alcalinidad, nitratos, amonio y fosfatos, mientras que para los análisis hidrobiológicos se tuvieron en cuenta Coliformes fecales, Coliformes totales, Fitoplancton, Zooplancton y Macroinvertebrados acuáticos.

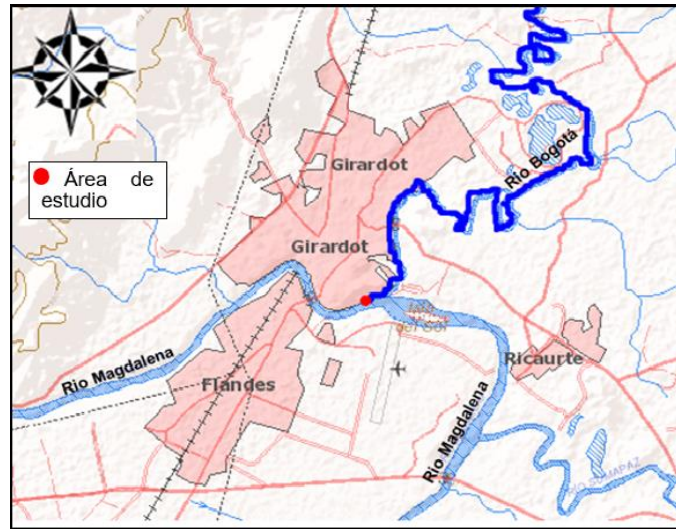


Figura 2. Ubicación geográfica del área de estudio. Adaptado del Geo portal Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

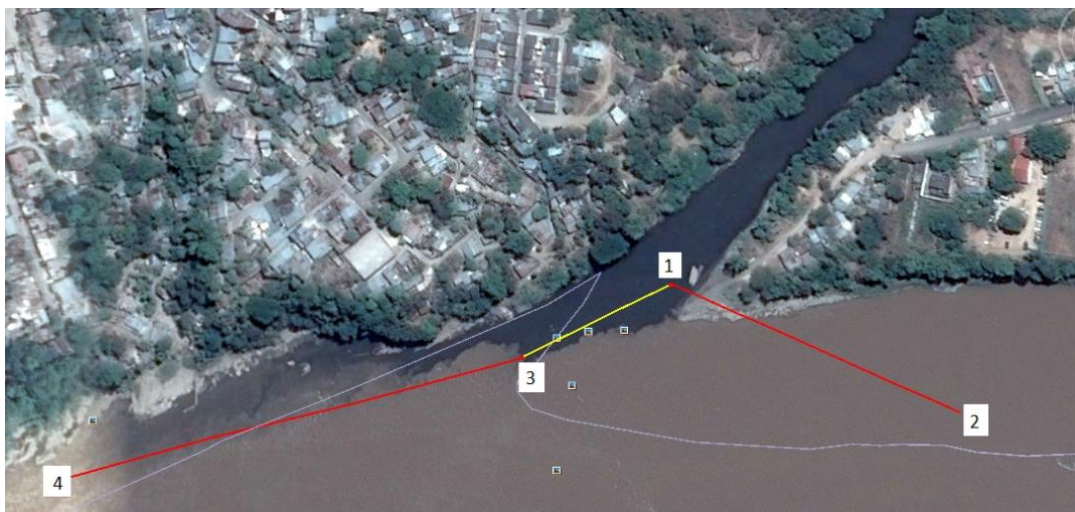


Figura 3. Ubicación de los 4 puntos de muestreo en el área de estudio. Adaptado de Google Earth.

Fase De Campo

Se tomaron muestras de agua en frascos de tereftalato de polietileno con capacidad para un litro, esterilizados y debidamente rotulados, utilizados en los parámetros de pH, temperatura, DBO₅, oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos y amonio, mientras que los parámetros de materia orgánica, Coliformes totales y fecales se tomaron en frascos de vidrio y luego se refrigeraron a 4C° para su posterior análisis. El muestreo de Macroinvertebrados se realizó mediante los métodos de colecta manual y Red Surber, durante aproximadamente 10 minutos en contra corriente, posteriormente se almacenaron en viales de vidrio con alcohol al 70% para su identificación en el laboratorio.

En tanto que, para la recolección de las muestras de zooplancton y fitoplancton, fueron utilizadas redes de plancton de 150 µm y 75µm de abertura de poro respectivamente, con las cuales se hizo un arrastre horizontal hasta conseguir un filtrado visible, el cual se introdujo en un recipiente plástico color blanco para protegerlo de la luz y realizar la observación en laboratorio.

Fase De Laboratorio

Análisis fisicoquímicos.

Para el respectivo análisis de las muestras de agua se aplicaron las metodologías establecidas por en el “Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater”.

Los parámetros de pH, temperatura, oxígeno disuelto, materia orgánica y alcalinidad fueron analizados en el laboratorio de Biología de la Universidad de Cundinamarca seccional

Girardot, con el apoyo de la directora del proyecto, siendo utilizadas las técnicas que se relacionan a continuación:

Tabla 2. *Técnicas utilizadas para el análisis de las muestras*

| PARÁMETRO | TÉCNICA DE ANÁLISIS |
|------------------|-------------------------------|
| Materia Orgánica | Oxidabilidad del Permanganato |
| pH | Potenciometría |
| Temperatura | Termométrico |
| Oxígeno Disuelto | Potenciometría |
| Alcalinidad | Método De Gran |

Fuente: Autores

Los parámetros de turbiedad, fosfatos, solidos disueltos totales, amonio, nitratos y DBO₅ se enviaron a un laboratorio externo, donde se analizaron las muestras con las técnicas que se relacionan a continuación:

Tabla 3. *Técnicas de análisis utilizadas por el laboratorio externo*

| PARÁMETRO | TÉCNICA DE ANÁLISIS |
|---------------------------|-----------------------------------|
| Solidos Totales Disueltos | Electrometría |
| Turbiedad | Nefelometría |
| Nitrógeno Total | Espectrofotometría |
| Fosforo Total | Espectrofotometría |
| DBO ₅ | Incubación 5 Días y Luminiscencia |
| Amoniacó | Colorimetría |

Fuente: Autores

Análisis hidrobiológico.

En cuanto a los parámetros hidrobiológicos, estos fueron analizados como se describen a continuación:

Coliformes fecales:

Después de la colecta de las muestras, estas se trasladaron al laboratorio de biología de la Universidad de Cundinamarca Seccional Girardot, para la determinación de Coliformes fecales y Coliformes totales mediante la técnica de recuento en placa.

Macroinvertebrados:

La identificación de Macroinvertebrados se realizó en el laboratorio de aguas de la Universidad Cundinamarca seccional Girardot, hasta el nivel de familia, proceso que se realizó con el apoyo del Biólogo Jack Frank García y las guías de identificación, de Macroinvertebrados como Bioindicadores de la Calidad del agua propuestas por Roldan Pérez 2012.

Fitoplancton y zooplancton:

De igual forma se analizaron muestras para la determinación de fitoplancton y zooplancton con ayuda de un Microscopio y un Estereoscopio, en el laboratorio de aguas de la Universidad Seccional Girardot; con el apoyo de la Bióloga Luz Andrea Meneses Ortegón.

Análisis De Datos:

El análisis de la información de las variables fisicoquímicas y microbiológicas inicialmente se hizo a partir de estadística descriptiva, con objetivo de mostrar de forma simple, los datos obtenidos a través de gráficos de barras que permitieron detectar tanto las

características sobresalientes como las inesperadas entre los puntos de muestreo para las dos épocas. Posteriormente estas mismas variables fueron estudiadas mediante un análisis de componentes principales (PCA), técnica multivariante no paramétrica que consiste en determinar cuáles fueron las variables que mejor representaron el presente estudio.

Una vez se realizó la identificación de los Macroinvertebrados, se aplicó el método BMWP/COL propuesto por Roldan Pérez, finalmente se aplicó el WQI o ICA con el fin de corroborar la calidad del agua de los diferentes puntos y de evidenciar su comportamiento en las dos épocas de muestreo.

Análisis de componentes principales (PCA):

El Análisis de Componentes Principales (PCA) es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción del número de variables. Es decir, dada n observaciones de p variables, se trata de calcular, a partir de ellas, un nuevo conjunto de variables, donde el objetivo es reducir las variables a un menor número, perdiendo la menor cantidad de información posible. Los nuevos componentes principales o factores serán una combinación lineal de las variables originales, y además serán independientes entre sí, cuyas varianzas vayan decreciendo progresivamente (Gurrea, M. 2000).

Calculo del BMWP/COL:

El Biological Monitoring Working Party (BMWP) solo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica, donde la suma de los

puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP, la tabla 5 muestra las clases de calidad del agua, resultantes de sumar el BMWP, (Roldan Pérez, G., 2016., P. 46.)

Tabla 4. *Puntajes de las Familias de Macroinvertebrados para el índice BMWP/COL.*

| Familias | Puntajes |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodiidae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae. | 10 |
| Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae. | 9 |
| Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae. | 8 |
| Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossossomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae. | 7 |
| Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae. | 6 |
| Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae | 5 |
| Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolycopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae. | 4 |
| Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae. | 3 |
| Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae, | 2 |
| Tubificidae | 1 |

Nota. Recuperado de Roldan Pérez (2012)

Tabla 5. *Clases de calidad de agua según valores del BMWP/COL.*

| Clase | Calidad | BMWP/Col | Significado | Color |
|-------|-------------|-----------------|----------------------------------|----------|
| I | Buena | >150 101-120 | Aguas muy limpias a limpias | Azul |
| II | Aceptable | 61-100 | Aguas ligeramente contaminadas | Verde |
| III | Dudosa | 36-60 | Aguas moderadamente contaminadas | Amarillo |
| IV | Critica | 16-35 | Aguas muy contaminadas | Naranja |
| V | Muy crítica | < 15 | Aguas fuertemente contaminadas | Rojo |

Nota. Recuperado de Roldan Pérez (2012)

Calculo del ICA:

El índice de calidad de agua “Wáter Quality Index” (WQI), fue desarrollado en 1970 por la National Foundation (NFS), en Estados Unidos, el cual mide la calidad físicoquímica del agua en una escala de 0 a 100 (0, muy mala; 100, excelente), en base a nueve variables: oxígeno disuelto, Coliformes fecales, pH, DBO₅, temperatura, fosfatos, nitratos, turbiedad y sólidos disueltos totales reunidos en una suma lineal ponderada (Unipamplona, 2005, p.43).

Para su determinación se usó la siguiente formula:

$$WQI = \sum^n SI * Wi$$

- WQI: es el índice de calidad del agua
- n: número de parámetros analizados.
- SI: es el valor de calidad Q obtenido de las curvas de función promedio por parámetro.
- Wi: pesos ponderados asignados a cada parámetro.

La calidad del agua se determinó a partir de la puntuación obtenida por el índice en la siguiente tabla.

Tabla 6. Clasificación de la calidad del agua con respecto al índice WQI.

| CALIDAD DEL AGUA | RANGO DE VALOR DEL WQI |
|------------------|------------------------|
| Excelente | 91 - 100 |
| Buena | 71 - 90 |
| Regular | 51 - 70 |
| Mala | 26 - 50 |
| Muy mala | 0 - 25 |

Nota. Recuperado de Uniplamplona (2005)

Una vez obtenidos los resultados, se identificaron las principales variables que afectan al río Magdalena y de acuerdo con el análisis realizado, se procedió a hacer la revisión bibliográfica, la cual permitió plantear las alternativas de manejo y recuperación en la cuenca baja del río Bogotá.

Resultados

Los análisis de las variables fisicoquímicas e hidrobiológicas muestreadas en la desembocadura del río Bogotá sobre el Magdalena, reflejan el alto grado de contaminación que existe principalmente en el punto 1, seguido del 3 y 4. El PCA arrojó como resultados que las variables fisicoquímicas que mejor describen el comportamiento de los puntos de muestreo fueron fosfatos y nitratos, las cuales equivalen a un 68,6% de representatividad, seguido a estas, se encuentran turbidez y pH, las que, unidas explican el 92,7% de la variación del estudio, Tabla 7.

Tabla 7. *Análisis de componentes principales*

| PC | Eigenvalues | %Variation | Cum. % Variation |
|----|-------------|------------|------------------|
| 1 | 4,78 | 36,8 | 36,8 |
| 2 | 4,13 | 31,8 | 68,6 |
| 3 | 1,82 | 14,0 | 82,6 |
| 4 | 1,31 | 10,1 | 92,7 |
| 5 | 0,56 | 4,3 | 96,9 |

Fuente: Autores

Se puede visualizar por lo tanto que al construir la PC1, las variables, fosfatos y alcalinidad reciben los valores positivos más altos. Para la segunda componente PC2, las

variables, nitratos y Temperatura fueron las más significativas. Para el PC3 y PC4 las variables, turbidez y pH tuvieron el valor negativo más alto, respectivamente, tabla 8.

Tabla 8. Valor o peso de cada componente en el estudio

| Variable | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Temperatura | -0,020 | 0,470 | 0,007 | -0,007 | -0,376 |
| NTU | 0,232 | -0,102 | -0,601 | -0,100 | 0,236 |
| SDT | 0,369 | 0,232 | 0,123 | 0,097 | -0,375 |
| pH | 0,142 | 0,136 | 0,355 | -0,568 | 0,467 |
| OD | 0,007 | 0,434 | -0,243 | 0,051 | 0,435 |
| MO | 0,312 | -0,286 | -0,284 | 0,096 | 0,175 |
| DBO ₅ | 0,349 | 0,205 | 0,237 | -0,013 | 0,107 |
| Alcalinidad | 0,432 | -0,082 | 0,186 | -0,018 | 0,037 |
| Nitratos | 0,029 | -0,486 | 0,057 | 0,012 | -0,164 |
| Amonio | 0,327 | -0,233 | 0,183 | 0,269 | 0,073 |
| Fosfatos | 0,448 | -0,002 | 0,065 | -0,103 | -0,146 |
| C. Totales | -0,188 | -0,058 | 0,437 | 0,531 | 0,387 |
| C. Fecales | -0,202 | -0,289 | 0,188 | -0,530 | -0,090 |

Fuente: Autores

El comportamiento de los dos CP, en los sitios de muestreo se describe también a través de la figura 4, donde se evidencia que el río Bogotá (puntos 1 y 5), presenta un comportamiento totalmente diferente con relación a los demás puntos durante los dos muestreos, debido a que está fuertemente influenciado por el PC1 (fosfatos), especialmente en época seca.

Mientras que el PC2 indica que, en el tiempo seco se presentó un comportamiento similar entre los puntos 2, 3 y 4, en los cuales se registraron los valores más altos de nitratos, de igual manera en la época de lluvia estos mismos puntos (6, 7 y 8) se ven afectados nuevamente por este componente con tendencia a la disminución, lo cual demuestra que los

nitratos mantienen un comportamiento similar en el río Magdalena diferente al comportamiento que tienen en el río Bogotá.

