

**Evaluación de la calidad del agua por vertimientos  
de aguas residuales en la zona media y baja de la  
quebrada Miraflores de Pasto - Nariño**

**DALILA SANTACRUZ BASTIDAS**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y  
ADMINISTRATIVAS  
MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO  
AMBIENTE  
MANIZALES  
2019**

**Evaluación de la calidad del agua por vertimientos  
de aguas residuales en la zona media y baja de la  
quebrada Miraflores de Pasto - Nariño**

**Proyecto para optar al título de Magister en  
Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, del  
estudiante:**

**DALILA SANTACRUZ BASTIDAS**

**Directora:**

**GLORIA MARÍA RESTREPO FRANCO Ph.D.**

**Línea de investigación:**

**Biosistemas integrados**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y  
ADMINISTRATIVAS**

**MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO  
AMBIENTE**

**MANIZALES**

**2019**

## **Acta de calificación**

**Evaluación de la calidad del agua por vertimientos de  
aguas residuales en la zona media y baja de la quebrada  
Miraflores de Pasto - Nariño**

**DALILA SANTACRUZ BASTIDAS**

**Tesis para optar el título de:  
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

**Nota de aceptación Jurado:**

---

**Jurado 1**

---

**Jurado 2**

## *Dedicatoria*

*A mi pequeña Liah, fuente de mi inspiración quien me ha acompañado en este camino siendo mi fortaleza y mi gran amor.*

## **Agradecimientos**

A Dios, quien como guía estuvo presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome la sabiduría para continuar con mis metas trazadas.

A la Empresa de Obras Sanitarias de Pasto EMPOPASTO S.A E.S.P., con su gerente el Dr. Oscar Parra Erazo, por su apoyo y la oportunidad de poder realizar este estudio.

A la Universidad de Manizales, por impartir aprendizaje y promover conocimiento.

Al director de línea de Biosistemas Integrados, Doctor Jhon Fredy Betancur, quién permitió que el proyecto a desarrollar fuera culminado.

A mi asesora, Doctora Gloria María Restrepo Franco, por sus aportes metodológicos y técnicos.

A mi familia por su motivación para sacar adelante este trabajo.

# Tabla de contenido

Resumen .....	1
Abstract .....	2
Lista de tablas .....	0
Lista de figuras .....	1
Lista de anexos .....	3
1. Introducción .....	4
2. Objetivos.....	5
2.1. Objetivo general.....	5
2.2. Objetivos específicos .....	5
3. Planteamiento del problema .....	6
3.1. Pregunta de investigación .....	8
3.2. Hipótesis .....	8
4. Justificación .....	9
5. Referente teórico .....	10
5.1. Antecedentes investigativos.....	11
5.1.1. Aspectos generales del área de estudio.....	16
5.2. Referente teórico .....	17
5.2.1. Aguas residuales.....	18
5.2.2. Aspectos técnicos del ciclo de gestión de aguas residuales.....	19
5.2.3. Disponibilidad del agua .....	22
5.2.4. Calidad del agua .....	23
5.2.5. Factores que determinan la calidad del agua .....	24
5.2.6. Criterios de calidad por uso.....	32
5.2.7. Índice de calidad del agua.....	33
5.2.8. Muestras representativas .....	39
5.2.9. Tipos de muestras.....	39
5.2.10. Normatividad ambiental en la gestión de aguas residuales .....	40
6. Materiales y métodos.....	46
6.1. Análisis de los parámetros de calidad del agua en las principales estaciones de vertimiento de aguas residuales en la zona media y baja de la quebrada Miraflores	46

6.1.1. Selección de puntos de monitoreo .....	46
6.1.2. Toma de muestras en los puntos de muestreo seleccionados .....	46
6.1.3. Transporte y almacenamiento de las muestras .....	47
6.1.4. Hidrología.....	48
6.1.5. Caracterización fisicoquímica de aguas residuales y aguas superficiales	49
6.2. Realización del diagnóstico sobre el estado de la quebrada Miraflores en la zona media y baja, a partir de la carga contaminante transportada en las principales estaciones de vertimientos de aguas residuales. ....	51
6.3. Cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA).....	52
7. Resultados y discusión .....	59
7.1. Estudio preliminar de la Microcuenca Miraflores para la ubicación de los puntos de monitoreo.....	59
7.1.1. Quebrada Piquisiqui .....	59
7.1.2. Quebrada Hato viejo .....	60
7.1.3. Quebrada Aserradora.....	61
7.1.4. Quebrada Turupamba .....	61
7.1.5. Quebrada Botana.....	61
7.1.6. Quebrada Miraflores.....	62
7.2. Análisis de los parámetros físico-químicos y microbiológicos medidos en los puntos de monitoreo de la zona media y baja de la quebrada Miraflores. ....	66
7.2.1. Parámetros físicos.....	72
7.2.2. Parámetros químicos .....	79
7.2.3. Parámetros microbiológicos .....	85
7.3. Cálculo de la carga contaminante transportada en los puntos de vertimientos de aguas residuales y análisis de su influencia en el Índice de Calidad del Agua de la quebrada Miraflores. ....	88
7.3.1. Análisis de perfil de carga de Sólidos Suspendidos Totales en la Quebrada Miraflores. ....	94
8. Conclusiones .....	96
9. Recomendaciones .....	98
10. Referencias bibliográficas.....	100
ANEXOS .....	108

## Resumen

La quebrada Miraflores presenta graves problemas de contaminación ambiental generada por descargas de las aguas residuales domésticas e industriales no tratadas a lo largo de su cauce. Se evaluó la calidad del agua en la zona media y baja de la quebrada a través de análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Para ello se realizaron dos jornadas de toma de muestras, 8 de tipo simples (en la parte superficial de la quebrada) y 8 de tipo compuesto 12 horas (en el vertimiento puntual de aguas residuales) en 16 puntos de monitoreo previamente identificados. El análisis fisicoquímico indicó que la quebrada Miraflores presenta un deterioro creciente a medida que es afectada por las descargas de materia orgánica e inorgánica, aportadas por centros poblados de Catambuco y sus alrededores, y por las actividades socioeconómicas desarrolladas a lo largo del cauce; arrojando en la zona media y baja valores de calidad entre 21,3 y 47,2 clasificándola como “mala” y “muy mala”, de acuerdo con el índice de Calidad del Agua-ICA. Las variables de mayor incidencia en el valor final de los ICA fueron las de indicación de presencia de patógenos y las asociadas a presencia de material particulado. Por lo anterior, se recomienda implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas en las zona rural de la ciudad para que contribuyan a mejorar la calidad del agua de la quebrada.

**Palabras clave:** Quebrada Miraflores; Aguas residuales; Calidad del agua; Índices de calidad; Carga contaminante; Aguas superficiales.



## Abstract

The Miraflores creek (municipality of Pasto-Nariño, Colombia) presents serious problems of environmental contamination generated by discharges of untreated domestic and industrial wastewater along its course. The quality of the water in the middle and lower zone of the stream was evaluated through physicochemical and microbiological analyzes. For this, two days of sampling were carried out, 8 of simple type (in the superficial part of the stream) and 8 of compound type 12 hours (in the punctual discharge of wastewater) in 16 previously identified monitoring points. The physicochemical analysis indicated that the Miraflores creek shows an increasing deterioration as it is affected by the discharges of organic and inorganic matter, contributed by population centers of Catambuco and its surroundings, and by the socioeconomic activities developed along the river bed; throwing in the middle and lower areas of quality values between 21,3 and 47,2 classifying it as "bad" and "very bad", according to the Water Quality Index-ICA. The variables with the highest incidence in the final value of the ICA were the pathogens and those associated with the presence of particulate material. Therefore, it is recommended to implement domestic wastewater treatment systems in the rural area of the city to help improve the quality of the water in the stream.

**Keywords:** Creek the Miraflores; Sewage water; Quality of water; Quality Index; Polluting load; Surface Water.

## Lista de tablas

Tabla 1. Contextualización hidrográfica de la Microcuenca Quebrada Miraflores.....	16
Tabla 2. Poblaciones influenciadas por la quebrada Miraflores.....	17
Tabla 3. Normatividad ambiental vigente de los vertimientos de aguas residuales y de las aguas superficiales de la quebrada Miraflores. ....	32
Tabla 4. Ecuaciones de cálculo empleadas por para el cálculo del ICA.....	37
Tabla 5. Pesos relativos asignados a los parámetros que conforman los ICA .....	38
Tabla 6. Clasificación de los ICA .....	39
Tabla 7. Requerimientos para la conservación y almacenamiento de las muestras de agua. ....	47
Tabla 8. Parámetros físico-químicos y microbiológicos analizados, técnica analítica y referencia.....	49
Tabla 9. Clasificación del “ICA” propuesto por NSF 1970. ....	52
Tabla 10. Pesos de los parámetros evaluados para calcular el ICA.....	53
Tabla 11. Solubilidad del Oxígeno en Agua Dulce .....	57
Tabla 12. Afluentes visitados de la microcuenca Miraflores. ....	59
Tabla 13. Calculo del valor de ICA para la quebrada Piquisiqui. ....	60
Tabla 14. Resultados del Índice de Calidad del Agua, para selección de puntos de monitoreo.....	64
Tabla 15. Selección de los puntos de monitoreo.....	65
Tabla 16. Análisis de varianza para cada uno de los parámetros por puntos de muestreo medidos en el laboratorio.....	67
Tabla 17. Características fisicoquímicas y microbiológicas de los vertimientos de aguas residuales medidas en la zona media y baja de la quebrada Miraflores.....	69
Tabla 18. Características fisicoquímicas de las cinco alícuotas en cada punto de muestreo de aguas residuales medidas en la zona media y baja de la quebrada Miraflores. ....	70
Tabla 19. Características fisicoquímicas y microbiológicas de los 5 puntos de toma de muestra a las aguas superficiales en la zona media y baja de la quebrada Miraflores.....	71
Tabla 20. Valores de los caudales y cargas contaminantes de DBO5, DQO y SST en los diferentes puntos de muestreo.....	89
Tabla 21. Valores de los ICA en cada uno de los puntos de muestreo. ....	90
Tabla 22. Resultados experimentales de la relación entre parámetros DBO5 y la DQO. .	93

## Lista de figuras

Figura 1. Localización general de la Microcuenca Quebrada Miraflores.....	17
Figura 2. Valoración de la calidad de agua en función de Coliformes Fecales .....	53
Figura 3. Valoración de la calidad de agua en función del pH.....	54
Figura 4. Valoración de la calidad de agua en función de la DBO5.....	54
Figura 5. Valoración de la calidad de agua en función de los Nitratos. ....	55
Figura 6. Valoración de la calidad de agua en función del Fósforo. ....	55
Figura 7. Valoración de la calidad de agua en función de la Temperatura. ....	56
Figura 8. Valoración de la calidad de agua en función de la Turbiedad. ....	56
Figura 9. Valoración de la calidad de agua en función de los sólidos disueltos totales. ...	57
Figura 10. Valoración de la calidad de agua en función del Oxígeno Disuelto .....	58
Figura 11. Diagnóstico general en los recorridos por la quebrada Miraflores. ....	63
Figura 12. Ubicación de los puntos seleccionados a lo largo del área de estudio. ....	66
Figura 13. Medias para pH por puntos de monitoreo de vertimiento de aguas residuales (R) y de aguas superficiales (C).....	73
Figura 14. Medias para color por puntos de monitoreo de vertimiento de aguas residuales (R) y de aguas superficiales (C).....	74
Figura 15. Medias para a) turbiedad, b) conductividad y c) sólidos suspendidos totales por puntos de monitoreo de vertimiento de aguas residuales (R) y de aguas superficiales (C). ....	77
Figura 16. Medias para oxígeno disuelto por puntos de monitoreo de vertimiento de aguas residuales y de aguas superficiales. ....	79
Figura 17. Medias para a) nitratos y b) nitritos por puntos de monitoreo de vertimiento de aguas residuales (R) y de aguas superficiales (C). ....	80
Figura 18. Medias para fosfatos por puntos de monitoreo de vertimiento de aguas residuales (R) y de aguas superficiales (C).....	82
Figura 19. Medias para hierro total por puntos de monitoreo de vertimiento de aguas residuales (R) y de aguas superficiales (C).....	83
Figura 20. Medias para sulfatos por puntos de monitoreo de vertimiento de aguas residuales (R) y de aguas superficiales (C).....	85
Figura 21. Medias para a) coliformes totales y b) Escherichia coli por puntos de monitoreo de vertimiento de aguas residuales (R) y puntos de monitoreo de aguas superficiales (C). ....	86

Figura 22. Perfil de cargas de DBO5 en la zona media y baja de la quebrada Miraflores. 92

Figura 23. Perfil de cargas de DQO en la zona media y baja de la quebrada Miraflores.. 93

Figura 24. Perfil de cargas de SST en la zona media y baja de la quebrada Miraflores... 94

## **Lista de anexos**

Anexo 1. Formato de registro de datos en campo y laboratorio .....	108
Anexo 2. Formato toma de muestras .....	109
Anexo 3. Formato de registro de caudal en campo .....	110

# 1. Introducción

En nuestro país la inadecuada recolección, tratamiento y disposición de aguas residuales, ha traído consigo grandes consecuencias que ponen en riesgo la salud de los habitantes, dificultan la recuperación de los ríos y quebradas, disminuyen la productividad y aumentan los costos de tratamiento del recurso hídrico. La contaminación por vertimientos de aguas residuales se pueden clasificar según la naturaleza de sus fuentes en contaminación puntual y contaminación no puntual. La contaminación no puntual implica contaminación de fuentes dispersas que no se pueden identificar con precisión, como la escorrentía de actividades agrícolas o mineras, la filtración de fosas sépticas o campos de drenaje de aguas residuales. La contaminación puntual implica contaminación de una sola fuente concentrada que puede identificarse, como una tubería de descarga de una fábrica o de un alcantarillado.

La contaminación con vertimientos de tipo domésticos e industriales son responsables de aumentar la presencia en calidad y cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos en los cuerpos de agua receptores (Jiménez y Rose, 2008) puesto que afectan la calidad del agua al alterar sus características naturales, como la temperatura, el oxígeno disuelto, los compuestos orgánicos y el pH (Marsaleka *et al.*, 2008). La variación en la calidad del agua altera el equilibrio ecológico, hace que el agua contaminada sea inadecuada para el uso doméstico por parte de las comunidades rurales y amenaza la salud humana.

La quebrada Miraflores, no ha sido ajena a estos problemas de contaminación debido a que se ha convertido en el principal receptor de aguas residuales de tipo domésticas e industrial a lo largo su cauce. El objetivo de este estudio fue evaluar el estado actual de la calidad del agua de la quebrada Miraflores, afectada por los vertimientos de aguas residuales de la zona urbana y rural de la ciudad de Pasto en el departamento de Nariño, por medio del cálculo del Índice de Calidad del Agua "ICA", aplicado a los tramos evaluados de la quebrada, permitiendo conocer los puntos con mayores niveles de contaminación.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar la calidad del agua por vertimientos de aguas residuales en la zona media y baja de la quebrada Miraflores del municipio de San Juan de Pasto.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar los parámetros de calidad del agua en las principales estaciones de vertimientos de aguas residuales en la zona media y baja de la quebrada Miraflores.
- Realizar un diagnóstico sobre el estado de contaminación de la quebrada Miraflores en la zona media y baja, a partir de la carga contaminante transportada en las principales estaciones de vertimientos de aguas residuales.
- Calcular el índice de calidad del agua de acuerdo con las variables fisicoquímicas estudiadas.

### 3. Planteamiento del problema

El estado de los recursos hídricos del mundo está directamente relacionado con las aguas residuales: la disponibilidad de agua y la calidad del agua. El aumento en los vertimientos de aguas residuales sin tratar, junto con la escorrentía de tierras agrícolas contaminadas con plaguicidas y fertilizantes y las aguas residuales industriales con tratamiento inadecuado, han llevado al deterioro de la calidad de las fuentes de agua donde han sido inadecuadamente dispuestos estos vertimientos. De acuerdo con informe del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2018) las fuentes hídricas que abastecen de agua a los municipios de Colombia presentan distintos grados de contaminación, principalmente por los factores antes mencionados.

Uno de los municipios afectados por esta situación es San Juan de Pasto, el cual, en la última década, ha incrementado la población en zonas urbanas y rurales en un 12,4 % y 1,2 % respectivamente (datos obtenidos por TerriData del DNP) por ende la presión sobre los recursos naturales, la dotación de vivienda y la prestación de servicios. Esto ha intensificado las problemáticas ambientales, entre las que se destaca, la contaminación de quebradas y ríos generada por la descarga de las aguas residuales no tratadas.

La quebrada Miraflores, nace de la desembocadura o desagüe de la Laguna Negra del Volcán Galeras y es el afluente principal del río Pasto. Según un estudio realizado en el año 2011 por la Corporación Autónoma Regional de Nariño Corponariño, en la zona alta, el uso del suelo es exclusivamente de protección y conservación por lo tanto está prohibido el desarrollo de cualquier actividad de carácter antrópico que genere un desequilibrio o impacto negativo sobre los ecosistemas protegidos. La destinación del uso está encaminada al cumplimiento de los objetivos estipulados por Parques Nacionales (CORPONARIÑO, 2011).

Los suelos que limitan con el santuario de flora y fauna del volcán Galeras y que no están dentro del área protegida, son dedicados al cultivo de pastos naturales para el pastoreo y cría de ganado, así como para la producción agrícola de tipo minifundista predominando cultivos de papa, cebolla, hortalizas y otros productos de clima frío destinados para su comercialización en la ciudad de Pasto y a nivel nacional; así como también para el autoconsumo (Alcaldía de Pasto, 2014).

En la zona media de la quebrada Miraflores se concentra la mayor población del corregimiento de Catambuco repartida en las veredas Chaves (400 hab.), Bella Vista (600 hab.), Cubijan Bajo (400 hab.), Cubijan Alto (600 hab.), La Merced (300 hab.), La



Victoria (400 hab.), Rio Bobo (800 hab.), San Isidro (400 hab.), Guadalupe (400 hab.), Santa María (500 hab.), San José (400 hab.), Botanilla (1200 hab.), Botana (1000 hab.) y el Centro Poblado del Corregimiento con 9700 habitantes (Alcaldía de Pasto, 2014). Cabe resaltar que en la parte industrial y comercial se destacan empresas como “Bavaria” que cuenta con un centro de acopio y distribución de bebidas, “Concentrados del Sur” que produce alimentos para animales, “Lácteos Andinos” que produce derivados lácteos y pequeñas industrias de tipo artesanal que elaboran quesos. También existen empresas o instituciones prestadoras de servicios como las estaciones de servicio de combustible y lavaderos de autos, establecimientos de alojamiento temporal o moteles, Horno Crematorio Cristo Rey, la Granja Experimental Botana de la Universidad de Nariño, etc.; encontrando que la gran mayoría de estos establecimientos no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales siendo la principal receptora de ellas, la quebrada Miraflores.

Según estudios realizados por Corponariño, indican gran parte de las viviendas que se encuentran en la parte media de la quebrada Miraflores realizan un vertimiento inadecuado de las aguas residuales, causando problemas de contaminación a las fuentes hídricas tanto subterráneas como superficiales. La gran mayoría de la población en esta zona, son campesinos que, a pesar de la cercanía con la ciudad, continúan con sus labores tradicionales en el campo siendo sus principales actividades económicas la agricultura, en un menor grado la ganadería, cría y engorde de cerdos, gallinas, cuyes, conejos, actividades que todavía se realizan de manera artesanal (CORPONARIÑO, 2011).

En la zona baja, el uso de suelo se presenta en la vereda Chávez cuyos habitantes practican la agricultura para su autoconsumo. Existen industrias como lo es la “Planta de Sacrificio Avícola Pollos al Día”. Además, se encuentran suelos desnudos utilizados para la extracción y explotación de materiales para la construcción. En esta zona se encuentran minas de explotación de arena blanca y negra como “Cominagro” y “Mina Armenia 2000”.

En el casco urbano del municipio de Pasto predomina la vivienda. En este sector la quebrada Miraflores atraviesa la ciudad de sur a oriente hasta su desembocadura al río Pasto, lo cual se ha detectado que el grado de contaminación aguas arriba es muy alta, con aportes de cargas contaminantes de  $DBO_5$  y DQO del centro poblado del corregimiento de Catambuco de 266,5 kg/día y 688,5 kg/día respectivamente, afectando considerablemente el río Pasto y por ende a los habitantes de la ciudad. (CORPONARIÑO, 2011).

En este orden de ideas, se reconoce la importancia de evaluar la situación actual de esta fuente hídrica a nivel ambiental, donde se identifique la intervención antrópica en esta quebrada, y se determine el nivel de impacto que las mismas generan en las propiedades

fisicoquímicas y microbiológicas de la quebrada Miraflores; y cómo estas determinan el uso y potencial de este recurso. Cabe resaltar que en el desarrollo de la investigación se contó con la financiación de la Empresa de Obras Sanitarias de Pasto EMPOPASTO S.A E.S.P.

### **3.1. Pregunta de investigación**

Teniendo en cuenta las diferentes situaciones que se pueden encontrar en la quebrada y su zona de influencia, para el desarrollo de la investigación, se formula la siguiente pregunta: ¿Cuál es el impacto que causan los vertimientos de aguas residuales en la variación de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua de la quebrada Miraflores asociada a la zona urbana y rural del municipio de San Juan de Pasto?

### **3.2. Hipótesis**

De acuerdo con la pregunta de investigación se realiza la siguiente hipótesis:

- El deterioro de la calidad del agua en la zona media y baja de la quebrada Miraflores se debe a los vertimientos de aguas residuales de viviendas, establos, industrias, servicios y actividades agropecuarias desarrolladas a lo largo del cauce.

## 4. Justificación

La mayoría de las actividades humanas que utilizan agua, generan aguas residuales. A medida que crece la demanda global de agua, el volumen de aguas residuales generadas y su nivel de contaminación se encuentran en constante aumento en todo el mundo. En todos los países, excepto los más desarrollados, la mayor parte de las aguas residuales se vierten directamente al medio ambiente sin un tratamiento adecuado. Esto tiene repercusiones negativas en la salud humana, la productividad económica, la calidad de los recursos de agua dulce ambiental y los ecosistemas.

Según el Informe Mundial sobre Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017 se demuestra que una mejor gestión de las aguas residuales implica no solo la reducción de la contaminación en las fuentes, sino también la eliminación de contaminantes de los flujos de aguas residuales, la reutilización de las aguas regeneradas y la recuperación de los subproductos útiles. Conjuntamente, estas cuatro acciones generan beneficios sociales, ambientales y económicos para toda la sociedad, contribuyendo así al bienestar y a la salud, a la seguridad del agua y la alimentaria y al desarrollo sostenible.

La problemática de las aguas residuales cada día en Colombia está dejando más ríos, quebradas y cuerpos de agua contaminados; según el Banco Interamericano de Desarrollo y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2018), solamente el 36% de las aguas residuales en Colombia recibieron tratamientos. Por lo anterior, es importante conservar las bocatomas de agua hacia arriba, los ríos, las cuencas y los páramos.

La ciudad de Pasto se encuentra dentro de ese gran porcentaje que no cuenta con ningún tratamiento previo de las aguas residuales, pese a ser un recurso abundante en la región, el agua es un recurso sobre el cual se ejerce una amplia demanda. Considerando que en la zona rural de la ciudad se desarrollan fundamentalmente las actividades agrícolas y ganaderas, el fenómeno de contaminación de las fuentes de agua tiene su punto más álgido en el vertimiento inadecuado de los residuos de las viviendas.

A nivel social y ambiental, esta investigación aportará al conocimiento sobre la evaluación del impacto que causan los vertimientos de aguas residuales en la variación de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua de una de las quebradas más importantes de la región, como lo es la quebrada Miraflores. Para ello, es primordial la realización de una evaluación de la calidad del agua mediante variables fisicoquímicas y microbiológicas en diferentes puntos estratégicos de monitoreo de la quebrada, para

conocer su grado de contaminación en la zona media y baja de la quebrada por vertimientos de aguas residuales previamente identificados y monitoreados; así, se evaluarán tendencias temporales de la calidad del recurso, que permitan ser un soporte para una adecuada planificación de los diferentes usos del recurso hídrico y del suelo (consumo humano y doméstico, agrícola, pecuario, recreativo y preservación de flora y fauna) y a la vez incentive la actuación de las autoridades ambientales para el control en pro de la conservación del recurso hídrico; al igual que la participación de la comunidad para garantizar la conservación del medio ambiente y el equilibrio que debe existir entre el factor ambiental, social y económico; promoviendo el cumplimiento de la Constitución Política de 1991, como en la ley 99 de 1993 que dicta los parámetros para la protección del medio ambiente.

Igualmente se espera que los resultados obtenidos en esta investigación apoyen los requerimientos de la Empresa de Obras Sanitarias de Pasto EMPOPASTO S.A E.S.P., en cuanto a la necesidad de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en la zona urbana de la ciudad. De esta manera se contribuirá a la línea de investigación de Biosistemas Integrados de la Universidad de Manizales, favoreciendo la experiencia investigadora en la formación de una magister.