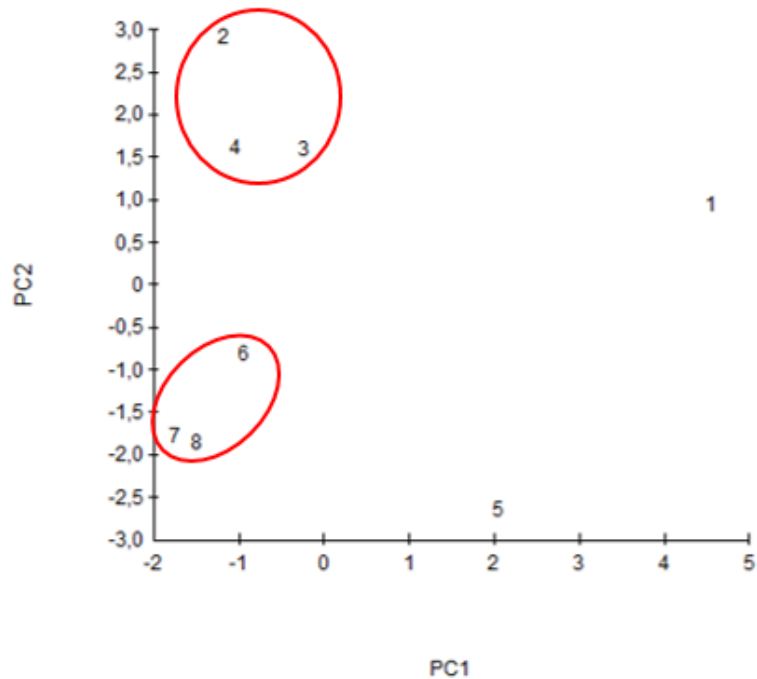


Figura 4. Comportamiento de los componentes principales en los puntos de muestreo, durante las dos épocas. Fuente: Autores

En la tabla 9, se comparan los sitios de muestreo con base a una matriz de correlación; en esta se evidencia que los puntos 1 y 5 correspondientes al río Bogotá, fueron los sitios que presentaron mayor variación con respecto a los demás puntos durante los dos muestreos. Entre los puntos 3 y 4 se presentó la mayor similitud con una diferencia de 2.61, seguido del punto 2 y 4 con 2.65, mientras que los puntos 1 y 2, fueron los que mayor diferencia registraron entre ellos con 6,7.

Tabla 9. Matriz de correlación

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | 6,4632 | | | | | | | |
| 3 | 5,1605 | 2,7977 | | | | | | |
| 4 | 6,3724 | 2,6588 | 2,6183 | | | | | |
| 5 | 5,7454 | 6,735 | 5,6096 | 5,5319 | | | | |
| 6 | 6,2965 | 4,6468 | 3,7414 | 4,2846 | 5,1449 | | | |
| 7 | 7,1683 | 5,557 | 4,5685 | 5,2053 | 5,7311 | 4,4605 | | |
| 8 | 6,857 | 5,3423 | 4,2115 | 4,1515 | 4,8524 | 2,7138 | 3,5105 | |

Fuente: Autores

Con respecto al P1, se evidencia contaminación por Coliformes fecales, así como un alto contenido de materia orgánica, nitratos, fosfatos, amonio, SDT, elevada turbidez, DBO₅ y bajo oxígeno disuelto, condiciones que para el caso de los Macroinvertebrados permite el establecimiento de organismos tolerantes, como los Thiaridae, Noteride y una abundancia de la familia Chironomidae, tal como lo muestran las tablas 10 y 11.

Tabla 10. Familias de Macroinvertebrados acuáticos colectados con red surber y colecta manual, en época de sequía.

| PHYLUM | CLASE | ORDEN | FAMILIA | P1 | P2 | P3 | P4 |
|------------|------------|----------------|--------------|----|----|----|----|
| Arthropoda | Insecta | Díptera | Chironomidae | 15 | 1 | 11 | 12 |
| Arthropoda | Insecta | coleóptera | Noteridae | 1 | | | |
| Mollusca | Gastropoda | Mesogastropoda | Hydrobiidae | | 1 | 1 | 1 |

Fuente: Autores

Tabla 11. Familias de Macroinvertebrados acuáticos colectados con Red Surber y colecta manual, en época de lluvia.

| PHYLUM | CLASE | ORDEN | FAMILIA | P1 | P2 | P3 | P4 |
|---------------|--------------|----------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Arthropoda | Insecta | Diptera | Chironomidae | 46 | | 5 | 2 |
| Mollusca | Gastropoda | Mesogastropoda | Thiaridae | 4 | 1 | 8 | 6 |
| Mollusca | Gastropoda | Basommatophora | Planorbiidae | | | 8 | |
| Mollusca | Gastropoda | Mesogastropoda | Ampullariidae | | | | 1 |

Fuente: Autores

A diferencia del P1, el río Magdalena aguas arriba (P2) antes de que reciba la descarga del río Bogotá, presenta relativamente las mejores condiciones fisicoquímicas de los cuatro puntos muestreados durante las dos épocas, de ahí que haya presencia de la familia Hydrobiidae, la cual es indicadora de aguas poco contaminadas.

Una vez el Magdalena entra en contacto con el Bogotá (P3) las características fisicoquímicas cambian, con tendencia a aumentar la concentración de los Coliformes totales, fecales, nitratos, amonio, materia orgánica, SDT, fosfatos (en época seca), mientras que la turbidez y el oxígeno disuelto tienden a disminuir durante los dos periodos. Más adelante aproximadamente 200 m aguas abajo en el P4, la turbidez nuevamente se incrementa, siendo este punto el tercero con los nutrientes, SDT, temperatura, amonio (en periodo de lluvia), Coliformes (para el periodo seco) más altos, lo que trae como consecuencia el establecimiento de familias específicas de Macroinvertebrados adaptadas a este tipo de hábitat particular, no obstante, la familia Ampullariidae que es indicadora de aguas limpias también estuvo presente.

En el fitoplancton hallado se evidencio presencia de comunidades algales tales como Bacillariophytas, Chlorophyceae, Ochrophyta, Charophyta, Cyanophyceae,

Euglenophyta, etc. En total se registraron 13 géneros, siendo *Nitzschia* el más abundante, y constante durante los periodos de muestreo a excepción del punto 2 para la época de lluvia donde no se evidencio su presencia. En lo que respecta a las demás algas encontradas para los diferentes puntos, estas tienen en común que son indicadoras de aguas ricas en materia orgánica, asociadas a altos contenidos de nutrientes como fósforo y nitrógeno, tal como evidencian los parámetros fisicoquímicos del presente estudio, siendo estas un índice de ambientes mesotróficos a eutróficos (Tabla 12 y 13).

Tabla 12. Fitoplancton encontrado, en época de sequía.

| DIVISIÓN | CLASE | ORDEN | FAMILIA | GENERO | P 1 | P 2 | P 3 | P 4 |
|-----------------|-------------------|----------------|--------------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|
| Chlorophyta | Chlorophyceae | Chlorococcales | Chlorococaceae | <i>Ankistrodesmus</i> | X | | | |
| Chlorophyta | Chlorophyceae | Ulotrichales | Ulotrichaceae | <i>Ulothrix</i> | X | | | |
| Euglenophyta | Euglenophyceae | Euglenales | Euglenaceae | <i>Euglena</i> | X | | | |
| Bacillariophyta | Fragilariophyceae | Fragilariales | Fragilariaceae | <i>Synedra</i> | X | | | |
| Bacillariophyta | Bacillariophyceae | Bacillariales | Bacillariaceae | <i>Nitzschia</i> | X | X | X | X |
| Heliozoa | Centrohelea | Centrohelida | Acanthocystidae | <i>Acanthocystis</i> | X | | | |
| Charophyta | Zygnemophyceae | Desmidiiales | Desmidiaceae | <i>Hyalotheca</i> | | | X | |
| Cyanophyta | Cyanophyceae | Nostocales | Aphanizomenonaceae | <i>Raphidiopsis</i> | | | | X |

Fuente: Autores

Tabla 13. Fitoplancton encontrado, en época de lluvia.

| DIVISIÓN | CLASE | ORDEN | FAMILIA | GENERO | P 1 | P 2 | P 3 | P 4 |
|-----------------|-------------------|----------------|--------------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|
| Chlorophyta | Chlorophyceae | Chlorococcales | Chlorococaceae | <i>Ankistrodesmus</i> | X | | X | X |
| Chrysophyta | Chrysophyceae | Ochromonadales | Dinobryaceae | <i>Dinobryon</i> | X | | | |
| Bacillariophyta | Bacillariophyceae | Bacillariales | Bacillariaceae | <i>Nitzschia</i> | X | | X | X |
| Chlorophyta | Chlorophyceae | Chlorococcales | Dictyosphaeriaceae | <i>Botryococcus</i> | X | | | |
| Bacillariophyta | Fragilariophyceae | Fragilariales | Fragilariaceae | <i>Synedra</i> | | | X | X |
| Charophyta | Zygnemophyceae | Desmidiiales | Desmidiaceae | <i>Hyalotheca</i> | | | X | |
| Cyanophyta | Cyanophyceae | Chroococcales | Chroococcea | <i>Merismopedia</i> | | | X | |
| Cyanophyta | Cyanophyceae | Chroococcales | Oscillatoriaceae | <i>Oscillatoria</i> | | | X | |
| Heterokonta | Bacillariophyceae | Tabellariales | Tabellariaceae | <i>Tabellaria</i> | | | | X |

Fuente: Autores

En relación con el zooplancton este fue escaso, presentándose solamente en época de lluvia en el punto 1 y 3, tabla 14.

Tabla 14. Zooplancton encontrado en época de lluvia.

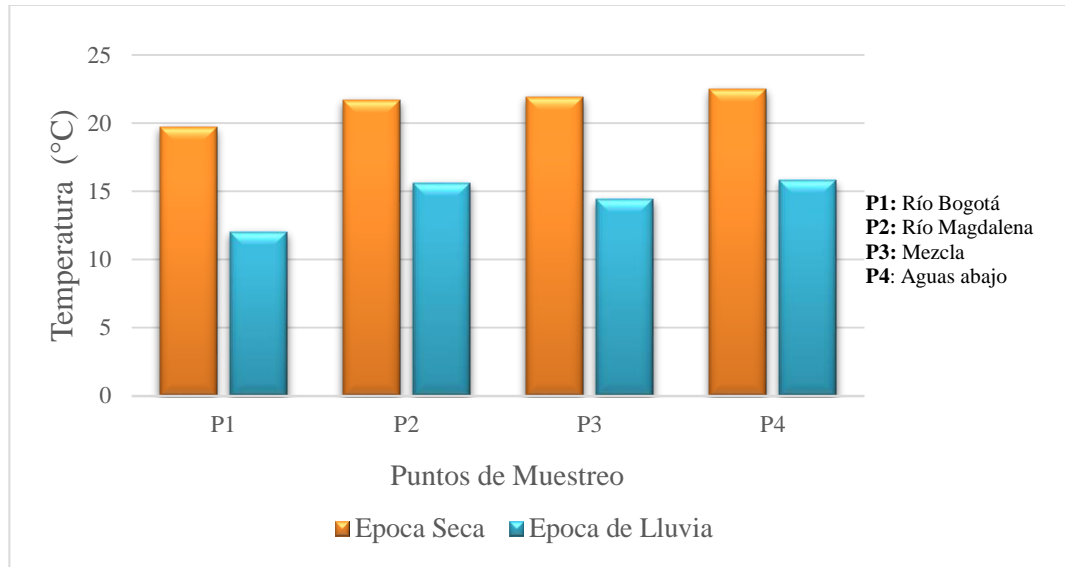
| FILO | SUBFILO | CLASE | SUBCLASE | P 1 | P 2 | P 3 | P 4 |
|-------------------|--------------------|--------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <u>Arthropoda</u> | <u>Crustacea</u> | <u>Maxillopoda</u> | <u>Copepoda</u> | X | | | |
| <u>Arthropoda</u> | <u>Chelicerata</u> | <u>Arachnida</u> | <u>Acari</u> | X | | | |
| DIVISIÓN | CLASE | ORDEN | FAMILIA | GENERO | | | |
| Ciliophora | Oligohymenophorea | Sessilida | Vorticellidae | | | | X |

Fuente: Autores

A continuación, se muestra el comportamiento presentado por cada parámetro en los puntos de muestreo durante las dos épocas:

Temperatura

En la gráfica N° 1, se expresan los valores de temperatura según los resultados de la toma; siendo el P1, el punto que registra una temperatura relativamente fría en las dos épocas con respecto a los demás puntos de muestreo. La mínima temperatura se registró en tiempo de lluvia (12 °C), y las más altas se registraron en el punto 4, con 22.5 °C en periodo de sequía y 15.8 °C en periodo de lluvia. Con una desviación para el primer periodo de muestreo de 1.21 y de 3.05 para el segundo periodo.

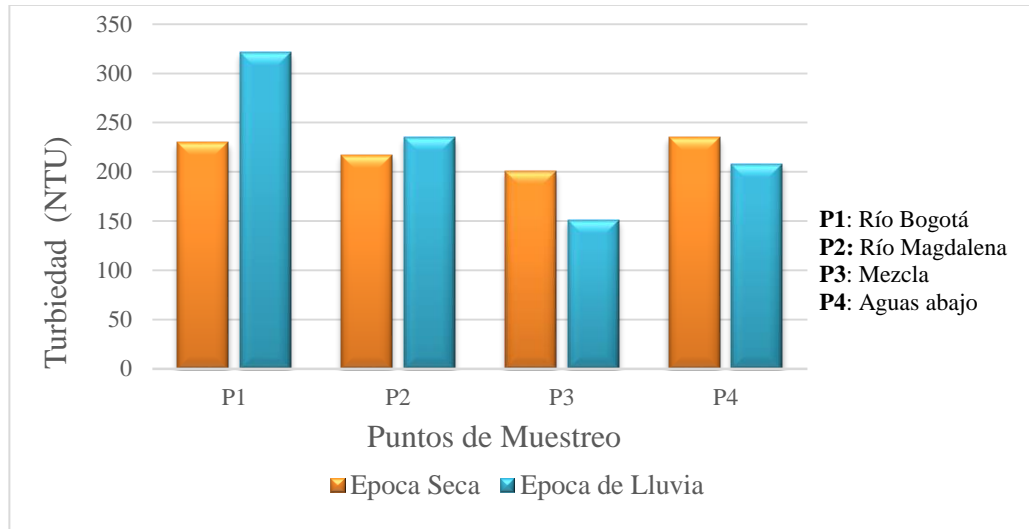


Gráfica 1. Resultados de la Temperatura para cada punto en épocas de muestreo.

Turbidez

En la gráfica N° 2, se muestran los resultados obtenidos para el parámetro de turbidez.

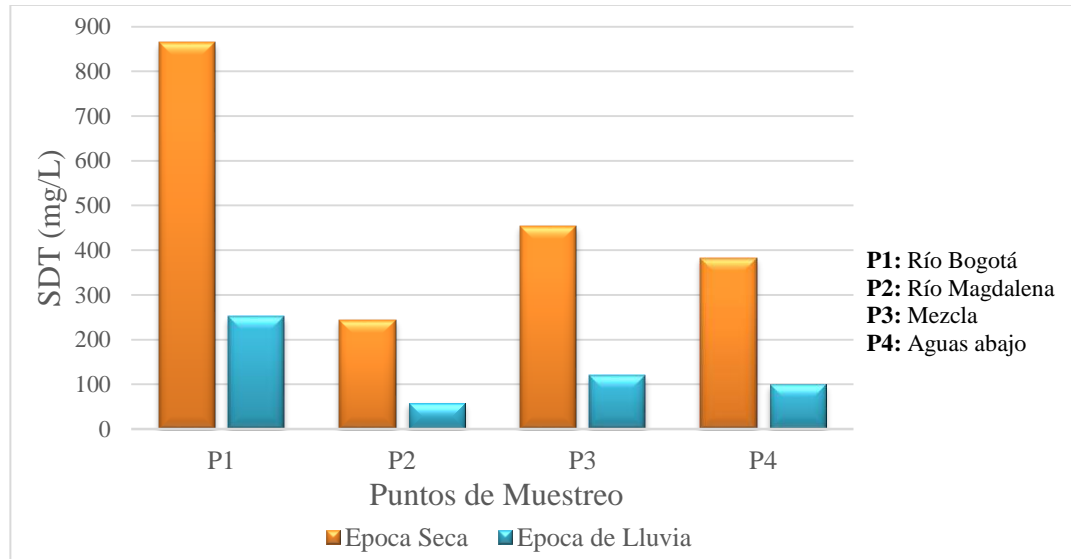
En esta se evidencia que se presentaron valores homogéneos en los cuatro puntos para la época de sequía, registrándose el valor máximo con 235 en el P4 y el mínimo de 201 UTN en el P3, con una desviación de 15,19. En época de lluvia, se registra en el P1 el valor más alto con 321 UTN y el mínimo se presentó en el P3 con 151 UTN, lo cual demuestra una desviación de los datos de 70.76



Gráfica 2. Resultados de Turbiedad para cada punto, en épocas de muestreo.