## 5. Marco conceptual

### 5.1. Antecedentes investigativos

Estudios realizados por Corponariño, han demostrado que la quebrada Miraflores en su cauce principal y principales afluentes presenta una intervención antrópica por la explotación comercial e industrial de diferentes usuarios generadores de vertimientos, que descargan sus efluentes sobre este cuerpo hídrico. Aunque la mayoría de estos usuarios cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales que contribuyen de alguna manera a la minimización de la carga contaminante generada en los procesos productivos, la quebrada Miraflores presenta en la zona media y baja un alto nivel de contaminación. En el caso de la reglamentación de recurso hídrico es necesario optimizar los sistemas de tratamiento actuales de tal forma que los tratamientos mejorados permitan recuperar los usos del agua en cada tramo del cauce principal (Corponariño, 2017).

La expansión industrial presente en el municipio de Pasto ha dificultado la implementación de procesos para la recuperación ambiental de la quebrada Miraflores, impidiendo una intervención efectiva si se tiene en cuenta que la situación actual de contaminación es crítica. Según el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (POHR) realizado por la corporación (Corponariño, 2011), la quebrada Miraflores refleja graves afectaciones a la calidad de los cuerpos de agua, por tal motivo es necesario por medio de la normatividad realizar un control más estricto sobre la calidad del agua que propenda por una recuperación en el corto plazo.

El municipio de Pasto soporta su base económica en dos sectores económicos principalmente: (i) el industrial, lo cual se ve representado por empresas de lácteos, de minería, moteles, etc.; y (ii) el sector agropecuario, que representa un porcentaje muy alto en las comunidades aledañas a la quebrada Miraflores, lo cual ha generado problemáticas ambientales graves debido al vertimiento de aguas residuales con concentraciones altas de componentes químicos sobre la fuente, y que son vertidas a la quebrada afectando la calidad del agua sobre el 70% del total de la longitud del cauce ya que las descargas se producen sobre la parte media y baja de la microcuenca (Corponariño, 2011) .

Con base en la carga contaminante vertida por los usuarios, se indica que el mayor aporte proviene del sector doméstico; por tanto, se deben canalizar y aunar esfuerzos para reducir considerablemente las cargas contaminantes generadas por este sector, en el cual se generan exactamente 5.985 kg/día de DBO<sub>5</sub>, de los cuales 4.500 kg/día de DBO<sub>5</sub> son

producto de las descargas en el casco urbano del municipio de Pasto, 1.000 kg/día producto de las descargas de los centro poblados de Catambuco y Botanilla, donde las alternativas tecnológicas y medidas de reducción de contaminación no existen. Cabe resaltar que a esta situación se suma el vertimiento de las aguas residuales domiciliarias generadas por los corregimientos de Catambuco, Botanilla y dos emisarios principales del casco urbano del municipio de Pasto los cuales son los ubicados en Potrerillo y Emisario IDEMA, agravando la problemática tanto por la contaminación urbana como rural (Corponariño, 2017) .

Para la estimación del Índice de Calidad del Agua, los autores del PORH Miraflores usaron la metodología implementada por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales del Salvador donde se contemplan los estudios realizados por Brown (Brown, 1970) a través de una versión modificada del “WQI” (*Water Quality Index* o en español Índice de Calidad de Agua) que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU (NSF International, 2004); lo cual demuestran un escenario actual con bajas expectativas de cumplimiento de los usos potenciales destinados a cada tramo de la fuente hídrica.

Desde el primer punto de descarga de aguas residuales domésticas originada en el sector de Cubijan, Kilómetro 14 vía Panamericana Sur, el ICA presenta una clasificación considerada “mala” con un valor del ICA de 48,89; desencadenando una deficiente vida acuática que se refleja claramente en la afectación negativa de las condiciones normales de una fuente hídrica. A partir del primer punto de descarga hasta llegar aguas arriba del corregimiento de Catambuco, el ICA conserva la misma categorización con un valor de 45,72, infiriendo que se pierden totalmente las condiciones normales como recurso hídrico, inhibiendo el crecimiento de la vida acuática (Corponariño, 2017).

A nivel local, nacional e internacional, el desarrollar estudios y proyectos en el tema de la calidad del agua es de gran interés en el ordenamiento territorial de cada región puesto que ayuda a intervenir de manera sistémica los cuerpos de agua para garantizar las condiciones de calidad y cantidad requeridas en el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y en la definición de los usos actuales y potenciales de dichos cuerpos de agua. A continuación, se describen algunos estudios que se han realizado sobre vertimientos de aguas residuales a las fuentes hídricas:

(Zamora, 2013) realizó un estudio para evaluar el estado actual de la calidad del agua de la quebrada la Jaramilla a través de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en la zona urbana del municipio de la Tebaida departamento del Quindío. Para ello, se establecieron 6 puntos de muestreo ubicados en zonas estratégicas de alto valor ecosistémico, social y ambiental y se tomaron muestras para el análisis de calidad del agua.

Los resultados indican que la quebrada Jaramilla posee una composición típica de contaminación por aguas residuales domésticas debido a que las concentraciones de DBO y el grupo Coliforme reflejaron fuentes diferentes de contaminación por materia orgánica, así como el porcentaje de saturación de oxígeno indicó la respuesta o capacidad ambiental del sistema ante este tipo de polución, obteniéndose una concentración media a alta de contaminación, según el Índice de Contaminación por materia orgánica (ICOMO) en la zona de estudio.

En el trabajo elaborado por Hidalgo (2010), se realizó un diagnóstico de la contaminación por aguas residuales domésticas, cuenca baja de la quebrada la Macana, San Antonio de Prado, municipio de Medellín. Con el objetivo de evaluar la afectación del recurso hídrico por el vertimiento de las aguas residuales domésticas provenientes de descargas directas de los sistemas de tratamiento integrado. Durante el año 2009 se realizó un trabajo de investigación aplicada que incluyó la evaluación de la calidad del agua y la caracterización de los usuarios. Se hizo una toma de muestra en siete puntos para parámetros indicadores de la calidad (DBO<sub>5</sub>, DQO, coliformes totales, *E. coli*, grasas y aceites y sólidos suspendidos) y se realizaron entrevistas dirigidas donde se encontró que el 62% de la carga total proviene de las viviendas con tanque séptico y el restante 38% de las que realizan el vertido directo. La relación DBO/DQO mostró que en el tramo estudiado (300 m), la quebrada degradó el 80% de la carga contaminante debido a la alta capacidad de autodepuración de la corriente. El problema principal identificado de contaminación por aguas residuales domésticas fue por coliformes totales. Un análisis comparativo de los parámetros medidos en anteriores estudios realizados en la zona (2001, 2005 y 2007), mostró que la calidad del agua de la fuente receptora mejoró, lo cual se evidenció en la disminución de los valores observados especialmente en coliformes totales.

En el Estudio Nacional del Agua ENA realizado por el IDEAM (2018), evaluó la calidad del agua del país a partir del estado y la presión a las corrientes de agua a partir del Índice de Calidad del Agua (ICA) usando seis variables y con un análisis complementario con otras variables como oxígeno disuelto (OD), nutrientes nitrógeno Total (NT), fosforo total (PT,) y metales pesados. La presión que se hace a las corrientes de agua se evaluó a partir de del Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL), cargas contaminantes de materia orgánica (Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), y Demanda Química de Oxígeno (DQO)), solidos (Sólidos Suspendidos Totales (SST)) y nutrientes (Nitrógeno Total (NT) y Fosforo Total (PT)), vertimiento de mercurio al agua y al suelo, usos

de sustancias químicas en la transformación de coca y uso potencial de agroquímicos en la agricultura.

En este reporte se presentaron los resultados del Índice de Calidad del Agua, evaluados por su categoría de Bueno, Aceptable, Regular, Malo y Muy Malo. Se evaluarán las condiciones de calidad de ríos principales y afluentes de 134 puntos de la red básica nacional, más 67 de la campaña de la cuenca Magdalena – Cauca; cada una de las estaciones monitoreadas en las campañas IDEAM y convenio CORMAGDALENA 2016, representados en gráficas, desde la parte alta, hasta la parte baja en las corrientes Magdalena y Cauca. Se presentan las cargas generadas por el sector doméstico en 2016, comparado con los resultados de los dos estudios anteriores, las cargas generadas por la industria manufacturera en el mismo año, y el aporte en carga estimada vertida que hace cada uno de los sectores evaluados (doméstico, industrial y café).

Sobre la corriente del río Cauca se encuentran ubicadas 15 estaciones o puntos de monitoreo, mostrando las condiciones de calidad del agua, reflejadas a través del índice de calidad del agua, desde el punto de monitoreo Lomitas, que se encuentra a 2991 m.s.n.m. hasta el punto Desembocadura Río Cauca a 17 m.s.n.m. El comportamiento a lo largo de su recorrido varía entre condiciones de calidad categoría Aceptable y Regular, presentando condiciones de calidad Mala en las estaciones Julumito, Embalse Salvajina y Mediacanoa con valores altos en nutrientes y conductividad, ubicadas en la jurisdicción de los municipios de Popayán, Morales, Yotoco, respectivamente.

En la corriente del río Magdalena, se encuentran ubicadas 25 estaciones de monitoreo. La estación ubicada en la parte más alta se encuentra ubicada en jurisdicción del municipio de Gigante departamento del Huila y la última estación en la desembocadura del río, en la jurisdicción de la ciudad del Barranquilla Atlántico. Los resultados del indicador en los puntos de medición mostraron el comportamiento y condiciones de calidad del agua, desde el punto de monitoreo Paso del Colegio, altura 536 m.s.n.m., hasta el punto Las Flores a 8 m.s.n.m. Las condiciones de calidad a lo largo del recorrido de la corriente estuvieron en categoría Regular, a diferencia de la estación llamada “Después de río Carare” ubicada en la jurisdicción del municipio Puerto Parra departamento de Santander que muestra una categoría Mala, por alto contenido en sólidos y la estación llamada “Después de Girardot” ubicada en la jurisdicción del municipio de Girardot, con condiciones de calidad de agua Muy Mala, por aguas residuales domésticas, luego de la afluencia del río Bogotá.



En cuanto al aumento de la carga doméstica generada con respecto al 2016 se encontró en términos de materia orgánica (DBO) un aumento en 16 % con respecto a 2010. En 2016 se removió solo el 10% de la carga orgánica de DBO generada por el sector doméstico. En este estudio se encontró que los departamentos que más generaron carga doméstica en 2016 son: Bogotá D.C., Antioquía, Valle del Cauca y Atlántico. Por otro lado, se encontró que, del total de carga contaminante generada por la industria manufacturera el 90% corresponde a materia orgánica, representados por DBO y DQO, el 8% en sólidos suspendidos totales SST y el 2% en nutrientes, representado en NT y PT. Del total generado se trató de la carga de: DBO el 58%, DQO 59% y SST 67%; y los departamentos que más vertieron cargas contaminantes industriales fueron Bolívar, Valle del Cauca y Atlántico.

Del total vertido estimado para los tres sectores, el sector doméstico aporta la mayor carga de materia orgánica con el 50%, representada por la Demanda Biológica de Oxígeno, el 84% de Sólidos Suspendidos Totales y de Nutrientes con 76% de Nitrógeno total y 91% de fósforo total. En cuanto a materia orgánica representada por la Demanda Química de Oxígeno (DQO). El sector que más aporta es la industria manufacturera con el 57 % de carga vertida.

En cuanto al uso de plaguicidas en Colombia 2013 – 2016 según el ENA 2018, los departamentos con mayor reporte de plaguicidas fueron Cundinamarca con el 37,6%, Nariño con el 15,7% y Valle con el 14,1%. El de menor número de participantes y de reporte de plaguicidas fue Putumayo, Antioquia y Cauca con menos del 1% de participantes y del reporte de uso de plaguicidas. En el uso de plaguicidas por grupo químico, los departamentos que más usaron insecticidas organofosforados fueron los que reportaron el uso de estos tóxicos en campañas para el control de vectores como Vichada, Antioquia, Guaviare y Arauca con más del 50%, Cundinamarca y Nariño, son los departamentos que mayor participación muestran en el reporte con el 35% y 32% (respectivamente).

A nivel internacional, Ngwira y Lakudzala (2018) determinaron el impacto de la contaminación por vertimientos de aguas residuales en el río Nankhaka ubicado Malawi al sureste de África. Para ello se realizó una evaluación de la calidad de un efluente industrial de una empresa que fabrica refrescos Southern Bottlers (SOBO) en Lilongwe. Se analizaron diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tanto para los efluentes como para las muestras de agua superficial en puntos seleccionados en el río. Los resultados indicaron que los niveles de Sólidos en Suspensión (SS), Sólidos Disueltos Totales (SDT), fosfatos, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) presentaron concentraciones con valores en promedio de 111, 803, 4.61,

186 y 570 mg/L respectivamente, en las aguas residuales industriales SOBO; encontrándose por fuera de los límites recomendados por la norma de Malawi para los efluentes vertidos en aguas continentales. Sin embargo, los niveles de pH (8.29) y nitratos (0.031 mg/L) estuvieron dentro de los límites recomendados, mientras que los niveles de coliformes fecales (42,900 NMP/100 mL) y DO (2,50 mg/L) no se especificaron en la norma. Los resultados indicaron que el efluente de SOBO contamina el agua en el río, lo que la hace inadecuada para el consumo humano.

### **5.1.1. Aspectos generales del área de estudio**

La quebrada Miraflores tiene como afluente inicial la quebrada Piquisiqui la cual nace en la desembocadura o desagüe de La Laguna Negra ubicada a una elevación aproximadamente de 3.600 metros en el área protegida perteneciente al Santuario de Flora y Fauna Galeras administrado por Parques Nacionales, correspondiente al municipio de Tangua (Alcaldía de Pasto, 2014).

En sus primeros kilómetros, la quebrada Piquisiqui recibe en el sector de Cubijan Bajo a su principal afluente, la quebrada Hato Viejo lo cual aguas abajo se empieza a conocer con el nombre de quebrada Miraflores hasta su confluencia con el río Pasto. En la zona baja (sector urbano) la quebrada atraviesa el parque ambiental y recreativo “Chapalito” recorriendo algunos barrios de las comunas 2 y 5, el estadio Libertad, las Avenidas Las Lunas y Chile y finalmente el sector del hospital Departamental lo cual canaliza sus aguas mediante un Box Couvert hasta su desembocadura al río Pasto (Corponariño, 2017).

En la tabla 1 y en la figura 1, se presenta la contextualización hidrográfica de la subcuenca quebrada Miraflores de acuerdo con la zonificación y codificación de cuencas hidrográficas en el departamento de Nariño.

Tabla 1. Contextualización hidrográfica de la Microcuenca Quebrada Miraflores.

<b>Contextualización hidrográfica</b>	<b>Zonificación y codificación</b>
Región	Océano Pacífico
Zona Hidrográfica – Microcuenca	Orden 1: Río Patía 52
Subzona – Sobre cuenca	Orden 2: Río Juanambú 5204
Cuenca	Orden 3: Río Pasto 071
Subcuenca	Orden 4: Quebrada Miraflores 093

Microcuencas	Quebradas: Hato viejo, Aserradora, Cubijana, Turupamba, Catambuco, Botana, Guachucal.
Área (Ha)	7.264,7
Longitud cauce principal (Km)	18.80
Georeferenciación punto inicial cauce principal (desagüe Laguna Negra)	Norte: 621.879 Este: 970.427 Elevación: 3.477 m
Georeferenciación punto final cauce principal (desembocadura río Pasto)	Norte: 651.200 Este: 978.740 Elevación: 2.569 m

Fuente: (Corponariño, 2011)

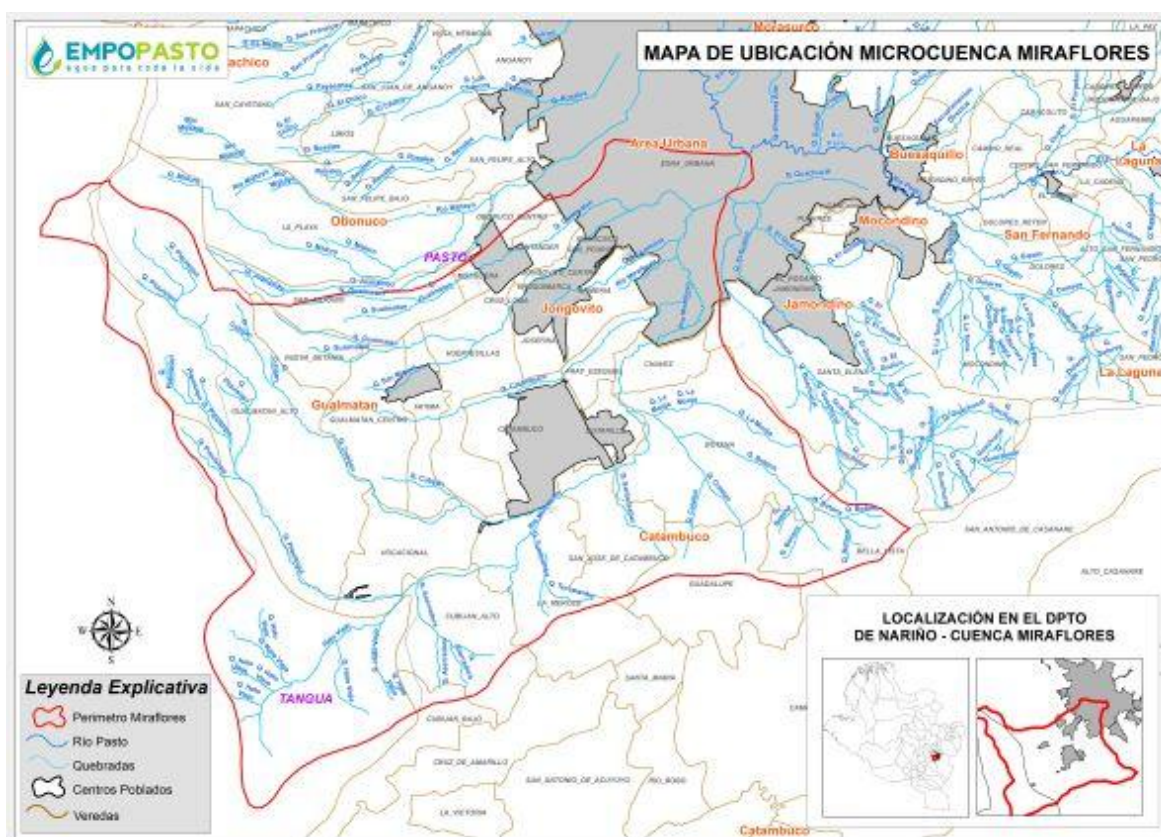


Figura 1. Localización general de la Microcuenca Quebrada Miraflores.

Fuente: SIG EMPOPASTO S.A E.S.P – 2019.

Las principales poblaciones o asentamientos humanos que son influenciados por el recorrido natural del cauce principal de la quebrada Miraflores se describen en la tabla 2.

Tabla 2. Poblaciones influenciadas por la quebrada Miraflores.

CAUCE PRINCIPAL	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA
ZONA ALTA (conocida como quebrada Piquisiqui)	Tangua	Nuevo Horizonte	Marqueza Alta
	Pasto	Catambuco	Cubijan Bajo Cubijan alto
ZONA MEDIA (conocida como quebrada Miraflores)	Pasto	Catambuco	La Merced San Jose Centro poblado: Corregimiento Botanilla
ZONA BAJA (conocida como quebrada Miraflores o Chapal)	Pasto	Catambuco	Chavez
		Pasto	Cabecera Municipal

Tomado de: (Corponariño, 2011)

## 5.2. Aguas residuales

“El concepto de aguas residuales es en sí mismo una contradicción. Una vez que el agua ha sido utilizada, cualquiera que sea el fin, no debería ser considerada algo «residual». En otros idiomas se la llama, en forma literal, «agua utilizada» (*eaux usées* en francés), «agua de desperdicio» (*wastewater* en inglés) o «agua tras su uso» (*abwasser* en alemán). Por ejemplo, las aguas residuales han sido definidas como «agua que ha sido utilizada y contiene materiales de desecho disueltos o suspendidos» (USEPA, s.f.a.), o «agua cuya calidad ha sido negativamente afectada por actividad antropogénica» (Culp et al., 1971).

Además, la expresión aguas residuales también ha sido equiparada con aguas negras, lo que implica que la definición se limita al agua usada (proveniente de fuentes domésticas, industriales o institucionales) arrastrada por la red de alcantarillado, excluyendo así la escorrentía no recolectada de los asentamientos urbanos y sistemas agrícolas. Sin embargo, como la escorrentía urbana y agrícola puede estar muy contaminada (y puede posiblemente mezclarse con otros cursos de aguas residuales), también es un elemento importante del ciclo de gestión de aguas residuales” (WWDR, 2017).

“Las aguas residuales se consideran como una combinación de uno o más de los siguientes: efluentes domésticos que consisten en aguas negras (excremento, orina y lodos fecales) y aguas grises (aguas servidas de lavado y baño); agua de establecimientos comerciales e instituciones, incluidos hospitales; efluentes industriales, aguas pluviales y otras escorrentías urbanas; y escorrentías agrícola, hortícola y acuícola” (Raschid-Sally y Jayakody, 2008, p.1).

Según el Plan Nacional de manejo de aguas residuales municipales en Colombia (2004), un estimativo del caudal de aguas residuales provenientes de centros urbanos se están arrojando a los cuerpos de agua: cerca de 67 metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ), donde Bogotá representa más del 15,3 %, Antioquia el 13 %, Valle del Cauca 9,87 % y los demás departamentos están por debajo del 5 %. Las corrientes de agua afectadas por la contaminación ocasionada por los vertimientos de aguas residuales generan condiciones en que se agota el oxígeno; se estima que aproximadamente 1.300 cuerpos de agua están siendo contaminados por los vertimientos municipales.

### **5.2.1. Aspectos técnicos del ciclo de gestión de aguas residuales**

“Las aguas residuales se componen, básicamente, de un 99% de agua y un 1% de sólidos disueltos, suspendidos o coloidales. El vertido de aguas residuales sin tratar o con tratamiento inadecuado puede tener consecuencias, las cuales se pueden clasificar en tres grupos de acuerdo con sus efectos: i) nocivos para la salud humana; ii) ambientalmente negativos; iii) repercusiones desfavorables para las actividades económicas" (WWAP, 2017).

En la gestión de aguas residuales es importante el control y la regulación de sus diversos flujos para su posterior tratamiento y disposición adecuada al medio ambiente. El ciclo de gestión de aguas residuales puede dividirse en cuatro fases (WWAP, 2017):

#### **5.2.1.1. Prevención o reducción de la contaminación en la fuente**

Se deberán priorizar siempre que sea posible, aquellos métodos de control de la contaminación hídrica que se centren en la prevención y minimización de las aguas residuales, en lugar de los sistemas de tratamientos en la etapa final. Estos métodos incluyen la prohibición o la fiscalización del uso de ciertos contaminantes para evitar o controlar su ingreso en los flujos de aguas residuales, ya sea por medios normativos, técnicos u otros.

Las medidas correctivas para la limpieza de los sitios y cursos de agua contaminados, son generalmente mucho más costosas que las medidas destinadas a evitar la contaminación en primer lugar. La vigilancia y presentación de informes sobre las descargas de contaminantes al medio ambiente y sobre la calidad del agua ambiental serán

fundamentales para lograr avances. Si no se realizan mediciones, no se puede identificar el problema y no se puede evaluar la eficacia de las políticas (WWAP, 2017).

#### *5.2.1.2. Recolección y tratamiento de aguas residuales*

Las redes centralizadas de eliminación de desechos por flujos de agua siguen siendo el método más común de saneamiento y evacuación de las aguas residuales de origen doméstico, comercial e industrial. En el mundo, cerca del 60% de las personas están conectadas a un sistema de alcantarillado (si bien solo un pequeño porcentaje del total de aguas residuales recolectadas recibe tratamiento). Otros sistemas de saneamiento, como los sistemas *in situ*, son más apropiados para las zonas rurales y aquellas con baja densidad de población, pero pueden resultar costosos y difíciles de gestionar en las zonas urbanas densamente pobladas.

En muchos países, los sistemas de tratamiento de aguas residuales centralizados a gran escala ya no serían la opción más viable para la gestión de aguas urbanas. Se ha observado una creciente tendencia a contar con sistemas de tratamiento de aguas residuales descentralizados, que atienden establecimientos individuales o pequeños grupos de establecimientos. Estos sistemas permiten la recuperación de nutrientes y energía, el ahorro de agua dulce y garantizan el acceso al agua en tiempos de escasez. Se estima que éstos tienen un costo de instalación que representa entre un 20 y 50% el valor de las plantas de tratamiento convencionales, y los costos operativos y de mantenimiento son aún más bajos (entre un 5 a 25% del valor de las plantas de tratamiento de lodos activados convencionales) (Von Sperling, 2007).

Los ecosistemas pueden resultar efectivos como servicios económicos de tratamiento de aguas residuales, siempre que se trate de ecosistemas sanos, la carga (y los tipos) de contaminantes presentes en los efluentes se regule sin exceder la capacidad de asimilación de contaminación del ecosistema (WWAP, 2017).

#### *5.2.1.3. La utilización de aguas residuales como fuente alternativa de agua*

Por muchos siglos se han utilizado aguas residuales sin tratar o diluidas para el riego y en los últimos años se ha desarrollado activamente como respuesta frente al aumento de la demanda de agua, a la escasez de los recursos hídricos, al deterioro de la calidad de las

aguas superficiales y subterráneas, a la preocupación por reducir los riesgos sanitarios causados por los vertidos de aguas residuales tratadas y sin tratar.