Solidos Disueltos Totales

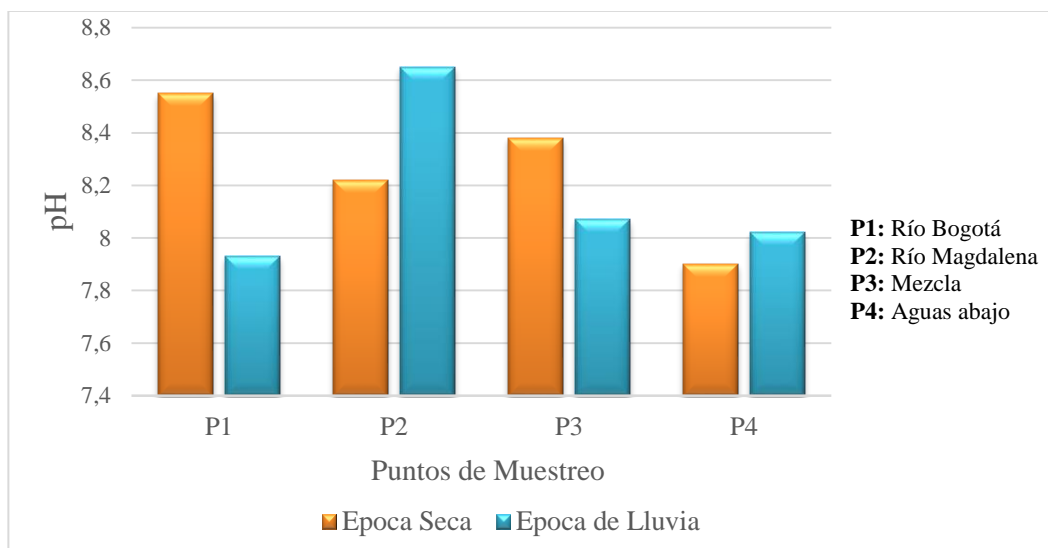
En la gráfica N°3, se muestran los resultados para este parámetro en los cuatro puntos, en los dos periodos de muestreo. En el caso del P1 (río Bogotá) para ambas épocas se registra el valor máximo de SDT; con 864 mg/L en época seca y 252 mg/L en época de lluvia, mientras que el valor mínimo para época de sequía y de lluvia se registra en el P2 (río Magdalena) con 244 y 58,5 mg/L respectivamente. Comparando los resultados entre los puntos de muestreo y entre periodos se presenta gran dispersión de los datos, lo cual explica que una desviación de 266.63 en época de sequía y de 83.64 en lluvia.



Gráfica 3. Resultados de solidos disueltos totales en cada punto en épocas de muestreo.

pH

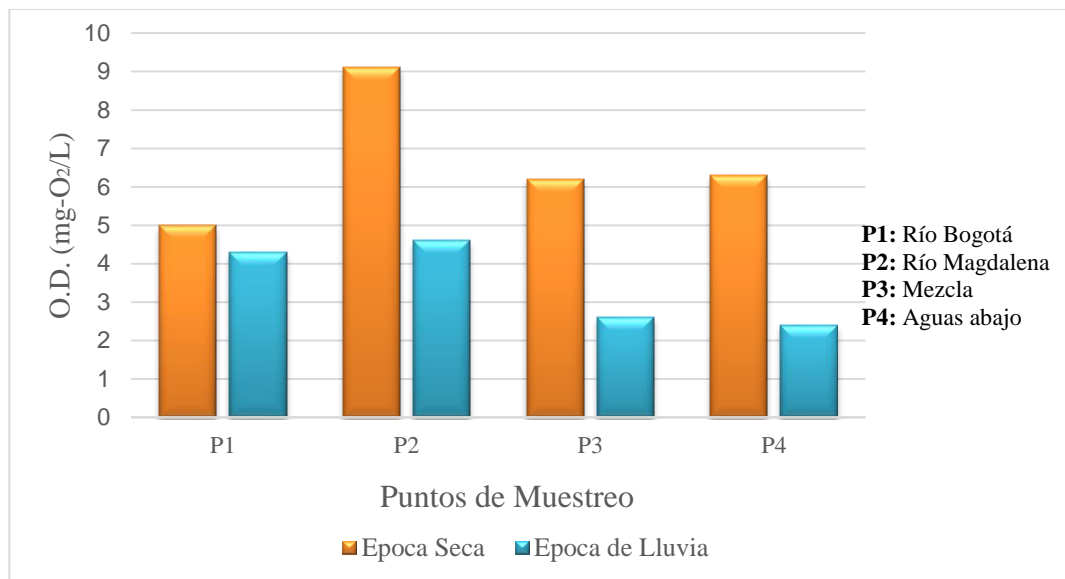
Los valores del pH según los resultados de la toma se muestran en la gráfica N°4, donde se evidencia que este, en todos los puntos de muestreo presento siempre valores superiores a 7, indicando que los ríos durante estos periodos mantuvieron un carácter básico, siendo los valores de este parámetro muy similares en todas las estaciones, con variaciones mínimas que oscilan entre 7 – 8, obteniéndose una desviación de 0,27 en sequía y 0,32 en lluvia. No obstante, se presentó el valor más alto para este parámetro en época seca en el P1 con 8.55, mientras que en época de lluvia fue en el P2 con 8.6 unidades de pH, por otro lado, el mínimo valor en época de lluvia correspondió al P1 con 7.93 lo cual demuestra el estado cambiante del río Bogotá en los dos periodos muestreados.



Gráfica 4. Resultados de pH en cada punto, en épocas de muestreo.

Oxígeno disuelto

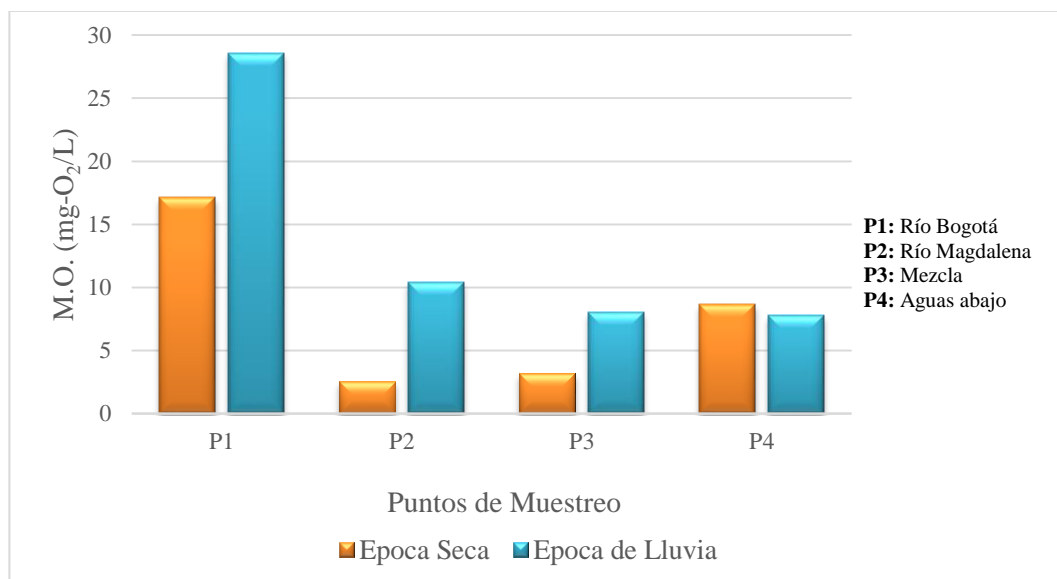
En la gráfica N° 5 se puede apreciar los resultados de este parámetro, donde se muestra que, en época de sequía en los cuatro puntos de muestreo, hubo relativamente mejores condiciones de oxígeno disuelto, que en época de lluvia. registrándose el máximo valor en el P2 con 9.1 mg/L y el mínimo en el P1 con 5 mg/L, con una desviación de 1.73. En la época de lluvia el O.D disminuyo en todos los puntos, siendo los puntos 3 y 4 los que menor cantidad de oxígeno disuelto registraron con 2.6 y 2.4 mg/L respectivamente, presentando una desviación de 1.13



Gráfica 5. Resultados de Oxígeno Disuelto en cada punto, en épocas de muestreo.

Materia orgánica

En la gráfica N° 6 se muestran los resultados obtenidos para este parámetro, en ella se puede apreciar que el P1 correspondiente al río Bogotá durante las dos épocas de muestreo fue el punto que mayor valor registro de materia orgánica con 17.12 y 28.6 mg/L respectivamente, mientras que el valor mínimo fue en el P2, con 2.56 mg/L para la época seca y en el P4, con 7.8 mg/L en época de lluvia. La desviación para el primer periodo es de 6.73 mientras que la del segundo es de 10.0, lo cual demuestra la diferencia entre de los datos obtenidos.



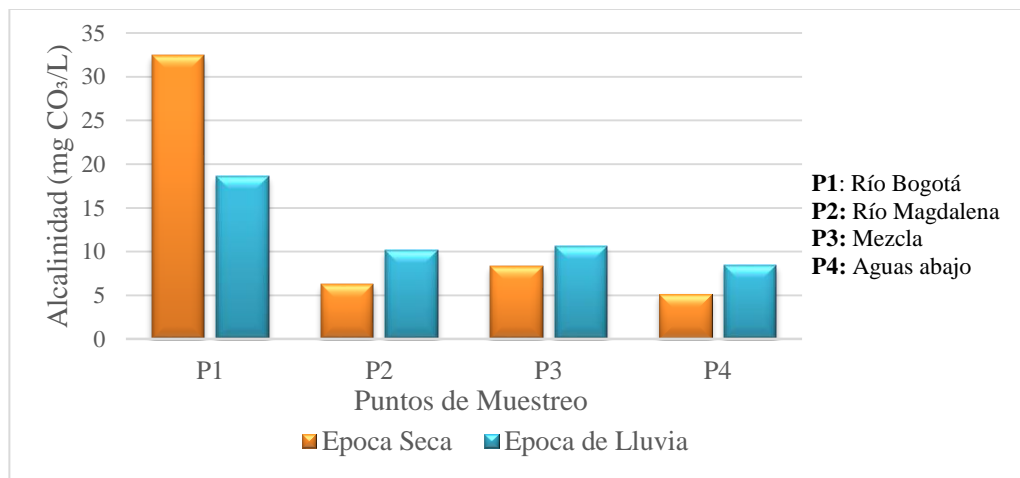
Gráfica 6. Resultados de Materia Orgánica en cada punto, en épocas de muestreo.

DBO₅

En la tabla 26 y 27 se puede apreciar los resultados recolectados para la DBO₅ en el periodo seco y de lluvia respectivamente. Comparando los datos se puede apreciar que el mayor valor se obtuvo en las dos épocas en el P1 con 67,9 y 10,1 mg/L, lo cual está estrechamente ligado al alto contenido de materia orgánica obtenido en este mismo punto (río Bogotá). Para el P2, en periodo de lluvia y el P4; en periodos de sequía y de lluvia, los datos obtenidos son menores al límite cuantificable (5 mg/L). Cabe aclarar que en el caso del P4 durante la toma se presentó excesiva presencia de espuma, lo cual pudo a ver interferido con la lectura.

Alcalinidad

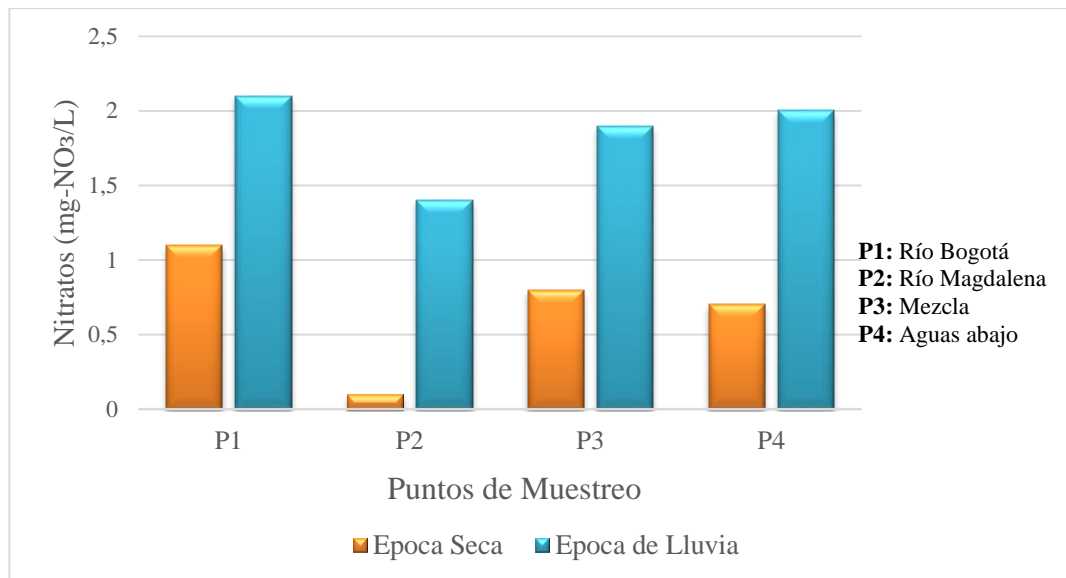
En la gráfica N° 7 se pueden apreciar los valores obtenidos de alcalinidad, reflejando la suma total de los componentes que tienden a elevar o a bajar el pH del agua. En el caso del P1, este presenta el valor más alto para los dos periodos de muestreo con 32.43 mg CaCO₃/L en sequía y 18.6 mg CaCO₃/L en periodo de lluvia. El P4, obtiene el resultado más bajo en el periodo de sequía y de lluvia con 5.17 y 8.4 mg CaCO₃/L respectivamente. Para el primer periodo de muestreo se observa una mayor dispersión entre los datos lo cual se refleja con una desviación de 13.0, mientras que durante el segundo muestreo se presentó una desviación de 4.54 mostrando que los resultados fueron más homogéneos.



Gráfica 7. Resultados de Alcalinidad en cada punto, en épocas de muestreo.

Nitratos

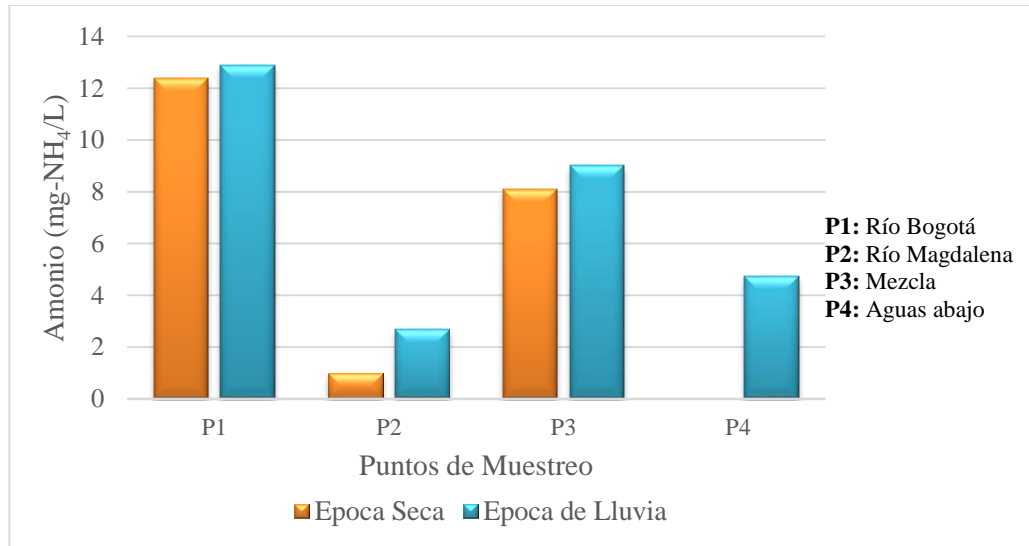
En la gráfica N° 8 se puede evidenciar que el P1, registra el valor máximo con 1.1 mg/L y P2 el valor mínimo con 0,1 mg/L para la época seca, presentando una desviación de 0.41, mientras que en la época de lluvia el P1, nuevamente registra el valor máximo con 2.1 mg/L y P2, el mínimo con 1.4 mg/L, presentándose una desviación de 0.31, lo cual refleja un incremento homogéneo en los cuatro puntos en el periodo de lluvia.



Gráfica 8. Resultados de Nitratos en cada punto, en épocas de muestreo.

Amonio

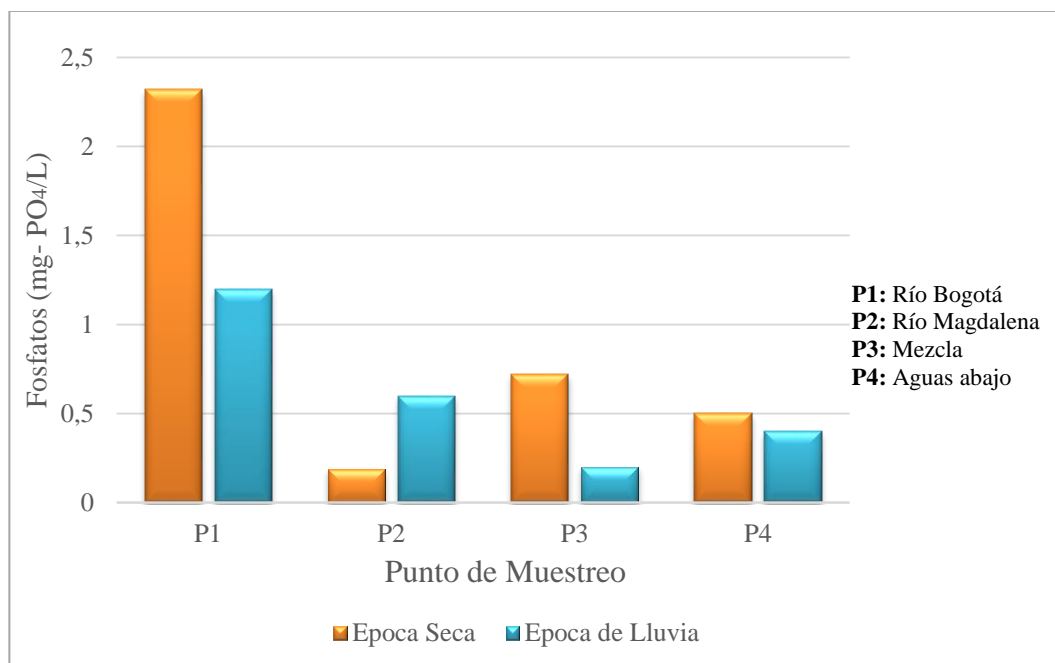
En la gráfica N° 9, se puede apreciar que el P1, para ambos periodos de muestreo registra el valor máximo de amonio con 12,4 y 12,9 mg/L, mientras que el P2 registró la menor concentración con 2.69 mg/L para el periodo de lluvias. En cuanto a la dispersión entre los datos el primer periodo registra una desviación de 5.9 mientras que la del segundo es de 4.55



Gráfica 9. Resultados de Amonio en cada punto, en épocas de muestreo.

Fosfatos

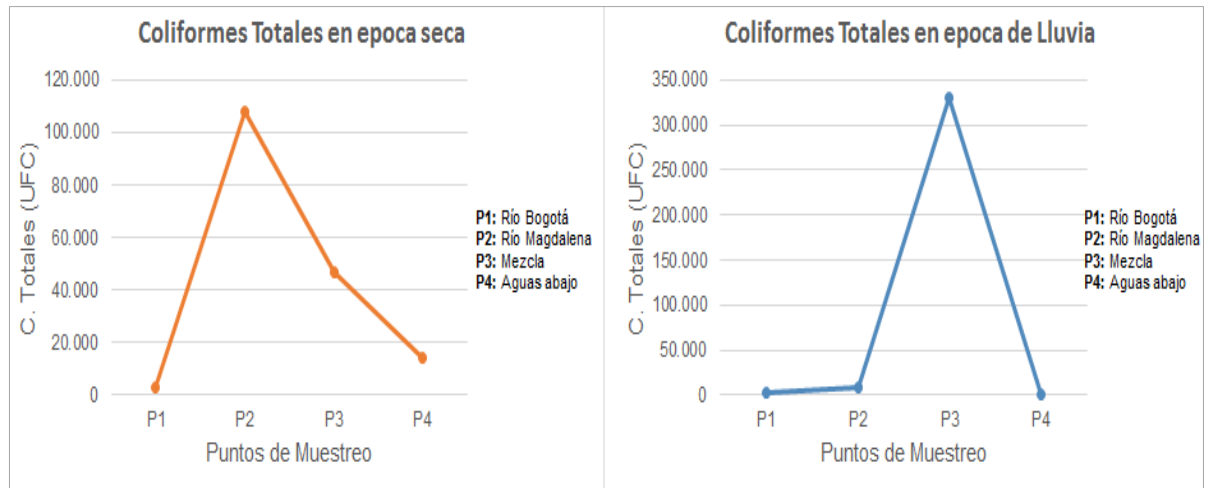
En la gráfica N° 10 se muestran los resultados obtenidos para este parámetro. El estudio arroja valores variados para los cuatro puntos, sin embargo, el P1, correspondiente al río Bogotá presenta la mayor concentración con 2.32 y 1,2 mg/L tanto en temporada seca como en lluvia respectivamente. Con respecto a los puntos 2, 3 y 4 los valores son más dispersos respecto al punto 1, por lo cual en temporada seca se presentó una desviación de 0.95, mientras que en la temporada de lluvia estos resultados son más homogéneos presentando una desviación es de 0.43



Gráfica 10. Resultados de Fosfatos en cada punto, en épocas de muestreo.

Coliformes totales

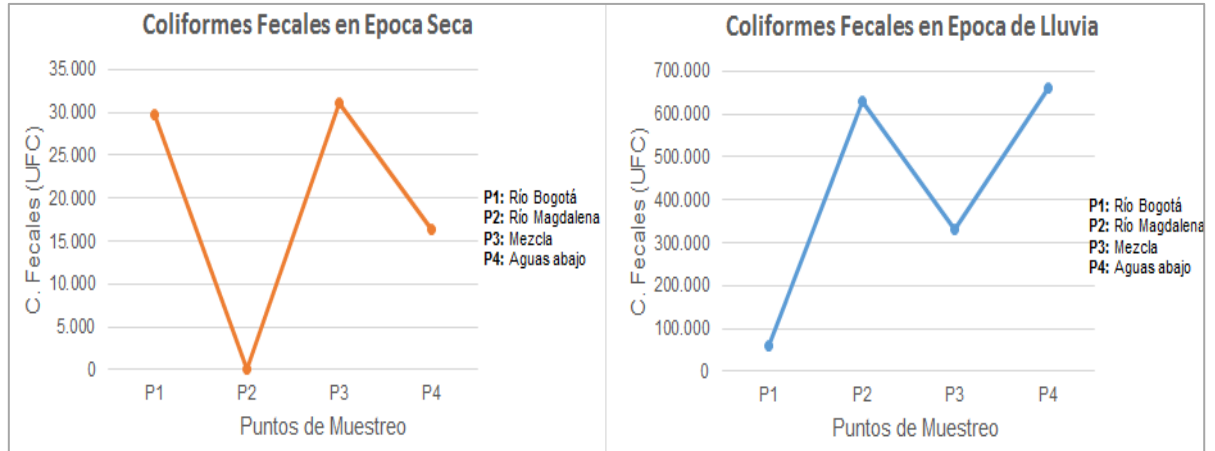
El resultado obtenido para este parámetro microbiológico arroja datos muy variables, en la gráfica N°11 se muestran los resultados obtenidos. En ella se aprecia que el mayor valor se ubica en el P2 en época seca con 108.000 UFC y en el punto de mezcla (P3) para la época de lluvia con 331.200 UFC. El valor más bajo de Coliformes se registró en el P1, mientras que en el P4 se evidencio una ausencia de microorganismos en la época de lluvia, como resultado de esto se presentó una desviación para el segundo muestreo de 163640.41, mientras que la del primer muestreo es de 47194.63



Gráfica 11 . Resultados de Coliformes Totales en cada punto.

Coliformes fecales

Según los datos evidenciados en la gráfica N°12 para este parámetro, se presenta contaminación por Coliformes en todos los puntos analizados. En el P3, se presentó el mayor valor con 31.200 UFC en temporada seca, mientras que en la época de lluvia el valor máximo se presentó en el P4, con 660000 UFC. Al analizar los cambios en la dimensión temporal los valores presentaron variaciones estadísticamente significativas, observándose una desviación para la primera temporada de 14529.82, a pesar de esto, los valores son más uniformes que los de la segunda toma, ya que la desviación se hace mucho más notoria en la segunda temporada con 282488.93 debido a que los valores fueron muy superiores a los del primer muestreo, y a que hay una mayor dispersión entre los mismos.



Gráfica 12. Resultados de Coliformes Fecales en cada punto, en épocas de muestreo.

Los puntos de muestreo de los cuerpos hídricos en estudio, según el índice BMWP presentaron aguas fuertemente contaminadas de calidad ecológica muy crítica, durante los periodos de muestreo, esta categoría en que se posicionan estos recursos hídricos fue similar a los resultados que arrojaron los ICA, confirmando a excepción del P2, que los tramos en estudio presentan un deterioro progresivo, clasificándose como aguas de mala calidad (Tabla 15 y 16).

Tabla 15. Resultados del Índice BMWP en los puntos de muestreo

| Punto de muestreo | BMWP/Col época seca | BMWP/Col época de lluvia | Calidad de agua | Características | Color |
|-------------------|---------------------|--------------------------|-----------------|--------------------------------|---------|
| P1 | 6 | 7 | Muy crítica | Aguas fuertemente contaminadas | Rojo |
| P2 | 10 | 5 | Muy crítica | Aguas fuertemente contaminadas | Rojo |
| P3 | 10 | 12 | Muy crítica | Aguas fuertemente contaminadas | Rojo |
| P4 | 10 | 16 | Muy crítica | Aguas muy contaminadas | Naranja |

Fuente: Autores

Tabla 16. ICA de los puntos de muestreo

| Punto de muestreo | Resultado ICA en época seca | Resultado ICA en época de lluvia | Calidad del agua | Color y rango |
|-------------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------|---------------|
| 1 | 35,57 | 40,95 | Mala | 26-50 |
| 2 | 71,23 | - | Buena | 71-90 |
| 3 | 49,54 | 48,94 | Mala | 26-50 |

Nota. El ICA de los puntos dos (en época de lluvia) y cuatro (para las dos épocas) no pudo ser calculado debido a que la DBO₅ fue menor al límite cuantificable y por lo tanto no se tiene un valor exacto.

Para el caso del primer punto, tanto en época seca como de lluvia se registró una calidad de agua muy crítica a nivel biológico y una mala calidad fisicoquímica (BMWP: 6; ICA: 35.57 y BMWP: 7, ICA: 40.95 respectivamente), que puede generar condiciones bastante limitantes para los individuos, lo cual se reflejó con la comunidad pobremente colectada (tabla 17). Para el caso específico del ICA en tiempo de lluvia, este muestra un leve incremento con respecto al primer muestreo, si bien es cierto la categoría se mantiene, unas ligeras mejoras de algunas características fisicoquímicas tienden a aumentar el valor, sin embargo, no lo suficiente como para que la calidad varié, tabla 18 y 19.

Tabla 17. Resultados del índice BMWP/Col para el P1

| Taxón | Puntuación BMWP en época seca | Puntuación BMWP en época de lluvia |
|----------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| Chironomidae | 2 | 2 |
| Noteridae | 4 | |
| Thiaridae | | 5 |
| Puntaje total | $\Sigma = 6$ | $\Sigma = 7$ |

Nota. La sumatoria del puntaje de las familias da como resultado un color rojo que significa que son aguas fuertemente contaminadas. Fuente: Autores

Tabla 18. Calculo del ICA para el P1 en época seca

| PARÁMETRO | RESULTADO | UND | Q- VALOR | FACTOR PONDERACIÓN | SUBTOTAL |
|-------------------------------|-----------|-----------------------|-------------|-----------------------|--------------|
| Oxígeno Disuelto | 53,47 | % de Sat. | 48 | 0,17 | 8,16 |
| C. Fecales | 29800 | UFC | 6 | 0,16 | 0,96 |
| pH | 8,55 | | 65 | 0,11 | 7,15 |
| DBO ₅ | 67,9 | mg O ₂ /L | 30 | 0,11 | 3,3 |
| T° | 19,7 | °C | 21 | 0,10 | 2,1 |
| Fosfatos | 2,32 | mg PO ₄ /L | 26 | 0,10 | 2,6 |
| Nitratos | 1,1 | mg NO ₃ /L | 95 | 0,10 | 9,5 |
| Turbidez | 230 | NTU | 5 | 0,08 | 0,4 |
| SDT | 864 | mg/L | 20 | 0,07 | 1,4 |
| Sumatoria del índice | | | | | 35,57 |

Nota. El puntaje del ICA arroja como resultado un color naranja que indica que son aguas de mala calidad.

Tabla 19. Calculo del ICA del P1 en época de lluvia

| PARÁMETRO | RESULTADO | UND | Q- VALOR | FACTOR PONDERACIÓN | SUBTOTAL |
|-----------------------------|-----------|-----------------------|-------------|-----------------------|----------|
| Oxígeno Disuelto | 39,66 | % de Sat. | 30 | 0,17 | 5,1 |
| C. Fecales | 60000 | UFC | 5 | 0,16 | 0,8 |
| pH | 7,93 | | 85 | 0,11 | 9,35 |
| DBO ₅ | 10,1 | mg O ₂ /L | 34 | 0,11 | 3,74 |
| T° | 12 | °C | 36 | 0,10 | 3,6 |
| Fosfatos | 1,2 | mg PO ₄ /L | 38 | 0,10 | 3,8 |
| Nitratos | 2,1 | mg NO ₃ /L | 94 | 0,10 | 9,4 |
| Turbidez | 321 | NTU | 5 | 0,08 | 0,4 |
| SDT | 252 | mg/L | 68 | 0,07 | 0,8 |
| Sumatoria del índice | | | | 1 | 40,95 |

Nota. El puntaje del ICA arroja como resultado un color naranja que indica que son aguas de mala calidad.