Las aguas regeneradas sirven como un suministro de agua sostenible y confiable para la industria y las municipalidades, especialmente porque que cada vez más ciudades dependen de suministros lejanos y/o fuentes de agua alternativas para satisfacer la creciente demanda. En general, la reutilización de agua es más viable desde el punto de vista económico si el punto de reutilización se encuentra cerca del punto de producción; es por ello que el uso planificado de aguas residuales tratadas ya sea completa o parcialmente, puede incrementar la eficiencia del recurso y generar beneficios para los ecosistemas al reducir las extracciones de agua dulce y reciclar y reutilizar los nutrientes, permitiendo así el desarrollo de la industria y otros ecosistemas acuáticos gracias a la reducción de la contaminación del agua y la recarga de acuíferos agotados (WWAP, 2017).

#### 5.2.1.4. *La recuperación de subproductos útiles*

El vasto potencial de las aguas residuales como fuente de recursos, como energía y nutrientes, sigue siendo poco explotado. Se puede recuperar energía, por ejemplo, para la generación de energía eléctrica, calefacción y refrigeración. Hoy en día existen las tecnologías que hacen posible la recuperación de energía *in situ* mediante procesos de tratamiento de lodos/biosólidos integrados en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Esto les permite pasar de ser grandes usuarios de energía a la neutralidad energética o, incluso, transformarse en productores netos de energía.

La recuperación energética también puede ayudar a las instalaciones a reducir tanto costos operativos como su huella de carbono, lo cual permitiría mayores fuentes de ingresos mediante créditos de carbono y programas de comercio de emisiones de carbono. La recuperación combinada de nutrientes y energía también tiene gran potencial. La recuperación energética *ex situ* comprende la incineración de lodos en plantas centralizadas mediante procesos de tratamiento térmico. Se registran avances en la creación de nuevas tecnologías para la recuperación de nitrógeno y fósforo de las aguas residuales o lodos. La recuperación de fósforo en instalaciones *in situ* como fosas sépticas y letrinas es posible tanto desde el punto de vista técnico como económico mediante la transformación de los residuos sépticos en fertilizante orgánico u orgánico-mineral (WWAP, 2017).

Por otra parte, los lodos fecales que son es el término general para los lodos primarios (o parcialmente digeridos) o los sólidos que resultan del almacenamiento de aguas negras o excrementos, presentan un riesgo de contaminación química relativamente menor en comparación con los biosólidos de las aguas residuales. Últimamente, la recolección y utilización de orina es un elemento de la gestión ecológica de aguas residuales de carácter importante, ya que ésta contiene el 88% de nitrógeno y el 66% del fósforo que se encuentran en los desechos humanos, ambos componentes esenciales para el crecimiento de las plantas. La composición de los lodos fecales varía significativamente dependiendo de la ubicación, del contenido de agua, y del almacenamiento. Por ejemplo, el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) puede oscilar entre 300 y 3.000 mg/L mientras que los huevos de helmintos pueden llegar a los 60.000 huevos/L (Alianza por el Agua, 2018). Como se prevé que en las próximas décadas los recursos minerales de fósforo sean escasos o incluso se agoten, una alternativa realista y viable sería la posibilidad de recuperarlo en las aguas residuales.

Durante la gestión del ciclo integral del agua, las aguas residuales son un componente crítico que debe ser tomada en cuenta durante todos los procesos, que abarca desde la captación de agua dulce (en las bocatomas), el tratamiento, la distribución, el uso, la recolección y el tratamiento posterior hasta su reutilización y retorno final al medio ambiente, con el fin de que la fuente se reponga para las subsiguientes captaciones de agua; cabe resaltar que en la gran mayoría de países en el mundo no se reconoce la importancia de las aguas residuales por tal motivo, la mayoría de las veces, la atención que se da a la gestión del agua después de su uso es pasado por alto.

### **5.2.2. Disponibilidad del agua**

Existen diferentes enfoques para abordar la disponibilidad de agua, que puede ser través de la gestión de la demanda, la mejora de la calidad del agua y la reutilización de las aguas residuales. La disponibilidad de agua (particularmente la escasez) está influenciada por la calidad del agua, puesto que si se mejora su calidad permite su reutilización.

Una de las herramientas que se usan para incrementar la disponibilidad del agua es el uso de forma segura de las aguas residuales tratadas, que se contempla como elemento fundamental en la planificación de la gestión de recursos hídricos. Un ejemplo de esto es una experiencia ocurrida en los Estados árabes, donde en el año 2013 se trataron el 71 % de las aguas residuales recolectadas y de este porcentaje un 21% se usa para actividades



de riego y recarga de acuíferos. La gestión integrada de los recursos hídricos y los planteamientos de nexos que contemplen los vínculos entre el agua, la energía, los alimentos y el cambio climático permiten crear un marco para analizar las alternativas posibles para lograr una mejor recolección, transferencia, tratamiento y uso de las aguas residuales desde una perspectiva de seguridad hídrica (IDEAM, 2015).

Las aguas superficiales y subterráneas se recargan de manera natural como consecuencia de la diferencia existente entre entradas de agua al suelo y salidas que corresponden a las etapas del ciclo continuo de evaporación, precipitación y escorrentía. La recarga natural en climas templados húmedos puede suponer de un 30 a un 50% de la precipitación, entre un 10 y 20% en el clima Mediterráneo y en climas secos no pasa de un 2% e incluso puede llegar a ser nulo (Irastortza, Saaltink, & Ramírez, 2009).

Estudios recientes indican que durante las dos últimas décadas se ha evidenciado un aumento de la escasez de agua a nivel mundial, en el que dos tercios de la población mundial vive actualmente en zonas con escasez de agua durante al menos un mes al año y de las cuales alrededor del 50% de las personas que enfrentan esta problemática, viven en China e India. Por lo anterior, se prevé que la demanda de agua a nivel mundial aumente considerablemente en las próximas décadas, puesto que se ha incrementado la necesidad de agua en el sector agrícola, que actualmente es responsable del 70% de las captaciones de agua en todo el mundo, como también se prevén grandes aumentos para la industria y la producción de energía (WWAP, 2015). Por lo tanto, no debe sorprender que el Foro Económico Mundial (WEF) haya evaluado consecutivamente la crisis del agua como uno de los principales riesgos mundiales en los últimos cinco años. En 2016 se determinó que la crisis del agua será el riesgo mundial más preocupante para las personas y las economías en los próximos diez años (WEF, 2015–2016).

### **5.2.3. Calidad del agua**

La calidad del agua es un término utilizado para describir las características químicas, físicas y biológicas del agua. Las observaciones de estas características son cruciales para dar un concepto general del estado de un cuerpo de agua. Desde un punto de vista integral, definir la calidad del agua significa ir más allá de sus atributos fisicoquímicos o biológicos; implica tomar en cuenta el contexto ecológico, así como los usos y valores que la sociedad les otorga (Hart et al., 1999).

El uso del agua es indispensable para satisfacer las necesidades crecientes en el mundo como lo son los procesos de producción industrial, remoción de desechos, en la generación de energía eléctrica, para riego; pero, sobre todo resulta crucial para la salud humana y fundamental para el soporte de los ecosistemas naturales. Al ofrecer múltiples usos, su aprovechamiento debe ser integral considerando su calidad (Matsuura, 2003). Aunque el acceso al agua de calidad es un derecho humano básico, esto no se cumple por igual en todos los países e incluso en las regiones de un mismo país debido a que existen numerosos aspectos que afectan de manera imprescindible el ciclo del agua entre los cuales se encuentran: las variaciones de las condiciones climáticas por causa del calentamiento global, la alteración de los sistemas acuáticos debido al inadecuado uso del suelo, contaminación con compuestos difíciles de tratar debido a su naturaleza química de sustancias presentes en desperdicios que caen a las corrientes, la creciente demanda de alimentos, la falta de sistemas de tratamiento de aguas residuales de tipo domésticas e industriales etc. Todo lo anterior afecta directamente la calidad del agua y por ende también la disponibilidad de agua dulce en cada territorio, por tal motivo, uno de los más grandes retos en la actualidad consiste en una adecuada distribución según la calidad del agua tanto para los sistemas naturales como artificiales.

Por lo anterior, es claro que la calidad del agua se altera en diferente grado, según sea su uso, por tanto, resulta indispensable evaluarla. El tratamiento de los datos obtenidos usualmente es una tarea dispendiosa y en muchas ocasiones de difícil entendimiento para los diferentes actores involucrados en el proceso de la valoración de la calidad, pues en la actualidad los valores obtenidos deben permitir resolver diferentes tipos de conflictos como el uso del agua y la integridad ecológica de los sistemas acuáticos, los cuales involucran también aspectos socioeconómicos (Fernández y Solano, 2005).

Las medidas de calidad de agua se clasifican de diferentes maneras y en la mayoría de los casos como características físicas, químicas y microbiológicas. Para diagnosticar una alteración de la calidad del agua se requieren mediciones específicas de una sola característica como, por ejemplo: los compuestos de nitrógeno o de fósforo, los metales pesados, los compuestos orgánicos tóxicos o un cierto grupo de bacterias, en relación directa con el uso previsto.

#### **5.2.4. Factores que determinan la calidad del agua**

Para conocer qué tan pura o qué tan contaminada está el agua es necesario medir ciertos parámetros de calidad del agua que están clasificados en físicos, químicos y microbiológicos. Para medir dichos parámetros las agencias internacionales que vigilan y estudian la calidad del agua han unificado los criterios y métodos para realizar los análisis del agua en el laboratorio puesto que existen muchos parámetros, formas y varios métodos para realizarlo. La publicación que recopila la metodología para este fin, es el “*Standard Methods for Water and Wastewater Examination*” (Ramirez, 2011).

#### 5.2.4.1. Aspectos físicos del agua

La calidad del agua se puede alterar por la presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua que pueden no ser tóxicas, pero cambian el aspecto del agua porque inciden en sus características físicas. Estas son llamadas así, porque se pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etcétera), y por ende inciden de forma directa sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua. Se consideran importantes las siguientes características:

- **Turbiedad:** es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, microorganismos, etcétera) que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que, por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado (Vargas, 2004). La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que hace que los rayos luminosos se dispersen y se absorban, en lugar de que se transmitan sin alteración a través de una muestra. No debe relacionarse la turbiedad con la concentración en peso de los sólidos en suspensión, pues el tamaño, la forma y el índice de refracción de las partículas, son factores que también afectan la dispersión de luz. El método nefelométrico se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas, con la intensidad de la luz dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. Cuanto mayor es la intensidad de la luz dispersada, más intensa es la turbiedad. El equipo empleado es un turbidímetro (nefelómetro), el cual ofrece la lectura directa de turbiedad en Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT) (Ramirez, 2011).

- Sólidos suspendidos: los sólidos suspendidos pueden ser de origen orgánico (animal o vegetal) e inorgánicos (minerales) que comúnmente pueden ser partículas como arcillas y limo con un tamaño por encima de 1.000 milimicrómetros, las cuales caen rápidamente cuando el agua se somete a reposo. Cuando los sólidos suspendidos forman sistemas coloidales (1 a 1.000 milimicrómetros), son las causantes de la turbiedad neta del agua. Los sólidos en suspensión desempeñan un papel importante como contaminantes debido a que los agentes patógenos son transportados en la superficie de dichas partículas. Por ello, cuanto menor sea el tamaño de la partícula, mayor será el área superficial por unidad de masa de la partícula, y por lo tanto, mayor será la carga patógena que puede ser transportada. La concentración de sólidos en suspensión es un valor utilizado como uno de los indicadores de la calidad del agua y se obtienen después de la evaporación de la muestra previamente filtrada. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*” American Water Works Association, Water Environment Federation, 2017).
- Color: el color en las aguas superficiales y subterráneas se debe principalmente a la presencia de materia orgánica natural, en particular materia húmica acuática. La materia húmica consiste en ácidos húmicos y fúlvicos que causan un color amarillo-marrón. Los ácidos húmicos dan un color más intenso, y la presencia de hierro intensifica el color a través de la formación de humatos férricos solubles. Las partículas en suspensión, en especial partículas coloidales de gran tamaño tales como arcillas, algas, hierro y óxidos de manganeso, dan una apariencia a aguas de color; que deben ser eliminadas antes de la medición. Las aguas residuales industriales pueden contener ligninas, taninos, colorantes, y otros productos químicos orgánicos e inorgánicos que causan color. Los materiales húmicos y el color causado por estos materiales se retiran de los suministros de agua potable por motivos de salud porque son precursores en la formación de subproductos de desinfección. El color también se elimina para hacer el agua adecuada para aplicaciones industriales (Edzwald, et al., 2011).

La expresión color debe considerar que define el concepto de “color verdadero”, esto es, el color del agua de la cual se ha eliminado la turbiedad. El término “color aparente” engloba no solo el color debido a sustancias disueltas sino también a las materias en suspensión y se determina en la muestra original sin

filtrarla o centrifugarla. Esta contribución puede resultar importante en algunas aguas residuales industriales, casos en que ambos colores deben ser determinados. El color puede determinarse por espectrofotometría o por comparación visual (APHA-AWWA-WEF, 2005).