A diferencia del punto anterior y con respecto a los demás puntos, el río Magdalena (P2) presento una calidad de agua buena a nivel fisicoquímico (ICA: 71,23) para el periodo seco, a nivel biológico hubo variación, desde el punto de vista del índice BMWP durante los dos periodos, catalogándose la calidad del agua como muy crítica, tabla 20 y 21.

Tabla 20. Resultados del índice BMWP/Col para el P2

| Taxón | Puntuación BMWP en época seca | Puntuación BMWP en época de lluvia |
|----------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| Chironomidae | 2 | |
| Hydrobiidae | 8 | |
| Thiaridae | | 5 |
| Puntaje total | ∑ =10 | ∑ =5 |

Nota. La sumatoria del puntaje de las familias da como resultado un color rojo que significa que son aguas fuertemente contaminadas. Fuente: Autores

Tabla 21. Calculo del ICA para el P2 en época seca.

| PARÁMETRO | RESULTADO | UND | Q- VALOR | FACTOR PONDERACIÓN | SUBTOTAL |
|-----------------------------|-----------|-----------------------|-------------|-----------------------|--------------|
| Oxígeno Disuelto | 103,05 | % | 98 | 0,17 | 16,66 |
| C. Fecales | 0 | UFC | 98 | 0,16 | 15,68 |
| pH | 8,22 | | 80 | 0,11 | 8,8 |
| DBO ₅ | 32,7 | mg O ₂ /L | 30 | 0,11 | 3,3 |
| T° | 21,7 | °C | 20 | 0,10 | 2 |
| Fosfatos | 0,19 | mg PO ₄ /L | 95 | 0,10 | 9,5 |
| Nitratos | 0,1 | mg NO ₃ /L | 99,9 | 0,10 | 9,99 |
| Turbidez | 217 | NTU | 5 | 0,08 | 0,4 |
| SDT | 244 | mg/L | 70 | 0,07 | 4,9 |
| Sumatoria del índice | | | | 1 | 71,23 |

Nota. El puntaje del ICA arroja como resultado un color verde que indica que son aguas de buena calidad.

En el P3, se presentó una calidad de agua mala desde el punto de vista fisicoquímico (ICA de 45.57 en sequía y 48.94 en lluvia), no obstante, con respecto al río Bogotá (P1) especialmente en tiempo de lluvia, algunas características fisicoquímicas aumentaron mientras que otras disminuyeron, sin embargo, la calidad no varía (Tabla 23 y 24). A nivel biológico el índice BMWP cataloga las aguas como calidad crítica, evidenciando condiciones desfavorables para el establecimiento y desarrollo de la fauna de Macroinvertebrados, tabla 22.

Tabla 22. Resultados del índice BMWP/Col para el P3.

| Taxón | Puntuación BMWP en época seca | Puntuación BMWP en época de lluvia |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|
| Chironomidae | 2 | 2 |
| Hydrobiidae | 8 | |
| Planorbiidae | | 5 |
| Thiaridae | | 5 |
| Puntaje total | $\Sigma = 10$ | $\Sigma = 12$ |

Nota. La sumatoria del puntaje de las familias da como resultado un color rojo que significa que son aguas fuertemente contaminadas. Fuente: Autores

Tabla 23. Calculo del ICA para el P3 en época seca

| PARÁMETRO | RESULTADO | UND | Q-VALOR | FACTOR PONDERACIÓN | SUBTOTAL |
|-----------------------------|------------------|-----------------------|----------------|---------------------------|-----------------|
| Oxígeno Disuelto | 70,21 | % Sat. | 70 | 0,17 | 11,9 |
| C. Fecales | 31200 | UFC | 8 | 0,16 | 1,28 |
| pH | 8,38 | | 70 | 0,11 | 7,7 |
| DBO ₅ | 9,55 | mg O ₂ /L | 36 | 0,11 | 3,96 |
| T° | 21,9 | °C | 19 | 0,10 | 1,9 |
| Fosfatos | 0,72 | mg PO ₄ /L | 60 | 0,10 | 6,0 |
| Nitratos | 0,8 | mg NO ₃ /L | 97 | 0,10 | 9,7 |
| Turbidez | 201 | NTU | 5 | 0,08 | 0,4 |
| SDT | 454 | mg/L | 39 | 0,07 | 2,73 |
| Sumatoria del índice | | | | 1 | 45,57 |

Nota. El puntaje del ICA arroja como resultado un color naranja que indica que son aguas de mala calidad.

Tabla 24. Calculo del ICA del P3 en época de lluvia

| PARÁMETRO | RESULTADO | UND | Q- VALOR | FACTOR PONDERACIÓN | SUBTOTAL |
|-----------------------------|-----------|-----------------------|-------------|-----------------------|--------------|
| Oxígeno Disuelto | 25,07 | % Sat. | 16 | 0,17 | 2,72 |
| C. Fecales | 330000 | UFC | 20 | 0,16 | 3,2 |
| pH | 8,07 | | 82 | 0,11 | 9,02 |
| DBO ₅ | 6,21 | mg O ₂ /L | 49 | 0,11 | 5,39 |
| T° | 14,4 | °C | 29 | 0,10 | 2,9 |
| Fosfatos | 0,2 | mg PO ₄ /L | 98 | 0,10 | 9,8 |
| Nitratos | 1,9 | mg NO ₃ /L | 97 | 0,10 | 9,7 |
| Turbidez | 151 | NTU | 5 | 0,08 | 0,4 |
| SDT | 120 | mg/L | 83 | 0,07 | 5,81 |
| Sumatoria del índice | | | | 1 | 48,94 |

Nota. El puntaje del ICA arroja como resultado un color naranja que indica que son aguas de mala calidad

El índice biológico para el P4, en época de sequía arrojo un BMWP de 10 indicando aguas de calidad muy crítica, que se catalogan como aguas fuertemente contaminadas. Para el periodo de lluvia el BMWP presento un puntaje de 16 indicando una leve mejora en la calidad del agua, aun así, estas no dejan de ser aguas muy contaminadas en estado crítico, tabla 25. Con respecto a la calidad del agua desde el punto fisicoquímico, no pudo ser calculada en ninguno de los dos periodos ya que los resultados de la DBO₅ no contaban con un valor exacto, debido a que fueron menores al límite cuantificable.

Tabla 25. Resultados del índice BMWP/Col para el P4

| Taxón | Puntuación BMWP en época seca | Puntuación BMWP en época de lluvia |
|----------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| Chironomidae | 2 | 2 |
| Hydrobiidae | 8 | |
| Thiaridae | | 5 |
| Ampullariidae | | 9 |
| Puntaje total | Σ = 10 | Σ = 16 |

Nota. La sumatoria del puntaje de las familias da como resultado un color rojo que significa que son aguas fuertemente contaminadas, mientras que el color naranja indica que son aguas muy contaminadas.
Fuente: Autores.

Los resultados permitieron identificar las principales variables que afectan tanto al río Bogotá como al río Magdalena, acorde a esto se orientó la revisión bibliográfica, y se plantearon las siguientes alternativas de manejo y recuperación en la cuenca baja del río Bogotá:

1. Barreras físicas para la remoción de una parte de residuos sólidos arrojados a cauce del río Bogotá.
2. Fitorremediación con pasto Vetiver (*Vetiveria zizanioides*).
3. Educación ambiental a la comunidad riverense del río Bogotá.

Discusión

Según el análisis de componentes principales, los fosfatos fue la variable que más se relacionó con el punto P1(río Bogotá), donde se registró el valor más alto, demostrando un elevado aporte de contaminantes proveniente de actividades antrópicas comunes en la cuenca alta y media tales como agrícolas (fertilizantes, herbicidas, pesticidas), ganaderas, así como vertidos de aguas industriales y aguas residuales domésticas, con altas concentraciones de detergentes, elevando los niveles de fosfatos en aguas superficiales urbanas. Según Henao de Uribe., 1987., citado por Vásquez C, Ariza A & Pinilla G., 2006 cuando las concentraciones de fósforo soluble (orto fosfatos) son mayores a 0,014 mg/L, el cuerpo de agua empieza a tornarse eutrófico, los resultados obtenidos en los cuatro puntos estudiados, estos se podrían clasificar como eutróficos, ya que la concentración más baja de fosfatos fue de 2.4 mg/L.

El análisis arroja un segundo componente, los nitratos, los cuales están relacionados con las actividades antrópicas mencionadas anteriormente. La contaminación de fuentes hídricas con altos niveles de nitrógeno ya sea por fuentes puntuales o difusas trae muchas consecuencias, que alteran los ecosistemas hídricos, tal como lo vemos en los puntos estudiados, especialmente aquellos que tuvieron influencia de los vertimientos del río Bogotá, (P1,P3 y P4), si bien es cierto que no es el único factor contaminante del río, si aporta unas concentraciones lo suficientemente altas como para impedir el normal establecimiento y desarrollo de comunidades hidrobiológicas de ecosistemas hídricos. Camargo, J. A., & Alonso, A. (2007) afirman que “existen problemas medioambientales en los ecosistemas acuáticos tales como: acidificación de ríos y lagos con baja o reducida alcalinidad; eutrofización de las aguas y proliferación de algas tóxicas; toxicidad directa de los compuestos

nitrogenados para los animales acuáticos, además, la contaminación por nitrógeno inorgánico podría inducir efectos perjudiciales sobre la salud humana.” (p.99)

El incremento de los valores de nitrógeno presente en el P1 aguas del río Bogotá, probablemente corresponde a la descomposición del material vegetal y animal que se observó en reiteradas ocasiones, a la descarga de vertimientos aguas arriba y al lavado de tierras por lluvias a lo largo de la cuenca en donde se utiliza abonos y fertilizantes en cultivos. Según Martínez, M., (1995) “niveles mayores a 5mg/L de nitratos usualmente indican contaminación por desechos humanos, animales o escorrentía de fertilizantes y niveles por encima de 0,2 mg/L tienden a estimular crecimientos algales e indican posibles condiciones eutróficas” para el caso del presente estudio el valor máximo se presentó en el P1 y fue de 2,1 mg/L en época de lluvia, evidenciando una eutrofización en el punto muestreado.

Los vertimientos que se producen aguas arriba a lo largo de la cuenca, generan aportes de nitratos al afluente, pues la mayoría de los municipios vierten sus aguas residuales directamente al río sin ningún tipo de tratamiento, también existen procesos de descarga de lixiviados por botaderos de basura a cielo abierto aportando altas concentraciones de nitrógeno amoniacal los cuales se transforman en nitritos y finalmente en nitratos, así mismo las emisiones atmosféricas provenientes del uso de combustibles fósiles, se depositan sobre aguas superficiales, generando también un importante aporte, teniendo en cuenta que el río pasa por la ciudad de Bogotá y que ésta genera altas emisiones por combustibles fósiles (Camargo y Alonso, 2007, p.100). EL INDERENA., (1986) y la Universidad Nacional de Colombia citado por Duque, S., & Donato, J. C., (1988), mencionan como la cuenca alta del río Magdalena presenta uno de los más altos índices de alteración, hecho que se refleja en el

proceso de deforestación, uso generalizado de las tierras bajas para el establecimiento de monocultivos que requieren para su mantenimiento elevados aportes de compuestos químicos (fertilizantes y biocidas), factores que en conjunto han producido un deterioro en la calidad de las aguas. (p.32)

Los puntos P1, P3 y P4 presentaron altos contenidos de materia orgánica en las dos épocas muestreadas, sin embargo, el punto P2, elevó su concentración en época de lluvia, posiblemente por el arrastre material vegetal a lo largo del recorrido de estos afluentes, y la excesiva presencia de vegetación riberena en el área de estudio.

Cuando las aguas loticas superficiales, como el río Bogotá sufren una alta contaminación a causa de la acumulación excesiva de materia orgánica y ésta contiene elementos adicionales como sales y nutrientes, se produce el fenómeno de la eutrofización, tal como se aprecia en los P1, P3 y P4, la cual consiste básicamente en el aumento de nitrógeno y fósforo en el sistema (Garzón, R., & Stefhany, L., 2014., p.26).

La DBO_5 es un parámetro de gran importancia puesto que determina el grado de contaminación de un cuerpo hídrico y se expresa como la cantidad de oxígeno que requiere un microorganismo para descomponer la materia orgánica presente. En efecto son tres variables que están estrechamente ligadas como se demuestra en los resultados de los puntos P1, P3 y P4, donde se obtuvo la mayor DBO_5 a causa de la alta concentración de materia orgánica, por consecuencia una disminución de la concentración de oxígeno disuelto, siendo un factor determinante para el desarrollo de macroinvertebrados. Así, el incremento de materia orgánica en el agua produce una proliferación de los microorganismos encargados de su descomposición. Esto genera entre otros efectos, una reducción de la concentración de

oxígeno disuelto en el agua y un aumento de la concentración de nutrientes inorgánicos, como el amonio y el fosfato. (Allan, 1995., citado por Gil Gómez, J. A., 2014., p.24). Esta relación se puede comparar con otras formas de medir el estado de un cuerpo hídrico en términos ecológicos como es la saprobiedad, la cual se mide por medio de la demanda biológica de oxígeno, (DBO₅), es decir que es una relación entre calidad del agua y contenido de materia orgánica presente en ella, reflejado en la composición de especies presentes. (Sistema de Saprobios, fcnym, accedida., 2011., Citado por Garzón, R., & Stefhany, L., 2014., p.26)

En relación con el fitoplancton, zooplancton y macroinvertebrados, la materia orgánica representa un factor determinante del establecimiento de comunidades hidrobiológicas, las cuales están relacionadas a su vez con el estado de la calidad del agua. Esta variable es una las que más se ha estudiado, ya que desestabiliza por completo el balance del sistema; la demanda de la respiración microbiana causa un gasto de oxígeno disuelto en el agua, eliminando especies no tolerantes a este factor (Hawker, 1980., citado por Gil Gómez, J. A. 2014., p.26). Dicha relación se comprobó, con las comunidades hidrobiológicas encontradas, donde la mayor presencia de individuos tolerantes en ambientes de anoxia tuvo lugar en los puntos con influencia directa de los vertimientos del agua del río Bogotá (p1, p3 y p4) en las dos épocas muestreadas, sin embargo, el fitoplancton encontrado en estos puntos puede estar más relacionado con la concentración de fosfatos, siendo uno de los elementos que más está involucrado en la limitación del crecimiento. (Roldán y Ramírez, 2008).

Según Espigares García, M., & Pérez López, J. A. (1995) el crecimiento algal está favorecido por la presencia en las aguas residuales de distintas formas de fósforo y nitrógeno, así como de carbono y vestigios de elementos tales como hierro y cobalto, dando lugar a

procesos de eutrofización. En estos puntos se registraron comunidades algales de los géneros **Clorophytas** (*Ankistrodesmus*, *Botryococcus*, *Ulothrix*, *Euglenas*, *Dinobrium*) y **Bacillariophytas** (*Synedra*, *Nitzschia* y *Heliozoo*), estos géneros están presentes en aguas con altos contenidos de nitrógeno, fósforo y materia orgánica, asociándolas a indicadoras de aguas eutrofizadas. (Pinilla., 1988., citado por Vélez-Azañero, A., Lozano, S., & Cáceres-Torres, K. 2016). De ahí que se puede explicar la presencia algal en los puntos de muestreo P1, P3 y P4.

En ríos y quebradas que son contaminadas con materia orgánica, de aguas turbias, con poco oxígeno y eutrofizadas, se espera encontrar poblaciones dominantes de *Oligoquetos*, *Chironomidae* y ciertos moluscos, aunque ocasionalmente pueden hallarse algunos pocos individuos que se consideran indicadores de aguas limpias, (Roldan., 1992). La mayoría de los invertebrados son sensibles a esta reducción de oxígeno disuelto, de tal forma que disminuye su abundancia o incluso desaparecen. Por el contrario, otros grupos toleran bien estas condiciones, razón por la cual dichas variables influenciaron la presencia o ausencia de macroinvertebrados como, *Chironomidae*, *Noteridae* y *Thiaridae*, los cuales estuvieron presentes en los puntos P1, P3 y P4. Estos grupos presentan adaptaciones a la anoxia, con mayor cantidad de pigmentos respiratorios específicos capaces de fijar oxígeno a muy baja concentración o la capacidad de obtener energía por medio de fermentación anaerobia. (Hoback & Stanley., 2001 citado por Gil Gómez, J. A., 2014., p 24), sin embargo, familias como lo *Chironomidae*, estuvo siempre presente en todos los puntos de muestreo, posiblemente a que las condiciones del agua fueron similares, según el índice BMWP indica que son aguas fuertemente contaminadas, de calidad ecológica crítica y el ICA de igual manera evidencia que son aguas de mala calidad.

El P2, presentó mejores condiciones, tanto fisicoquímicas, como biológicas, sin embargo la materia orgánica fue alta en época de lluvia y posiblemente influyo en la poca presencia de individuos colectados, quienes son indicadores de aguas no tan contaminadas, lo cual concuerda con los estudios realizados por Roldan Pérez, G. (2003). “En aguas intermedias, que comienzan a mostrar síntomas de contaminación, o por el contrario, que comienzan a recuperarse, es común encontrar poblaciones dominantes de *turbelarios*, *hirudíneos*, *quironómidos*, *oligoquetos* y algunos *moluscos*”, razón que explica la presencia de familias como *Ampullaridae* e *Hydrobidae*, quienes, según el índice BMWP son indicadoras de aguas limpias, sin embargo la presencia de esta familia puede deberse al cierto grado de tolerancia que presentan por la contaminación o al efecto deriva que causa las grandes masas de agua con corrientes fuertes.

Estos efectos concuerdan con el estudio realizado por Aguirre-Pabón, J., Rodríguez-Barrios, J., & Ospina-Torres, R. (2012), quienes observaron que la correspondencia en la composición de los taxones entre los sitios estudiados se debe principalmente a su proximidad, situación que confiere condiciones similares en el ambiente y en la composición y distribución de los sustratos. (p.14), en cuanto al efecto deriva afirman que “la composición de la deriva es muy variable, y parece ser un reflejo de la composición bentónica, la dominancia de los grupos Díptera (principalmente Quironómidos) y Ephemeroptera también fue registrada en la deriva de un río tropical en Brasil (Callisto et al., 2005), Nueva Zelanda (Shearer et al., 2002) y en Argentina (Grzybkowska et al., 2004), así como en la quebrada Paloblanco en Risaralda, Colombia., (Bernal et al., 2006)”. (p.15).

Otras variables fisicoquímicas estudiadas como la turbiedad, pH, Alcalinidad, coliformes fecales, Temperatura, fueron representativas en el P1, para el caso de la temperatura, esta puede estar influenciada por el origen sus aguas, teniendo en cuenta que el nacimiento del río Bogotá es en un páramo donde la temperatura es baja, sin embargo, esta condición no presentó mayores variaciones, tal como se registró en el presente estudio la temperatura mínima correspondiente al río Bogotá. La temperatura de los ríos no se ve afectada por las condiciones ambientales externas, gracias a que el agua posee una capacidad calorífica muy elevada, es necesaria una gran cantidad de calor para elevar su temperatura 1.0 °K. Para los sistemas biológicos esto es muy importante pues la temperatura celular se modifica muy poco como respuesta al metabolismo. De la misma forma, los organismos acuáticos, si el agua no tuviera esa cualidad, se verían muy afectados o no existirían.

La turbiedad y sólidos suspendidos tuvieron sus valores máximos en este mismo punto, empeorando las condiciones requeridas para el establecimiento de comunidades hidrobiológicas que requieren de fitoplancton para su alimentación, ya que al encontrarse alteradas estas variables, reducen la entrada de los rayos solares suprimiendo la producción primaria. La turbiedad afecta la relación-depredador presa ya que dificulta la visualización de la presa y los sólidos suspendidos atrofian aquellos organismos que se alimentan de microorganismos. La temperatura afecta la eclosión de los huevos y la colonización acelera el ciclo de vida de los insectos incrementando la emergencia. (Hawker, 1980; Roldán, 1992., citado por Gil Gómez, J. A., 2014). (p.26).

Los estudios realizados en la desembocadura del río Bogotá sobre el Río Magdalena, arrojan resultados según el ICA que clasifican el agua de los puntos muestreados de mala

calidad, sin embargo esta condición tiende a mejorar en época seca, posiblemente a una ligera estabilización del agua, así mismo el índice BMWP indica aguas fuertemente contaminadas con una leve mejora en los P2, P3 y P4 donde la familia *Hydrobiidae* estuvo presente, la cual está catalogada como indicadora de aguas medianamente limpias (puntaje 8).

Estos índices son el reflejo del estado actual del ecosistema, evidenciando un deterioro progresivo ocasionado por la fuerte contaminación que recibe el río Bogotá durante su recorrido. Vertimientos industriales, domésticos, agrícolas etc., que vienen con altas concentraciones de nitratos, fosfatos, materia orgánica, coliformes fecales, tal como se evidencio en los resultados, son descargados diariamente, alterando las condiciones naturales de los afluentes, a consecuencia de esto se tiene una disminución progresiva de comunidades hidrobiológicas quedando solo aquellas que se adaptan o toleran estos ambientes, como se observó en el presente estudio donde los *Chironomidae*, fue la familia más predominante. Mora & Soler, 1993., et al., citados por Gil Gómez, J. A. (2014). Afirman que “los parámetros fisicoquímicos del agua determinados por factores ambientales influyen de manera directa en la diversidad de las comunidades de los macroinvertebrados. Factores como la profundidad, pH, alcalinidad, dureza, iones de calcio, clase de sedimentos, materia orgánica, contaminantes tanto industriales como domésticos, determinan la abundancia relativa de las comunidades” (p.25)

En general los resultados de los estudios demostraron que existe una fuerte alteración sobre los afluentes del río Bogotá, de las condiciones naturales, demostrado con los análisis de la variables fisicoquímicos y que estos vertimientos impactan negativamente sobre las comunidades hidrobiológicas del río Magdalena, P2, donde fue escasa la presencia tanto de

comunidades algales, como de macroinvertebrados y zooplancton, así como en el P4, que fue el punto aguas abajo al Río Magdalena, donde la presencia de estas comunidades fue escasa. Esto fue demostrado con el índice de calidad del agua (ICA) y el BMWP. En efecto, las modificaciones del medio acuático producen un cambio en las comunidades de organismos, favoreciendo a ciertas especies y creando circunstancias intolerables para otras y, en definitiva, alterando la composición y estructura de dichas comunidades (García & González, 1986., Citado por Gil Gómez, J. A. 2014., p. 20)

Los resultados permiten evidenciar las principales problemáticas en cuanto a calidad de agua se refiere en el río Magdalena, producto del aporte de agua del río Bogotá, para lo cual se sugieren las siguientes alternativas que contribuirían a darle un mejor manejo y una potencial recuperación a la desembocadura del río Bogotá, en otras palabras, a una regulación de las condiciones fisicoquímicas de mayor preocupación, teniendo la posibilidad de ser replicadas en la cuenca alta y media.

En primera instancia se encuentran las barreras físicas, debido a que durante el recorrido que se realizó para la toma de las muestras, se observó en reiteradas ocasiones el paso de grandes y pequeñas cantidades de todo tipo de residuos sólidos, que son arrojados al cauce del río Bogotá por los habitantes riberños, motivo por el cual se propone la remoción de estos, basado en la idea que serían arrastrados por la corriente aguas abajo hacia la barrera que estaría unos metros arriba de la desembocadura donde el ancho del cauce sea menor. Esta tendría la forma de una red de tenis la cual se anclaría al borde del río, con una modificación que es, levantar a través de dos soportes, para que en dado caso que se presente un exceso de

arrastre de material del río, se siga manteniendo la capacidad de permitir la circulación del agua, Figura 5.

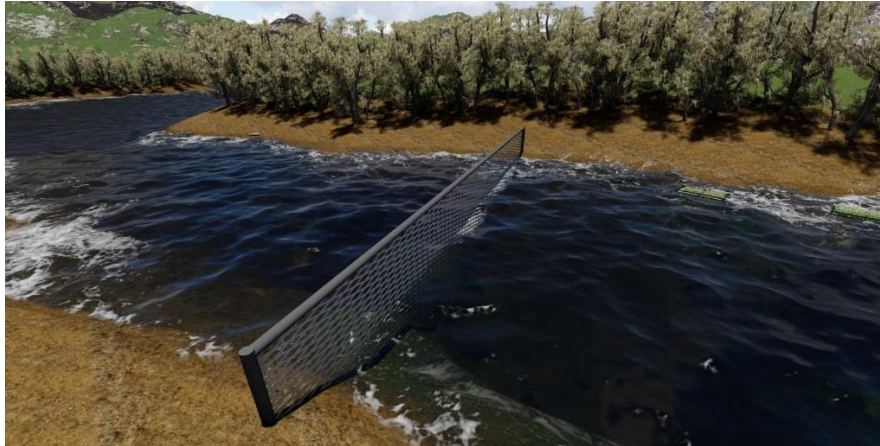


Figura 5. Barrera física para remoción de residuos sólidos. Fuente: autores

La idea original es tomada del prototipo puesto en marcha en el 2012, en el Mar del Norte por el estudiante holandés de Ingeniería Aeronáutica Boyan Slat, quien afirma que es “gracias a la orientación de éstas, que se acumula el plástico arrastrado por las corrientes, para luego estos ser recolectados y clasificados” (Boyan Slat, citado en el MUNDO, 2016). No obstante, una limitación de esta barrera sería la incapacidad de recoger partículas plásticas pequeñas, sin embargo, muchas de las pequeñas partículas son producto de la descomposición de partes más grandes, así que a medida que se recojan los grandes trozos, se reducirá notoriamente el número de partículas más pequeñas.

En conjunto con este primer paso se propone la implementación de una alternativa natural como es la Fitorremediación. Para ello se plantea la implementación de jardines flotantes que serían colocados a lo largo del cauce a lado y lado del mismo, los cuales estarían contenidos en una estructura rectangular que puede ser en bambú o PVC, en la cual se

sembraría pasto vetiver, además de la siembra en las laderas del río con el fin de ayudar a la estabilización de la misma, reducción de la erosión y a aumentar la eficiencia de la remediación (Figura 6). La Fitorremediación es una excelente alternativa para la remoción del exceso de nutrientes y hasta metales, siendo esta una propuesta económica, sencilla, practica y efectiva, lo cual la convierte en la opción que presenta mejor relación de costo-beneficio respecto a otros métodos empleados para el tratamiento de efluentes líquidos, minimizando poco a poco el impacto que se genera aguas arriba sobre el cauce del río Bogotá y a su vez sobre el Magdalena. Además “es estética y naturalmente amigable con el ambiente, por lo que se presenta como una forma de descontaminación socialmente aceptable para las comunidades circundantes y para los organismos de control respectivos” (Dushenkov et al., 1995 citado por Sepúlveda Asprilla, 2013, p.54).

El uso de la especie vegetal vetiver (*Vetiveria zizanioides*), se propone debido a que sus semillas son infértiles, y por ende no hay riesgo de que se convierta en maleza. Una vez establecido tolera condiciones extremas de: sequías; inundaciones; temperaturas (-14° C a 46° C); altitudes (0 m hasta 2800 msnm); pH (3 a 12.5); se adapta a suelos con presencia de aluminio, arsénico, cadmio, cobre, cromo, plomo, manganeso, mercurio, níquel, selenio y bajo condiciones de humedad o encharcamiento, las hojas se abren permitiendo una mayor transpiración. (Liao, Shiming, L., Yinbao, W., Zhisan, W. 2003, citado por Truong y Thai Danh 2015, p. 13)



Figura 6. Alternativa de estabilización del talud del río y remoción de nutrientes. Recuperado de Ash and Truong, 2003.

Por lo tanto, el uso del pasto vetiver es un método a bajo costo para tratar aguas residuales domésticas e industriales; “en investigaciones se ha demostrado que puede ser usado bajo condiciones hidropónicas; es nativo de ambientes como humedales lagunas pantanos y es extremadamente tolerante a inundaciones y condiciones sumergidas por lo que se le considera efectivo para purificación de corrientes de agua” (Sepúlveda Asprilla, 2013, p.61). De igual forma, el vetiver puede sobrevivir por más de tres meses bajo aguas lodosas, como en una prueba realizada para estabilizar la ribera del río Mekong en Cambodia en el 2007, y parcialmente sumergido, pudo resistir hasta 8 meses en una prueba en Venezuela. Además ha demostrado una gran capacidad para tolerar y acumular altas concentraciones nutrientes. En relación a esto Truong y Thai en el 2015 demostraron la capacidad que tiene el vetiver para remover N y P, en un agua residual infestada con algas verde-azul, alto contenido de nitrato (100 mg/L) y fosfato (10 mg/L) (izquierda), y el mismo efluente después del

tratamiento de 4 días con vetiver (derecha) reduciendo el nivel de N y P a 6 y 1 mg/L respectivamente. La infestación de algas fue completamente eliminada, figura 7 (p. 17).



Figura 7. Capacidad de remoción de N y P del vetiver. Tomado de Truong y Thai D., 2015.

Sin embargo, por muy buena que sea cualquier propuesta, ningún proyecto que se decida emprender tendría éxito si la comunidad no es participe, pues es inútil buscar alternativas de solución, mitigación o compensación de problemáticas ambientales si no se hace un cambio socio-cultural a la población. Por ende es importante que el desarrollo de las alternativas que se proponen se realice de la mano con la comunidad riverense del Bogotá, solo ella será garante que las cosas perduren en el tiempo, y es ahí, donde la educación ambiental se convierte en el eje fundamental y el complemento de cualquier solución que se proponga, pues los problemas ambientales no son individuales, sino sociales, por ello con la ayuda de la educación ambiental “se trata de fortalecer sujetos colectivos con capacidad de dar respuesta a las problemáticas ambientales que los rodea” (Esteva, J.; Reyes, J. 1998, Pág. 44).

En efecto durante años se ha tratado de dar manejo a los persistentes y crecientes pequeños problemas que vive día a día el río Bogotá en la cuenca alta y media y a la incompatibilidad entre el sistema económico actual y el equilibrio ecológico, que han

desencadenado que se piense en esta cuenca como un sinónimo de mal olor, pobreza, y degradación. Una innumerable deuda externa para tratamientos fisicoquímicos, políticas de producción más limpias ineficientes, desalojos y dragados han sido una de las propuestas ya en marcha que no reflejan un resultado perceptible en la cuenca baja.