- Olor y sabor: estas características constituyen el motivo principal de rechazo por parte del consumidor. En términos prácticos, la falta de olor puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes, tales como los compuestos fenólicos. Por otra parte, la presencia de olor a sulfuro de hidrógeno puede indicar una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua. Las sustancias generadoras de olor y sabor en aguas crudas pueden ser compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos y algas o provenir de descargas de desechos industriales. En el agua se pueden considerar cuatro sabores básicos: ácido, salado, dulce y amargo (Vargas, 2004).
- Temperatura: Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, debido a que influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, en la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, en la formación de depósitos, la desinfección y en los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente (Ocasio, 2008).
- pH: es un parámetro que mide la concentración de iones hidronio presentes en el agua y es la variable más importante a tener en cuenta en el tratamiento de potabilización del agua, puesto que la medición de pH es una de las pruebas más importantes y utilizadas con frecuencia en la química del agua. Prácticamente todas las fases de suministro de agua y tratamiento de aguas residuales como la neutralización ácido-base, precipitación, coagulación, desinfección y control de la corrosión, dependen del pH (Edzwald, et al., 2011).

#### 5.2.4.2. Aspectos químicos del agua

La alteración de la calidad del agua puede ser provocada por efectos naturales o por la actuación antrópica derivada de la actividad industrial, agropecuaria, doméstica o de cualquier otra índole. Cabe resaltar que el análisis de los parámetros

de calidad del agua se realiza a las aguas residuales, superficiales, etc., independientemente de su origen para conocer el grado de contaminación de los diferentes cuerpos de agua. Entre las características químicas se tienen:

- Oxígeno Disuelto (OD): es la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua y por tanto es esencial para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida aerobia. Las concentraciones de OD en aguas naturales dependen de las características fisicoquímicas y la actividad bioquímica de los organismos en los cuerpos de agua. El análisis del OD es clave en el control de la contaminación en las aguas naturales y en los procesos de tratamiento de las aguas residuales industriales o domésticas. (IDEAM, 2007). Los niveles de OD típicamente pueden variar de 0-18 mg/L, aunque la mayoría de los ríos y riachuelos requieren un mínimo de 6 mg/L para sostener la diversidad de vida acuática (Martínez, 2006).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo; además es una medida representativa de la contaminación orgánica de un efluente siendo un parámetro a controlar dentro de las distintas normativas de vertidos y que nos da una idea muy real del grado de toxicidad del vertido (IDEAM, 2007).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ): la oxidación microbiana o mineralización de la materia orgánica es una de las principales reacciones que ocurren en los cuerpos naturales de agua y constituye una de las demandas de oxígeno, ejercida por los microorganismos heterotróficos, que hay que cuantificar. Uno de los ensayos más importantes para determinar la concentración de la materia orgánica de aguas residuales es el ensayo de DBO a cinco días. Esencialmente, la DBO es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en un periodo de cinco días a 20°C. En aguas residuales domésticas, el valor de la DBO a cinco días representa en promedio un 65 a 70% del total de la materia orgánica oxidable. La DBO, como todo ensayo biológico, requiere cuidado especial en su realización, así como conocimiento de las características esenciales que deben cumplirse, con el fin de obtener valores

representativos confiables (IDEAM, 2007). Es claro que la reducción en la concentración de oxígeno disuelto está afectada por otros factores adicionales a la DBO<sub>5</sub> que se supone ingresa a la corriente, entre ellos la presencia de compuestos altamente oxidables, los procesos de nitrificación, la reoxigenación atmosférica (estrechamente relacionada con el caudal y la turbulencia), la fotosíntesis, la respiración animal y vegetal y la demanda béntica. En el análisis básico solamente se considera el efecto de la DBO<sub>5</sub>.

- Grasas y aceites: incluye un sinnúmero de compuestos orgánicos que son muy amplios en cuanto a la descripción física, química y toxicológica (USEPA, 1986). El método de extracción Soxhlet para la determinación de grasas y aceites es aplicable para determinar lípidos biológicos, hidrocarburos ya sea fracciones pesadas o relativamente polares del petróleo y cuando los niveles de grasas no volátiles pueden alterar el límite de solubilidad del solvente. El método es aplicable en aguas residuales o afluentes tratados que contengan estos materiales, aunque la complejidad de la muestra puede producir resultados desviados a causa de la falta de especificidad (IDEAM, 2007).
- Conductividad: es la expresión numérica de su capacidad para transportar una corriente eléctrica que depende de la presencia de iones en el agua, de su concentración total, de su movilidad, de su carga y de las concentraciones relativas, así como de la temperatura. El valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000 microSiemens/cm. Este valor podrá ajustarse según los promedios habituales y el mapa de riesgo de la zona. Un incremento de los valores habituales de la conductividad superior al 50 % en el agua de la fuente, indica un cambio sospechoso en la cantidad de sólidos disueltos y su procedencia debe ser investigada de inmediato por las autoridades sanitaria y ambiental competentes y la persona prestadora que suministra o distribuye agua para consumo humano (Sistema Único de Información de Servicios Públicos, 2007).
- Alcalinidad: la alcalinidad de una muestra de agua es su capacidad para reaccionar o neutralizar iones hidronio (H<sup>+</sup>) denominada acidez, por tanto, está influenciada por el pH. La alcalinidad puede considerarse también como la presencia en el agua de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos y en menor grado por los boratos,

fosfatos y silicatos, que puedan estar presentes en la muestra. (Approved by Estandar Methods Committe, 2011). Pese a lo anterior, en la mayoría de cuerpos de aguas naturales la alcalinidad se halla asociada al sistema carbonato, es decir, a los carbonatos y bicarbonatos presentes. En forma natural, el agua puede adquirir alcalinidad al disociarse el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en ella, el cual produce ion bicarbonato e ion carbonato. La proporción entre los componentes del sistema carbonato,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{=}$ , determinan el valor de pH.

- Fosfatos: los abonos inorgánicos están constituidos por diversas clases de fosfatos solubles, los más comunes de los cuales derivan de los aniones meta, piro y ortofosfato. Debido a su elevada solubilidad, estos aniones son arrastrados fácilmente por las aguas superficiales hacia ríos, acuíferos, etc. Otra fuente de fosfatos la constituyen los vertidos urbanos que contienen detergentes: para aumentar su eficacia, algunos detergentes utilizan fosfatos inorgánicos en su composición como agentes alcalinizadores (Harris, 2014).
- Nitratos: los nitratos constituyen uno de los nutrientes esenciales para muchos organismos autótrofos fotosintéticos y su presencia en el agua, puede ocasionar la eutricación de los ríos y lagos debido a que promueven el crecimiento desmedido de algunas especies vegetales, que cubren de un manto vegetal la superficie del agua, impidiendo de esta forma su oxigenación natural. Los nitratos son indicadores apropiados para analizar aguas residuales domésticas. El primero, es típico de las aguas residuales domésticas frescas y es muy móvil y estable en condiciones aeróbicas. El segundo es también típico de aguas residuales frescas, pero se evapora con facilidad y/o se absorbe fácilmente en el subsuelo (Gopal, 1990).
- El nitrógeno de nitritos, cuya determinación se realiza colorimétricamente, es relativamente inestable y fácilmente oxidable a nitratos. La concentración de nitritos raramente excede la cantidad de 1 mg/L en las aguas residuales y de 0,1 mg/L en el caso de las aguas superficiales y subterráneas (Kreitler, 1975). A pesar de que su presencia suele darse en concentraciones pequeñas, los nitritos tienen gran importancia en los estudios de aguas, dada su gran toxicidad para gran parte de la fauna piscícola y demás especies acuáticas. El nitrato es la forma más



oxidada del nitrógeno que se puede encontrar en el agua. Se forman en la descomposición de las sustancias orgánicas nitrogenadas, principalmente proteínas. Es importante considerar los nitratos en el tratamiento del agua porque en concentraciones mayores de 10 mg/L como N (45 mg/L como NO<sub>3</sub>), se ha comprobado que producen una enfermedad en los niños llamada metahemoglobinemia. Las concentraciones de nitrato en efluentes de aguas residuales pueden variar entre 0 y 20 mg/L. Cuando existen actividades antrópicas, las aguas superficiales pueden tener concentraciones hasta de 5 mg NO<sub>3</sub>/L, pero normalmente menores de 1 mg NO<sub>3</sub>/L. Concentraciones por encima de los 5 mg NO<sub>3</sub>/L usualmente indican contaminación, ya sea por desechos domésticos, de animales o la escorrentía. En lagos y embalses concentraciones de nitratos por encima de 0,2 mg NO<sub>3</sub>/L ya empiezan a generar problemas de eutrofización en el agua. En las aguas subterráneas se puede llegar a concentraciones de nitratos hasta de 500 mg NO<sub>3</sub>/L, especialmente en zonas agrícolas debido a la utilización de fertilizantes (García, 1994).

#### 5.2.4.3. Aspectos microbiológicos de las aguas residuales

En las aguas residuales se pueden encontrar diferentes microorganismos infecciosos que contaminan el agua entre los cuales se encuentran: bacterias, algas, hongos, protozoos, rotíferos y crustáceos; siendo el grupo de las bacterias patógenas las de principal interés para este estudio puesto que son agentes productores de toxinas que pueden estar presentes en aguas superficiales y pueden causar enfermedades graves en el hombre y en los animales entre los cuales se encuentran: los coliformes totales.

Los coliformes totales agrupan a los coliformes termotolerantes (fecales), la *Escherichia coli* (*E. coli*) y las bacterias heterotróficas mesófilas aerobias viables; que son utilizados como indicadores en la evaluación de la calidad microbiológica del agua de abastecimiento humano. Según Vargas (2004) los coliformes son bacterias que habitan en el intestino de los mamíferos y también se presentan como saprofitos en el ambiente, excepto la *E. coli*, que tiene origen intestinal. Los coliformes tienen todas las características requeridas para ser un buen indicador de contaminación. Este grupo de microorganismos pertenece a la familia de las enterobacteriáceas. Se caracterizan por su capacidad de fermentar la lactosa a 35-37 °C en un lapso de 24-48 horas y producir ácido y gas.

En aguas contaminadas las bacterias coliformes se hallan en densidades

proporcionales al grado de contaminación fecal, lo cual nos indica que pueden encontrarse otros patógenos y que dicha agua es insegura para el consumo humano; generalmente esta contaminación se debe a la evacuación sin control de aguas residuales y de vertimientos de tipo domésticos e industriales (Ahmed et al., 2010; Frenzel y Couvillion, 2002; Ahmed et al., 2006; Carroll et al., 2006).

### 5.2.5. Criterios de calidad por uso

A continuación se indica un resumen de estándares y criterios de calidad para uso del agua teniendo en cuenta la normatividad ambiental vigente que corresponde tanto para vertimientos como para aguas superficiales.

Tabla 3. Normatividad ambiental vigente de los vertimientos de aguas residuales y de las aguas superficiales de la quebrada Miraflores.

Parámetro	Vertimientos		Aguas Superficiales			
	Decreto 631/2015	POHR 2011 C1-C2-C3	POHR 2011 R1 a R5-C5-C5*	POHR 2011 R6-R7-R8	Decreto 1076 de 2015.	
					Consumo Humano	Riego y Agricultura no Restrictiva
pH (Unidades de pH)	6.00 – 9.00	4,5 - 9,00	5,00 - 9,00	4,5 - 9,00	6,5 - 8,5	4,5 - 9,00
Color Verdadero (UPC)	-	-	-	-	20	-
Turbiedad (UNT)	-	-	-	-	10	-
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	90	≤ 3	≤ 10	≤ 10	-	-
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	180	-	-	-	-	-
Oxígeno Disuelto (mg O <sub>2</sub> /L)	-	≥ 6	≥ 5	≥ 5	-	-
Aceites y Grasas (mg/L)	10	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	-
SST (mg SS/L)	90	≤ 5	≤ 15	≤ 40	-	-
Coliformes Totales (NMP /100 mL)	Análisis y Reporte	3000	5000	5000	1000	<1000
e. Coli (NMP /100 mL)	Análisis y Reporte	600	2000	2000	-	<5000
Nitratos (mg NO <sub>3</sub> /L)	Análisis y Reporte	-	-	-	10	-
Nitritos (mg NO <sub>2</sub> /L)	Análisis y Reporte	-	-	-	1	-
Fosfatos mg PO <sub>4</sub> /L	Análisis y Reporte	-	-	-	-	-
Sulfatos (mg SO <sub>4</sub> /L)	-	-	-	-	400	-
Hierro (mg Fe/L)	-	-	-	-	-	5

Fuente: La autora

–: La referencia no menciona el parámetro

Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico POHR CORPONARIÑO Quebrada Miraflores 2011

### **5.2.6. Índice de calidad del agua**

El índice de Calidad del Agua (ICA) es una de las herramientas aritméticas más efectivas para describir el estado fisicoquímico y microbiológico de las fuentes hídricas con el fin de conocer las tendencias integradas a cambios en la calidad y así crear una línea base para medir y evaluar la calidad del agua. El concepto del Índice de Calidad del Agua fue desarrollado y propuesto primero por Horton a mediados del siglo pasado, el primer investigador en sugerir las ventajas de calcular un ICA (Horton, 1965).

El ICA es una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros que sirven como expresión de la calidad del agua; el índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso un color el cual da indicios de los problemas de contaminación (Torres, 2014).

Este indicador tiene en cuenta una serie de factores ambientales a través de variables simples que permiten poder analizar lo que origina la contaminación en un cuerpo de agua, estas variables pueden ser: oxígeno disuelto, demanda química y bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, pH, entre otros, y características claves de la columna de agua como la temperatura. Sin embargo, el alcance de este indicador no es capaz de integrar la complejidad de los fenómenos naturales y la variabilidad climática de forma minuciosa y diferencial, impidiendo identificar de forma específica si el origen de los aportes a la muestra es natural o antrópico, aunque algunas veces puede inferirse intuitivamente el origen principal de dichos aportes (IDEAM, 2018).

Cabe resaltar que el índice de calidad del agua es una herramienta importante puesto que su cálculo involucra más de una variable (física-química y biológica) que ayudan a monitorear una fuente superficial y por ende resolver diferentes tipos de conflictos como el uso del agua, el suelo, etc., que involucran aspectos socio-ambientales de tal manera que el uso correcto de este indicador permite realizar una gestión adecuada en la planificación del recurso hídrico.

Los intentos para lograr construir un índice que permita calificar la calidad del agua tienen bastante historia. Existe información de que en Alemania en 1848 ya se realizaban algunos intentos por relacionar la presencia de organismos biológicos con la pureza del agua. En los últimos 130 años, varios países europeos han desarrollado y aplicado diferentes sistemas para clasificar la calidad de las aguas; sin embargo, el desarrollo de ICA basados en el empleo de valores numéricos para asignar una gradación de la calidad en un escala prácticamente continua son relativamente recientes.

Horton citado por Rodríguez et al., proponen el uso del ICA para estimar patrones o condiciones de contaminación acuática, y son pioneros en la generación de una metodología unificada para su cálculo; sin embargo, el desarrollo e implementación de un ICA de manera formal y demostrada lo hicieron Brown et al., con el apoyo de NSF, basándose en la estructura del índice de Horton y en el método Delphi para definir los parámetros, pesos ponderados, subíndices  $I_i$  y clasificación a ser empleados en el cálculo. La clasificación consideró las características que debe presentar la fuente de captación para su destinación para consumo humano (Behar R, Zuñiga M, and Rojas O, 1997). A pesar de haber sido desarrollado en Estados Unidos, es ampliamente empleado en el mundo y ha sido validado y/o adaptado en diferentes estudios.

Dinius (1987) planteó un ICA conformado por 12 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, el cual también se basó en el método Delphi, pero a diferencia del ICA-NSF, cuya clasificación está orientada a aguas a ser empleadas como fuente de captación para consumo humano, considera 5 usos del recurso: consumo humano, agricultura, pesca y vida acuática, industrial y recreación.

Los ICA más recientes, cuyo objetivo fundamental es la evaluación de la calidad del agua para consumo humano previo tratamiento, incluyen dentro de su estructura parámetros fisicoquímicos y microbiológicos directamente relacionados con el nivel de riesgo sanitario presente en el agua. Es por ello que Montoya y Contreras (1997) plantearon el ICA empleado como herramienta de indicación en el estudio sobre aguas superficiales del Estado de Jalisco-México, conformado por 18 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos agrupados en 4 categorías: cantidad de materia orgánica; materia bacteriológica presente; características físicas y materia orgánica. Este índice considera 9 usos, dentro de los cuales se destaca el abastecimiento público.

En Canadá, el Canadian Council of Ministers of the Environment desarrolló un ICA orientado inicialmente a la evaluación de la calidad ecológica de las aguas basado en la comparación de los valores de cada parámetro con un punto de referencia, el cual generalmente es obtenido de una norma o guía de calidad del agua (CCME 2005; F. Khan, T. Husain, and A. Lumb, 2003); dada su flexibilidad en los parámetros y el uso de directrices para protección de la vida acuática que emplea, el índice permite evaluar la calidad de las aguas destinadas a consumo humano.

En Brasil, la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental desarrolló e implementó el ICA de agua cruda para abastecimiento público – IAP como respuesta al aumento en la complejidad de los contaminantes vertidos a las fuentes de agua; su cálculo

se realiza mediante el producto de la ponderación de los resultados del índice de calidad de agua –IQA– y el índice de sustancias tóxicas –ISTO–, el primero adaptado a partir del ICA de NSF y el segundo desarrollado en el año 2002.

En el ámbito nacional y regional, se han desarrollado diferentes estudios orientados a desarrollar o adaptar ICA acordes con las características ambientales de algunas fuentes superficiales. Rojas adaptó el ICA-NSF a las condiciones específicas del río Cauca, reduciendo el número de parámetros que lo conforman con base en el análisis del comportamiento de éstos en el tiempo y en el espacio y modificando los pesos porcentuales asignados a cada parámetro de acuerdo con su nivel de importancia en la evaluación de la calidad del agua del río Cauca. Ramírez y Viña desarrollaron los índices de contaminación –ICO– a partir del análisis de componentes principales (ACP) aplicado a información fisicoquímica resultante de diferentes estudios limnológicos relacionados con la industria colombiana del petróleo; estos índices evalúan el nivel de contaminación del agua mediante la agrupación de variables fisicoquímicas que denotan la misma condición ambiental. Actualmente existen nueve ICO entre los cuales se destacan el ICO por materia orgánica –ICOMO–; el ICO por mineralización –ICOMI–; y el ICO por sólidos –ICOSUS–.

La estructura de cálculo de la mayoría de los ICA se basa en la normalización de los parámetros que los conforman de acuerdo con sus concentraciones, para su posterior ponderación en función de su importancia en la percepción general de la calidad agua; se calcula mediante la integración de las ponderaciones de los parámetros a través de diferentes funciones matemáticas (UNEP, 2007)

En España, Queralt en el año 1982 desarrolló el índice simplificado de calidad del agua (ISQA) para las cuencas de Cataluña, el cual se basó en 5 parámetros fisicoquímicos y planteó una clasificación de la calidad del agua para 6 usos específicos del recurso, entre los cuales se destaca el abastecimiento para consumo humano (Alianza por el agua, 2018)

En la tabla 4 se encuentran las ecuaciones de cálculo empleadas por para el cálculo del ICA. Se observa que los ICA-NSF e ICA-Dinius desarrollados en Estados Unidos y aquellos adaptados para ríos de Latinoamérica emplean para su cálculo el producto ponderado, comúnmente conocido como ecuación de tipo multiplicativo. La NSF sugiere el empleo de ecuaciones de tipo multiplicativo ya que son más sensibles que las ecuaciones de tipo aditivo o suma ponderada a valores extremos en los subíndices  $I_i$ , asociados generalmente con fuertes variaciones en la calidad del agua, evitando el fenómeno de eclipsamiento que se presenta cuando se calcula un valor satisfactorio aunque el subíndice no lo sea (Fernández N., and Solano F., 2008). Algunos de los ICA más recientes proponen

estructuras de cálculo orientadas a una evaluación más amplia de calidad del agua (variación en el tiempo y el espacio) como CCME-WQI y DWQI, en los cuales se evalúa para un periodo de tiempo determinado el número de parámetros que exceden un punto de referencia, el número de registros que superan este punto y la magnitud en que se supera esta referencia. Estos índices requieren información medida a lo largo de un periodo de tiempo, lo que puede ser favorable principalmente en fuentes con amplias variaciones de calidad en el tiempo. El UWQI de Europa emplea para una ecuación de tipo aditivo o suma ponderada que es menos sensible a variaciones extremas en la calidad del agua, condición que limita su uso en la evaluación de la calidad del agua en fuentes superficiales sometidas a cambios súbitos y extremos en sus características físicas, químicas y microbiológicas.

La asignación de pesos (ponderación) de cada parámetro tiene mucho que ver con la importancia de los usos pretendidos y la incidencia de cada variable en el índice N. (Fernández, A. Ramírez, and F. Solano, 2003). De acuerdo con Sacha y Espinoza (2001) en el caso de ICA aplicables a aguas superficiales pareciera que el mayor peso debiera ser otorgado a los parámetros OD, DBO, nitratos, sólidos suspendidos y coliformes totales. En el caso de ICA aplicables a fuentes de agua potable debiera otorgarse peso, además, al N-NO<sub>3</sub>, color, arsénico y boro. La tabla 5 presenta los pesos asignados a los parámetros que conforman los ICA, de acuerdo con el grado de importancia dentro de cada uno de éstos.

Los ICA mostrados en la tabla 5 son lo que emplean asignación de pesos (W) a cada uno de los parámetros que los conforman; los restantes emplean estructuras de cálculo que no requieren dicha asignación. Con relación al nivel de importancia de cada parámetro de acuerdo con el peso asignado, el oxígeno disuelto y los coliformes fecales tienen un alto grado de importancia, presentando en general los mayores pesos.

Tabla 4. Ecuaciones de cálculo empleadas por para el cálculo del ICA.

Grupo	Índice	Ecuación	Observaciones
1	ICA NSF (EU) ICA Dinius (EU) IQA CETESB (Brasil) ICA Rojas (Colombia) ICAUCA (Colombia)	$ICA_m = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i}$	Promedio geométrico ponderado: Wi: peso o porcentaje asignado al i-ésimo parámetro li: subíndice de i-ésimo parámetro.
2	CCME-WQI (Canadá) DWQI (EU)	$ICA = 100 - \left( \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$	El índice incorpora tres elementos: Alcance (F1): porcentaje de parámetros que exceden la norma. Frecuencia (F2): porcentaje de pruebas individuales de cada parámetro que excede la norma. Amplitud (F3): magnitud en la que excede la norma cada parámetro que no cumple
3	UWQI (Europa)	$UWQI = \sum_{i=1}^n W_i l_i$	Promedio aritmético ponderado: Wi: peso o porcentaje asignado al i-ésimo parámetro li: subíndice de i-ésimo parámetro
4	ISQA (España)	$ISQA = T (DQO + SS + OD + Cond)$	T: Temperatura DQO: Demanda Química de Oxígeno OD: Oxígeno Disuelto Cond: Conductividad SS: Sólidos suspendidos A partir de 2003 el ISQA se empezó a calcular reemplazando la DQO por el carbono orgánico total (COT en mg/l)
5	IAP (Brasil)	IAP = ISTO x IQA CETESB ISTO = ST x SO ST=Mín-1 (q1, q2, ..., qn) x Mín-2 (q1, q2,...,qn) SO=Media Aritmética (qa,qb,...,qn)	Donde: IQA: Índice de Calidad del Agua adaptado del ICA NSF para las condiciones de Brasil ISTO: Índice de Sustancias Tóxicas y Organolépticas ST: Ponderación de los dos subíndices mínimos más críticos del grupo de sustancias tóxicas SO: Ponderación obtenida a través de la media aritmética de los subíndices del grupo de sustancias organolépticas

Fuente: Torres P, (2009).

Tabla 5. Pesos relativos asignados a los parámetros que conforman los ICA.

País	Estados Unidos		Unión Europea	Colombia	
	Índice	ICA Dinius	UWQI	ICA Rojas	ICAUCA
Parámetro	NSF 1970	1987	2007	1991	2004
OD	0,17	0,109	0,114	0,25	0,21
pH	0,11	0,077	0,029	0,17	0,08
DBO	0,11	0,097	0,057	0,15	0,15
Nitratos	0,10	0,09	0,086		
Coliformes Fecales	0,16	0,116	0,086	0,21	0,16
Temperatura	0,10	0,077			
Turbiedad	0,08			0,11	0,07
Solidos Disueltos Totales	0,07			0,11	0,07
Fosforo Total					0,08
Cadmio					
Mercurio					
Conductividad		0,079			
Solidos Suspendidos					0,05
Color		0,063			0,05
Nitrógeno Total					0,08
Cloruros		0,074			
Arsénico			0,113		
Fluoruro			0,086		
Coliformes Totales		0,09	0,114		
DQO					
Alcalinidad		0,063	0,086		
Dureza		0,065	0,086		
Fosfatos	0,10				
Cianuro					
Selenio					

Fuente: Torres P, 2009

El valor del ICA permite clasificar el recurso a partir de rangos establecidos que son definidos considerando el o los usos a evaluar. Las categorías, esquemas o escalas de clasificación, son un punto de igual o mayor interés que el cálculo en sí del índice, pues es aquí donde finalmente el valor obtenido es transformado en una característica que define la calidad final del agua (Fernández N., and Solano F., 2008). A continuación, se presentan los rangos de clasificación para cada uno de los ICA presentados.