De acuerdo con lo que afirma Richard Thompson (2014) de la Universidad de Plymouth, es inútil concentrarse en metodologías para subsanar los problemas ambientales, cuando en realidad se debería evitar que pasen, razón por la cual, la forma más eficaz de transformar esta situación ambiental es implicando a la sociedad. Esta inclusión piloto de los demás actores involucrados solo es posible a través de un proceso permanente de educación ambiental que sería desarrollado por los estudiantes del programa de ingeniería ambiental. A través de este se busca brindar herramientas que promuevan una nueva relación de la sociedad Girardoteña con su entorno, con el fin de lograr la toma de conciencia que pueda garantizar la mejora, recuperación y conservación del sistema hídrico que en muchos casos los sustenta. De esta manera la educación ambiental será "un proceso permanente en el cual los individuos y las comunidades adquieren conciencia de su medio y aprenden los conocimientos, los valores, las destrezas, la experiencia y también la determinación que les capacite para actuar, individual y colectivamente, en la resolución de los problemas ambientales presentes y futuros". (Congreso Internacional de Educación y Formación sobre Medio Ambiente. Moscú, 1987) logrando con el apoyo de la ciudadanía la reducción sustancial de los residuos sólidos arrojados a esta fuente hídrica, así como la remoción, eliminación y/o aprovechamiento de los que ya han sido lanzados, además de la elaboración, mantenimiento y puesta en marcha de otras propuestas como son procesos de reforestación y protección de la ronda hídrica del río, que ya se han ido realizando con apoyo de la CAR.

Como se mencionó anteriormente la consolidación de estas nuevas formas de recuperar la desembocadura del Bogotá sería posible solo fomentando la educación ambiental, pues esta será la única forma de garantizar que dichas alternativas funcionen y perduran en el tiempo en caso contrario, no será posible conseguir resultados positivos.

Conclusiones

- El estudio de calidad del agua en la zona de confluencia del río Bogotá comprobó que los puntos de muestreo en general mostraron deterioro en la calidad fisicoquímica. Los resultados de dichas variables demuestran su complementariedad con las variables biológicas estudiadas, no solo porque su presencia refleja el grado de tolerancia a la contaminación, sino porque proporcionan información valiosa sobre el estado actual del ecosistema en poco tiempo y a un menor costo.
- Los puntos de muestreo de los cuerpos hídricos en estudio, según el índice BMWP presentaron aguas fuertemente contaminadas de calidad ecológica muy crítica, durante los periodos de muestreo, esta categoría en que se posicionan estos recursos hídricos fue similar a los resultados que arrojaron los ICA, confirmando a excepción del P2, que los tramos en estudio presentan un deterioro progresivo, clasificándose como aguas de mala calidad.
- Los macroinvertebrados encontrados en todos los puntos de muestreo concuerdan con su grado de tolerancia a la contaminación, es decir, a las variables fisicoquímicas analizadas en la zona de estudio, debido a que la presencia y baja diversidad de estas familias reflejan la presión que se ejerce sobre el ecosistema.
- El análisis de componentes principales evidenció que los dos parámetros fisicoquímicos que influyeron en el presente estudio fueron los fosfatos y nitratos. En relación a esto se demostró que los nitratos mantienen un comportamiento similar en todos los puntos en el río Magdalena, diferente al comportamiento que tienen en el río Bogotá; ya que este último estuvo fuertemente influenciado por los fosfatos.

➤ La alcalinidad, pH, fosfatos, baja concentración de oxígeno disuelto y altos contenidos de materia orgánica en el primer punto de muestreo durante las dos épocas, son índices inequívocos del grado de deterioro en el que se encuentra la cuenca baja del río Bogotá.

➤ El río Magdalena aguas arriba (P2) antes de que reciba la descarga del río Bogotá, presenta relativamente las mejores condiciones fisicoquímicas de los cuatro puntos muestreados durante las dos épocas, una vez el Magdalena entra en contacto con el Bogotá (P3) las características fisicoquímicas cambian, con tendencia a aumentar trayendo como consecuencia el establecimiento de familias específicas de Macroinvertebrados adaptadas a este tipo de hábitat particular.

➤ En el punto de mezcla entre el Bogotá y el Magdalena estuvo presente la familia Ampullaridae que es indicadora de aguas limpias, debido al efecto de deriva o arrastre de estos organismos por la corriente y no, a las condiciones fisicoquímicas del punto de estudio.

➤ La baja colecta que se presentó en todos los puntos del río Magdalena está fuertemente relacionado con el caudal del río, ya que su gran tamaño y volumen limitan el establecimiento de las familias en estos cuerpos de agua presentándose efecto de arrastre o deriva.

➤ De acuerdo con los resultados obtenidos, el único punto que presenta calidad de agua buena, fue el río Magdalena antes que recibiera la descarga del río Bogotá, lo cual confirma el impacto negativo que tienen las aguas de este afluente sobre las características fisicoquímicas y las comunidades hidrobiológicas del río Magdalena.

- La familia Chironomidae estuvo presente en todos los puntos de muestreo posiblemente porque están ampliamente distribuidas en todo tipo de corrientes de agua, además de estar asociados a altas concentraciones de materia orgánica en descomposición y bajos niveles de oxígeno.
- La mayoría de los grupos de algas que se encontraron son propias de ambientes de ricos en materia orgánica, asociados a altos contenidos de nutrientes como fosforo y nitrógeno, siendo estas un índice de la presencia de ambientes mesotróficos a eutróficos.
- El río Bogotá tiene un efecto negativo sobre el río Magdalena al alterar las variables fisicoquímicas del agua, deteriorando la calidad del recurso hídrico y por lo tanto disminuyendo las comunidades hidrobiológicas propias de esta fuente hídrica, permitiendo solo el establecimiento de organismos tolerantes a estas condiciones.
- La contaminación presente en el agua del río Bogotá producto de actividades antrópicas principalmente, causa un efecto negativo en el establecimiento de comunidades hidrobiológicas que estarían presentes, si las condiciones del agua estuvieran en su estado natural.
- Las alternativas de manejo y recuperación que se han llevado en la cuenca alta y media, no reflejan un resultado positivo perceptible sobre la calidad fisicoquímica e hidrobiológica, por lo cual estudios de este tipo demuestran que la forma de recuperar la desembocadura del Bogotá será posible no solo trabajando la mejora de la calidad fisicoquímica sino fomentando la educación ambiental, siendo esta la única forma de garantizar que dichas alternativas funcionen y perduran en el tiempo, en caso contrario, no será posible conseguir resultados positivos.

Recomendaciones

Se recomienda continuar evaluando la calidad del agua a través de métodos complementarios, con el fin de evaluar si las acciones político-administrativas que se desarrollan en la cuenca alta y media, muestran un impacto positivo en la mitigación del avanzado grado de deterioro en el que se encuentra el río Bogotá. Además de trabajar de la mano con la comunidad ribereña procesos de educación ambiental que pueden ser implementados a partir de la misma Universidad Cundinamarca, poniendo en práctica las alternativas de mitigación anteriormente planteadas, garantizando que cualquier proceso o propuesta, sea social, política y/o administrativa conduzcan a la recuperación y conservación del recurso hídrico.

En futuros trabajos se deberían contemplar la inclusión de parámetros como metales pesados debido a que se desconoce el efecto de estos, sobre las comunidades hidrobiológicas anteriormente trabajadas, los peces y a su vez la cadena trófica.

Realizar el estudio de las variables contempladas en épocas intermedias al periodo de lluvias y sequia con el fin de establecer el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en este cuerpo hídrico.

Referencias

(S.F) Zooplancton. ¿Qué es? Importancia. Principales componentes. Obtenido de:
<http://www.ecoplata.org/media/2014/09/ficha-04-ZOOPLANCTON.pdf>

Aguirre-Pabón, J., Rodríguez-Barrios, J., & Ospina-Torres, R. (2012). Deriva de macroinvertebrados acuáticos en dos sitios con diferente grado de perturbación, río Gaira, Santa Marta-Colombia. *Intropica*, 7, 9.

Antezana, R. C. H., Ostoic, F. R., & Ramos, A. G. Indicadores Biológicos De Calidad Del Agua. Obtenido de: <https://es.scribd.com/doc/58999749/indicadores-Biologicos-Calidad-Agua>

Arango, M. C., Álvarez, L. F., Arango, G. A., Torres, O. E., & Monsalve, A. D. J. (2008). Calidad del agua de las quebradas la Cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia. *Revista EIA*, (9), 121-141.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372008000100010

Asociación Municipal de Juntas Girardot. (2012). Obtenido de:
<http://asojuntasgirardot.com/jac/ub/ubi.html>

Bartram, J., Corrales, L., Davison, A., Deere, D., Drury, D., Gordon, B., & Stevens, M. (2009). Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.

Biblioteca Virtual Luis Ángel Arango, Rio Bogotá. Obtenido de:
<http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/bibliografias/preg-frec/bol/bol7.htm> [Citado el 10 de marzo de 2016]

Camargo, J. A., & Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Revista Ecosistemas*, 16(2).

Cardona González, A. H. (2003). El régimen jurídico de las aguas en Colombia. *Derecho de aguas*, 1.

Carrión G., Cavero, V., Dioses I., Lamadrid M., Lindo N., y Mogollón G., (Abril 2014). Factores que influyen en la calidad del agua potable según su procesamiento y almacenamiento en la urbanización Jardín-Sullana. Obtenido de:
<http://es.calameo.com/read/0025158179cb2534db7ac> [Citado el 10 de marzo de 2016]

Díaz-Quirós, C., & Rivera-Rondón, C. A. (2004). Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadoras de condiciones ambientales. *Caldasia*, 26(2), 381.

Dourojeanni, A., & Jouravlev, A. (1999). Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos.
http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/31384/S99120968_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Duque, S., & Donato, J. C. (1988). Estudio del fitoplancton durante las primeras etapas de llenado del embalse de la central hidroeléctrica de Betania, Huila-Colombia. *Universitas Scientiarum*, 1(2), 29-52.

El Mundo (2016). Una barrera artificial de 100 metros de longitud atrapa los residuos. Obtenido de:
<http://www.elmundo.es/ciencia/2016/09/09/57d19e6d268e3e72798b4590.html>

Escobar, D. M. V., DE, P. D. A. A. Y., (2012). Macroinvertebrados acuáticos epicontinentales y la calidad biológica del agua del río Jordán, Jamundí., Santiago de Cali (Valle del Cauca).

Espigares García, M., & Pérez López, J. A. (1995). Aguas residuales: Composición. Estudio sanitario del agua. Pp, 309-330.

Esteva, J.; Reyes, Javier (1998) Manual del promotor y educador ambiental para el desarrollo sustentable. Secretaría de medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca-PNUMA. México

Fernández D & Fernández G. 1990. Depuración de las Aguas Residuales en las Pequeñas Poblaciones. Sesiones Científicas, Anales de la Real Academia Nacional de Medicina. Editorial Garsi, Madrid. Pp 147-151.

Fernandez, N., & Solano, F. (2005). Índice de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia Mundial. Colombia Universidad de Pamplona.

Garcia, D. S., & Pritotto, G. (2009). Educación ambiental: aportes políticos y pedagógicos en la construcción del campo de la educación ambiental. Jefatura de Gabinete de Ministros, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.

Garzón, R., & Stefhany, L. (2014). Determinación del estado trófico de tres ecosistemas lénticos de la sabana de Bogotá con base al fitoplancton, en dos periodos climáticos contrastantes (Bachelor's thesis, Universidad Militar Nueva Granada).

Gaviria, E. A. (1993). Claves para las especies colombianas de las familias Naididae y Tubificidae (Oligochaeta, Annelida). *Caldasia*, 237-248.

Gil Gómez, J. A. (2014). Determinación de la calidad del agua mediante variables físicoquímicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa.

Gonima, N. (5 septiembre de 2014.) El Espectador. Obtenido en: <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/hortalizas-de-sabana-irrigadas-agua-contaminada-articulo-514766>. [Citado el 10 de marzo de 2016]

González, S. M., Ramírez, Y. P., Meza, A. M., y Días, L. G. (2012). acuatic macroinvertebrates diversity and water quality of supply streams from manizales municipality. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 16(2), 135-148.

Gurrea, M. (2000). Análisis de componentes principales. Proyecto e-Math Financiado por la Secretaría de Estado de Educación y Universidades (MECD).

Hahn-Vonhessberg, C., Toro, D., Grajales-Quintero, A., Duque-Quintero, G., & Serna-Uribe, L. (2009). Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, Universidad de Caldas, Municipio de Palestina, Colombia. *Boletín Científico Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 13(2), 89-105.

Holding B.V. (2006) Aguas con el Agua, Calidad del Agua. Holanda. Obtenido de: http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/3/3_Calidad_del_agua.pdf

IDEAM. Agua, Evaluación del Recurso Hídrico, Indicadores. Obtenido de:
<http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>

Instituto De Estudios Urbano. (Red Bogotá) (s.f.) Bogotá en Datos, Obtenido de:
<http://institutedeestudiosurbanos.info/endatos/0100/0110/0112-hidro/011211.htm> [Citado el 10 de marzo de 2016]

Lara-Lara, J. R., Arreola-Lizárraga, J. A., Calderón-Aguilera, L. E., Camacho-Ibar, V. F., De la Lanza-Espino, G., Escofet-Giansone, A., ... & Meling-López, E. A. (2008). Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. *Capital natural de México*, 1, 109-134.

Lemus, J. L. C., del Pilar Torres-García, M., & Mondragón, M. F. (1997). El océano y sus recursos: V. Plancton. SEP.

Londoño, C. (2001). Cuencas hidrográficas: Bases conceptuales caracterización planificación-administración. Ibagué, Co., Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal.

Lozano Ortiz, L. (2005). La bioindicación de la calidad del agua: Importancia de los Macroinvertebrados en la cuenca alta del Río Juan Amarillo, Cerros Orientales de Bogotá. *Umbral científico*, (7).

Marcó, L., Azario, R., Metzler, C., & García, M. D. C. (2004). Turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). *Revista de higiene y sanidad ambiental*, 4, 72-82.

Martínez, L. F., & 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.

Ministerio Del Medio Ambiente (1997). Política Nacional de Producción más Limpia, Bogotá D.C., Obtenido de: http://www.crc.gov.co/files/Respel/Política_PL.pdf

Pérez Roldán, G., 1999. Los Macroinvertebrados y su Valor Como Indicadores De La Calidad Del Agua. *Revista Académica Colombiana de Ciencia*, p. 375.

Pérez, G. R., & Restrepo, J. J. R. (2008). Fundamentos de limnología neotropical (Vol. 15). Universidad de Antioquia.

Pérez, G. S. (2002). Desarrollo y medio ambiente: una mirada a Colombia. *Economía y Desarrollo*, 1(1), 80-98.

Pinilla, G. A. P. A. (1998). Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia: compilación bibliográfica. U. Jorge Tadeo Lozano.

Posada, G., José, A., Roldán, P., Ramírez, R., & John, J. (2000). Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 48(1), 59-70

Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., & Rieradevall, M. (2009). Los Macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*, 631-654.

Principales bioindicadores del agua., P. los Macroinvertebrados., Obtenido de: <http://www.laanunciataikerketa.com/trabajos/divinaconciencia/bioindicadores.pdf>

Pulido, M. D. P. A., de Navia, S. L. Á., Torres, S. M. E., & Prieto, A. C. G. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Nova*, 3(4).

Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. *Formulaciones y aplicación. CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(3), 135-153

Red Iberoamericana De Potabilización Y Depuración De Agua. Indicadores de contaminación fecal en aguas, Cap. 20 p.226. Obtenido de: http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_20.pdf

Rivera-Usme, J. J., & Pinilla-Agudelo, G. A. (2013). Ensamblaje de Macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables físicas y químicas en el humedal de Jaboque-Colombia. *Caldasia*, 35(2), 389-408.

Roldan Pérez, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del método BMWP Col. Universidad de Antioquia.

Roldán, G. (1988). Guía para el estudio de los Macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia, Fondo FEN, Medellín. P 234.

Roldán-Pérez, G. (2016). Los Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254-274

Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*; Vol. 27, núm. 3 (2007); 172-181 *Ingeniería e Investigación*; Vol. 27, núm. 3 (2007); 172-181 2248-8723 0120-5609.

Secretaria de Educación Municipal Alcaldía de Girardot. (2012). Caracterización. Obtenido de: <http://www.semgirardot.gov.co/wp-content/uploads/2013/07/CARACTERIZACION-SECRETARIA-DE-EDUCACION.pdf>

Sepúlveda Asprilla Niza Inés. (2013). desarrollo de un Protocolo para la Rizofiltración de Efluentes Contaminados con Mercurio Mediante la Aplicación de Filtros Vegetales con la Especie Vetiver (Vetiveria Zizainodes)

Truong, Paul y Thai Danh, Luu. (2015). El Sistema Vetiver Para Mejorar La Calidad Del Agua; Prevención y Tratamiento De Aguas y Suelos Contaminados. Segunda Edición.

UNAD. Definición de Indicadores Ambientales. Cap. 6. Obtenido de: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358024/contLinea/capitulo_6_bioindicadores_o_indicadores_biolgicos.html

Universidad Nacional Abierta Y A Distancia (UNAD). Gestión de la Calidad Alimentaria. Lección 5: Ecosistemas Acuáticos y Marinos, Obtenido en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201030/Contenidolinea/leccion_5_ecosistemas_acuaticos_y_marinos.html [Citado el 10 de Marzo de 2016]

Vásquez C, Ariza A & Pinilla G. 2006. Descripción del Estado Trófico de Diez Humedales del Altiplano Cundiboyacense. *UniversitasScientiarum* 11(2):61-75.

Vega, F. J. T. (2009). Desarrollo y aplicación de un índice de calidad de agua para ríos en Puerto Rico. ProQuest.

Vélez-Azañero, A., Lozano, S., & Cáceres-Torres, K. (2016). Diversidad de fitoplancton como indicador de calidad de agua en la Cuenca Baja del Río Lurín, Lima, Perú. *Ecología Aplicada*, 15(2), 69-79.

Anexos

Tabla 26. Resultados de los análisis fisicoquímicos en época de sequía

| PARÁMETRO | PUNTO DE MUESTREO | | | | UND |
|------------------------|-------------------|---------|--------|--------|-----------------------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | |
| FÍSICOS | | | | | |
| Temperatura | 19.7 | 21.7 | 21.9 | 22.5 | C |
| Turbiedad | 230 | 217 | 201 | 235 | NTU |
| SDT | 864 | 244 | 454 | 382 | mg/L |
| QUÍMICOS | | | | | |
| pH | 8.55 | 8.22 | 8.38 | 7.9 | |
| O. D | 5 | 9.1 | 6.2 | 6.3 | mg O ₂ /L |
| M. O. | 17.12 | 2.56 | 3.2 | 8.64 | mgO ₂ /L |
| DBO ₅ | 67.9 | 32.7 | 9.55 | < 5.0 | mgO ₂ /L |
| Alcalinidad | 32.43 | 6.2 | 8.3 | 5.17 | mg-CO ₃ /L |
| Nitratos | 1.1 | 0.1 | 0.8 | 0.7 | mg-NO ₃ /L |
| Amonio | 12.4 | 1.0 | 8.1 | 0.0 | mg NH ₃ /L |
| Fosfatos | 2.32 | 0.19 | 0.72 | 0.50 | mg-PO ₄ /L |
| MICROBIOLÓGICOS | | | | | |
| C. Totales | 3.000 | 108.000 | 47.000 | 14.000 | UFC |
| C. Fecales | 29.800 | 0 | 31.200 | 16.300 | UFC |

Resultados de las variables fisicoquímicas y microbiológicas muestreadas en época de sequía. Fuente:

Autores.

Tabla 27. Resultados de los análisis fisicoquímicos en época de lluvia.

| PARÁMETRO | PUNTO DE MUESTREO | | | | UND |
|------------------------|-------------------|---------|---------|---------|-----------------------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | |
| FÍSICOS | | | | | |
| Temperatura | 12 | 15.6 | 14.4 | 15.8 | C |
| Turbiedad | 321 | 235 | 151 | 208 | ° NTU |
| SDT | 252 | 58.5 | 120 | 99.7 | mg/L |
| QUÍMICOS | | | | | |
| pH | 7.93 | 8.65 | 8.07 | 8.02 | |
| O.D. | 4.3 | 4.6 | 2.6 | 2.4 | mg O ₂ /L |
| M.O. | 28.6 | 10.4 | 8.0 | 7.8 | mg O ₂ /L |
| DBO ₅ | 10.1 | < 5.0 | 6.21 | < 5.0 | mg O ₂ /L |
| Alcalinidad | 18.6 | 10.15 | 10.6 | 8.4 | mg-CO ₃ /L |
| Nitratos | 2.1 | 1.4 | 1.9 | 2.0 | mg-NO ₃ /L |
| Amonio | 12.9 | 2.69 | 9.01 | 4.74 | mg-NH ₃ /L |
| Fosfatos | 1.2 | 0.6 | 0.2 | 0.4 | mg PO ₄ /L |
| MICROBIOLÓGICOS | | | | | |
| C. Totales | 3.200 | 8.800 | 331.200 | 0 | UFC |
| C. Fecales | 60.000 | 630.000 | 330.000 | 660.000 | UFC |

Resultados de las variables fisicoquímicas y microbiológicas muestreadas en época de lluvia. Fuente:

Autores



Figura 8. Punto 1 de muestreo, río Bogotá. Fuente: autores



Figura 9. Punto 2 de muestreo, río Magdalena.



Figura 10. Punto 3 de muestreo, Zona de mezcla.



Figura 11. Punto 4 de muestreo, aguas abajo del río Magdalena.



Figura 12. Macroinvertebrados colectados en Punto 1, en época seca.



Figura 13. Macroinvertebrados colectados en punto 2, en época seca. Fuente: autores



Figura 14. Macroinvertebrados colectados en punto 3, en época seca. Fuente: autores.



Figura 15. Macroinvertebrados colectados en punto 4, en época seca. Fuente: autores.



Figura 16. Macroinvertebrados colectados en Punto 1, en época de lluvia.



Figura 17. Macroinvertebrados colectados en Punto 2, en época de lluvia.

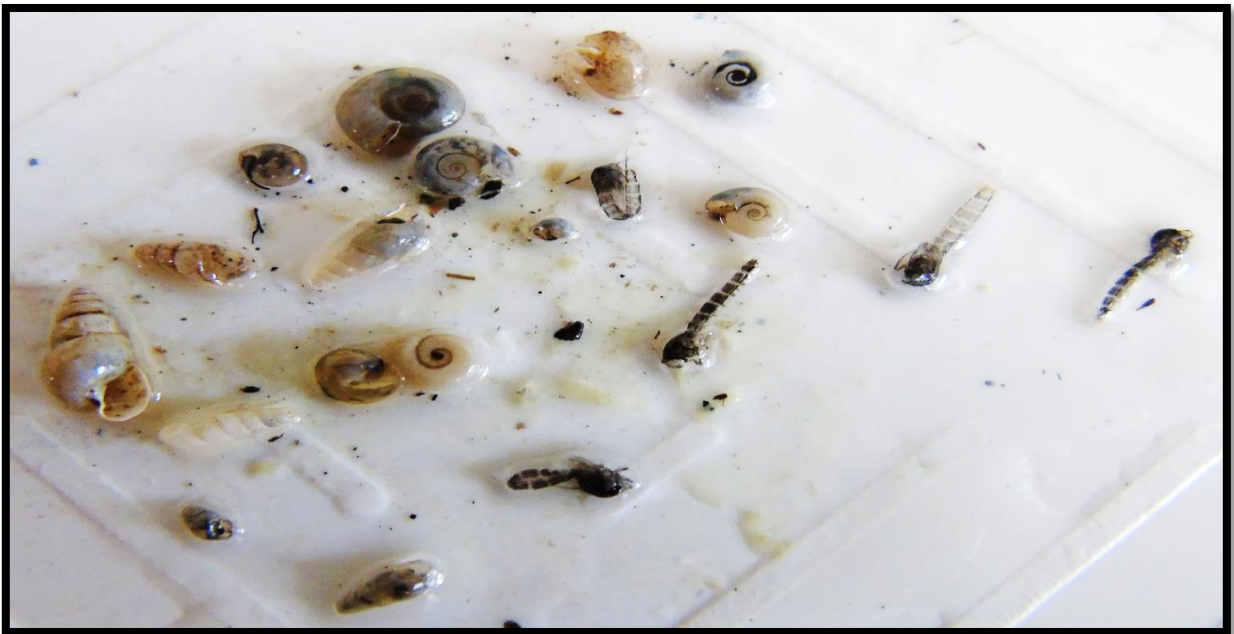


Figura 18. Macroinvertebrados colectados en Punto 3, en época de lluvia.



Figura 19. Macroinvertebrados colectados en Punto 4, en época de lluvia.



Figura 20. Familia Planorbidae.



Figura 21. Familia Noteridae.



Figura 22. Larva de Chironomidae. Fuente: autores.



Figura 23. Familia Hydrobiidae. Fuente: autores.



Figura 24. Familia Thiariidae. Fuente: autores.

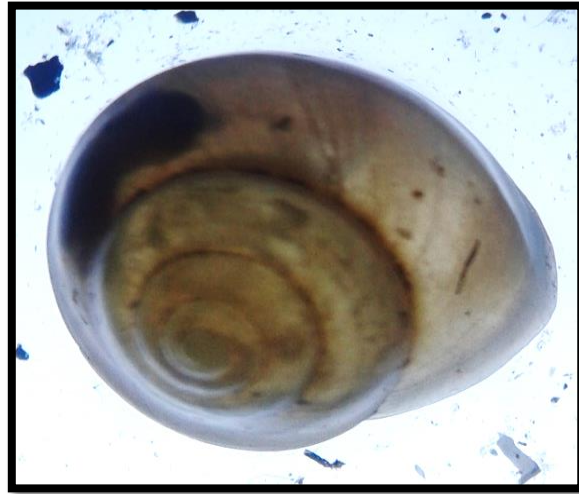


Figura 25. Familia Ampullariidae. Fuente: autores.



Figura 26. Ulothrix. Fuente: autores.

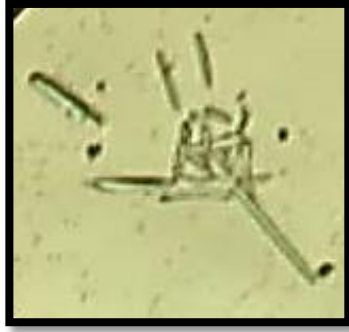


Figura 27. Fragmentos de Ankistrodesmus. Fuente: autores.



Figura 28. Euglena. Fuente: autores.



Figura 29. Nitzschia. Fuente: autores.



Figura 30. Hyalotheca. Fuente: autores.

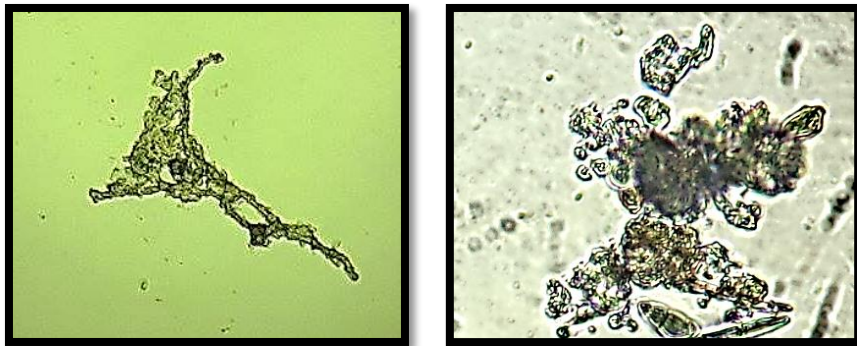


Figura 31. Botryococcus. Fuente: autores.



Figura 32. Raphidiopsis C.F. fuente: autores.



Figura 33. Hyalotheca. Fuente: autores.



Figura 34. Tabellaria. Fuente: autores.

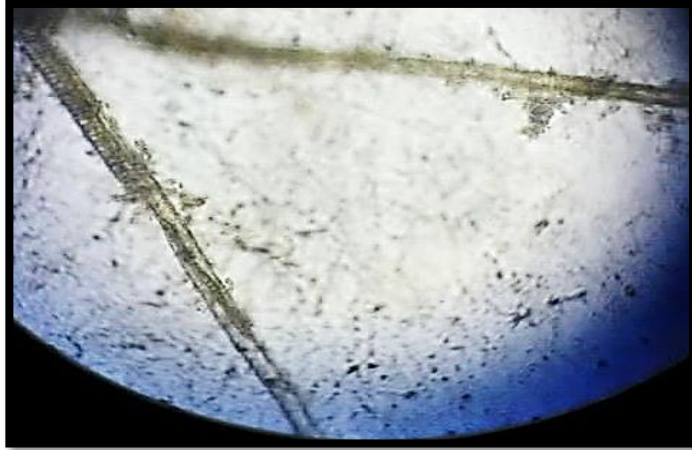


Figura 35. Oscillatoria. Fuente: autores.

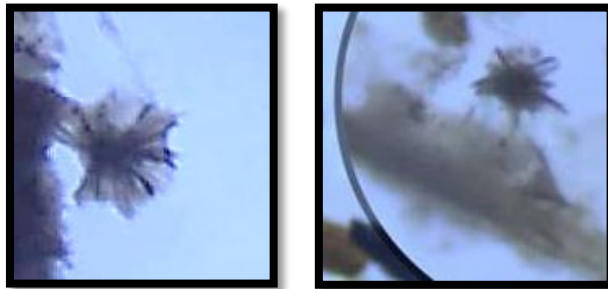


Figura 36. Acanthocystis. Fuente: autores.

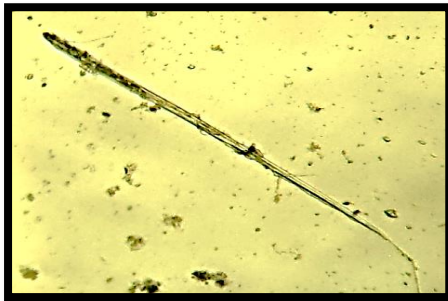


Figura 37. Synedra, fuente: autores.

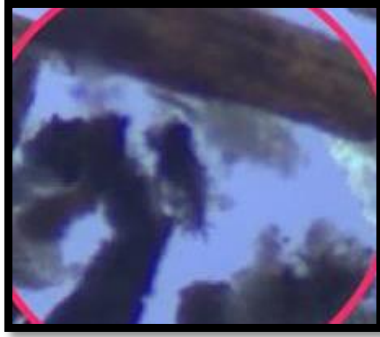


Figura 38. Copepoda, fuente: autores.



Figura 39. Nitzschia, fuente: autores.

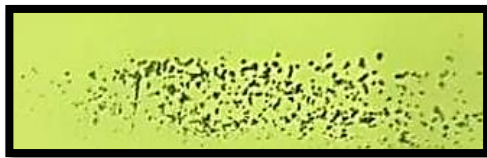


Figura 40. Merismopedia, fuente: autores.



Figura 41. Dynobryon, fuente: autores.

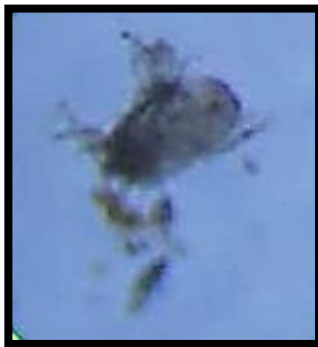


Figura 42. Acari, fuente: autores.