Tabla 6. Clasificación de los ICA.

Código	ICA				
	ICA NSF	ICA Dinius	UWQI	ICA Rojas	ICAUCA
1	Muy mala calidad	Inaceptable su consumo	Pobre	Muy Mala	Pésima
2	Mala calidad	Dudoso para consumo	Marginal	Inadecuada	Inadecuada
3	Mediana calidad	Tto. potabilización necesario	Regular	Aceptable	Aceptable
4	buena calidad	Dudoso consumo sin Tto.	Buena	Buena	Buena
5	Excelente calidad	Tto. menor requerido	Excelente	Óptima	Óptima
6	---	No requiere Tto. para consumo	---	---	---

Fuente: Torres P, 2009

### 5.2.7. Muestras representativas

El muestreo de cuerpos de aguas superficiales tales como ríos, lagos, embalses, es el momento más importante a tener en cuenta a la hora de efectuar su estudio, puesto que para que sea representativa y confiable (que arroje información que permita un análisis global del sistema), se requiere concentrar la recolección durante un intervalo de tiempo corto e intensivo en la zona del río que se desee estudiar. Durante la jornada es necesario medir el caudal del río, por tanto, los lugares de muestreo deben ser de fácil acceso en forma tal que las descargas correspondientes pueden ser aceptablemente estimadas. Otro aspecto importante a tener en cuenta es que existen ciertos parámetros que requieren su análisis de campo inmediato, tales como: pH, temperatura, carbonatos, conductividad y oxígeno disuelto (IDEAM, 2007).

### 5.2.8. Tipos de muestras

El muestreo de aguas residuales resulta más complejo que para agua potable, esto se debe a que, en las aguas residuales, la variación del flujo (cantidad) y la calidad del agua son mayores. Existen dos tipos de muestreo: simples o compuestos.

#### 5.2.8.1. Muestreo simple

Es aquel en que la muestra es tomada en un tiempo y lugar determinado, para su análisis individual, lo cual resulta apropiado cuando se desea caracterizar la calidad del agua en un momento dado (IDEAM, 2007).

### 5.2.8.2. *Muestreo compuesto*

Se refiere a una combinación de muestras simples o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos. La mayor parte de las muestras compuestas se emplean para observar concentraciones promedio. Para conformar una muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma, según como lo indica la siguiente ecuación (IDEAM, 2007).

$$V_i = V \times Q_i / n \times Q_p$$

Donde:

$V_i$  = volumen de cada alícuota o porción de muestra

$V$  = volumen total a componer (pueden ser 2 L)

$Q_i$  = caudal instantáneo de cada muestra

$Q_p$  = caudal promedio durante el muestreo

$n$  = número de muestras tomadas

### 5.2.9. *Normatividad ambiental en la gestión de aguas residuales*

En Colombia la legislación relacionada con este tipo de investigaciones se empieza a tratar bajo el marco según la Constitución Política de Colombia (1991), en la cual se establece fundamentos para alcanzar el desarrollo sostenible en el territorio nacional como: la planificación, el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración y sustitución. Además de prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental. Se destacan principalmente el Código de los Recursos Naturales (Decreto ley 2811 de 1974), el Decreto 1594 de 1984 y el Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento (RAS), los cuales han sido hasta ahora, el principal medio para controlar la contaminación de agua en el país. Adicionalmente se han implementado otros instrumentos regulatorios (Tasas retributivas), que contribuyen a minimizar los impactos de los vertimientos, regulación ambiental y sanitaria. A continuación se describen los estándares normativos que permiten de manera armónica, la correcta administración de todos los servicios que brinda el medio para el desarrollo del hombre, por ello la importancia de establecer normas que protejan los recursos naturales, pero que a su vez permitan el progreso de la humanidad.

#### *5.2.9.1. Decreto 2811 de 1974*

Se refiere al Código Nacional de los Recursos Naturales, el cual establece que el ambiente es patrimonio común, donde el Estado y los particulares deben participar para su preservación y manejo. Define que los recursos naturales renovables también son de utilidad pública e interés social (República de Colombia, 1974).

#### *5.2.9.2. Constitución Política de 1991*

La Constitución Política de Colombia en sus artículos 79 y 80 establece, que es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación ambiental para garantizar el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano y planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales de una manera sostenible. Además, se debe prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados (Colombia, Presidencia de la República, 1991).

#### *5.2.9.3. Ley 99 de 1993*

Esta ley fue expedida el 22 de diciembre de 1993, por la cual se crea el Ministerio de Ambiente, se reordena el sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA), y se dictan otras disposiciones (Congreso de la República, 1993).

#### *5.2.9.4. Decreto 1594 de 1984*

El presente decreto fue expedido el 26 de junio de 1984 por el Ministerio de Agricultura y Salud y fue derogado por el artículo 79 del decreto 3930 de 2010, a excepción del artículo 20 que contiene el listado de sustancias que son consideradas de interés sanitario. También, el artículo 21 define que un usuario de interés sanitario es aquel en cuyos vertimientos se puede encontrar alguna de las sustancias listadas en el artículo anterior. En su artículo 72 se mencionan los parámetros que debe cumplir todo vertimiento a cuerpo de agua sea de referencia Usuario Nuevo o Usuario Existente. (Congreso de la República de Colombia, 1984).

#### 5.2.9.5. Decreto 3930 de 2010

Reglamenta parcialmente el Título I de la ley 9 de 1979 y fue expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial el 25 de octubre de 2010, el cual establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos a fuentes hídricas, al suelo y a los alcantarillados. En su capítulo VII, dispone todos los parámetros de la obtención de los permisos de vertimiento y planes de cumplimiento (Congreso de la República de Colombia, 2010).

#### 5.2.9.6. Resolución 631 de 2015

Reglamenta el artículo 28 del decreto 3930 de 2010 y fue expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible el 17 de marzo de 2015. El objeto principal de esta normatividad es reducir y controlar la descarga de sustancias contaminantes que se realizan en cuerpos de aguas superficiales o al alcantarillado público, mediante límites máximos permisibles en los vertimientos a cuerpos de agua superficiales.

#### 5.2.9.7. Decreto 1076 de 2015

La pretensión de esta iniciativa es recoger en un solo cuerpo normativo todos los decretos reglamentarios vigentes expedidos hasta la fecha, que desarrollan las leyes en materia ambiental. Teniendo en cuenta esta finalidad este decreto no contiene ninguna disposición nueva, ni modifica las existentes.

- En el capítulo 4 explica que la participación de los ciudadanos, son las audiencias públicas sobre licencias y permisos ambientales.
- En el Capítulo 9 se desarrolla la administración y funcionamiento de las colecciones biológicas. Así mismo, se regulan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos.
- Establecer estrategias y acciones para mejorar la gobernabilidad del recurso hídrico y de los demás recursos naturales en la macro cuenca.
- Por otro lado, el decreto regula el uso de las aguas en todos sus estados afirmando que la preservación y manejo de las aguas son de utilidad pública e interés social. Así mismo, las aguas se clasifican en dos categorías: aguas de dominio público y aguas de dominio privado.

Las aguas de dominio público comprenden los ríos y todas las aguas que corran por cauces naturales de modo permanente o no; las aguas que corran por cauces artificiales que hayan sido derivadas de un cauce natural; los lagos, lagunas, ciénagas y pantanos; las aguas que estén en la atmósfera; las corrientes y depósitos de aguas subterráneas; las aguas lluvias; las aguas privadas, que no sean usadas por tres (3) años consecutivos.

- El ordenamiento del recurso hídrico, se entiende como el proceso de planificación del mismo, mediante el cual la autoridad ambiental competente establece la clasificación de las aguas; fija su destinación y sus posibilidades de uso; define los objetivos de calidad a alcanzar en el corto, mediano y largo plazo.
- Fija las zonas en las que se prohibirá o condicionará, la descarga de aguas residuales o residuos líquidos o gaseosos, provenientes de fuentes industriales o domésticas, urbanas o rurales, en las aguas superficiales, subterráneas o marinas.
- Se regula la obtención de los permisos de vertimiento y los planes de cumplimiento, y se requiere a toda persona natural o jurídica cuya actividad genere vertimientos a las aguas superficiales, marinas o al suelo, a solicitar y tramitar ante la autoridad ambiental competente, el respectivo permiso de vertimientos.
- Las personas naturales o jurídicas de derecho público o privado que desarrollen actividades industriales, comerciales y de servicios que generen vertimientos a un cuerpo de agua o al suelo deberán elaborar un Plan de Gestión del Riesgo para el Manejo de Vertimientos en situaciones que limiten o impidan el tratamiento del vertimiento. Dicho plan debe incluir el análisis del riesgo, medidas de prevención y mitigación, protocolos de emergencia y contingencia y programa de rehabilitación y recuperación.
- Clasificación de los residuos o desechos peligrosos y se afirma que el generador de los desechos o residuos puede demostrar ante la autoridad ambiental que sus residuos no presentan ninguna característica de peligrosidad, para lo cual deberá efectuar la caracterización físico-química de sus residuos o desechos.
- Se reglamenta el Departamento de Gestión Ambiental de las empresas a nivel industrial, que es un área especializada dentro de la estructura

organizacional de estas empresas, responsable de garantizar el cumplimiento de lo establecido en el decreto.

#### *5.2.9.8. Resolución 1207 del 2014*

La presente resolución fue expedida el 13 de agosto de 2004 por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. La presente resolución tiene por objeto establecer las disposiciones relacionadas con el uso del agua residual tratada y no aplica para su empleo como fertilizante o acondicionador de suelos. El Artículo 4 menciona el uso de los vertimientos, lo cual indica que en caso que el uso del agua residual tratada dé lugar a la modificación del Permiso de Vertimientos, deberá adelantarse el trámite correspondiente ante la Autoridad Ambiental competente. Si la totalidad de las aguas residuales tratadas se entregan para reúso no se requerirá permiso de vertimiento por parte del Usuario Generador y no habrá lugar al pago de la correspondiente Tasa Retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales. En caso contrario si la entrega es parcial, deberá ajustarse el cobro conforme a la modificación del Permiso de Vertimientos. (Congreso de la República de Colombia, 2004).

#### *Decreto 50 del 2018*

El presente decreto fue expedido el 16 de enero del 2018 por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. El decreto reglamenta parcialmente el decreto 1076 de 2015, en relación con los Consejos Ambientales Regionales de la Macrocuencas (CARMAC) y plantea una nueva forma de organizar los “usos de los cuerpos de agua continentales superficiales y marinos”, haciendo hincapié en la regulación de la actividad correspondiente al vertimiento de sustancias contaminantes. En el artículo 2.2.3.3.4.3., se menciona las prohibiciones de vertimientos a suelos que contengan contaminantes orgánicos persistentes; así como también en zonas de extrema a alta vulnerabilidad y en zonas de recarga alta de acuíferos. Y el artículo 2.2.3.3.5.3, que corresponde a la evaluación ambiental del vertimiento, aplica para vertimientos a cuerpo de agua o al suelo que desarrollen actividades industriales, comerciales y/o de servicio, así como los provenientes de conjuntos residenciales y los sujetos de licencia ambiental.

#### 5.2.9.9. *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico 2010*

Su objetivo es garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente. Establece seis objetivos específicos que son:

- Objetivo 1. OFERTA: Conservar los ecosistemas y los procesos hidrológicos de los que depende la oferta de agua para el país.
- Objetivo 2. DEMANDA: Caracterizar, cuantificar y optimizar la demanda de agua en el país.
- Objetivo 3. CALIDAD: Mejorar la calidad y minimizar la contaminación del recurso hídrico.
- Objetivo 4. RIESGO: Desarrollar la gestión integral de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad del agua.
- Objetivo 5. FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL: Generar las condiciones para el fortalecimiento institucional en la gestión integral del recurso hídrico.
- Objetivo 6. GOBERNABILIDAD: Consolidar y fortalecer la gobernabilidad para la gestión integral del recurso hídrico.

Para alcanzar los anteriores objetivos se han definido estrategias en cada uno de ellos y directrices o líneas de acción estratégicas que definen el rumbo hacia donde deben apuntar las acciones que desarrollen cada una de las instituciones y de los usuarios que intervienen en la gestión integral del recurso hídrico, en la formulación de la política se elaboró un documento de Diagnóstico que establece la base técnica que la soporta y en donde se refleja en detalle el estado actual del recurso hídrico en el país.

Esta política fue proyectada como el instrumento direccionador de la gestión integral del recurso, incluyendo las aguas subterráneas, establece los objetivos y estrategias del país para el uso y aprovechamiento eficiente del agua; el manejo del recurso por parte de autoridades y usuarios; los objetivos para la prevención de la contaminación hídrica, considerando la armonización de los aspectos sociales, económicos y ambientales; y el desarrollo de los respectivos instrumentos económicos y normativos. (Ministerio de Ambiente, 2014).

## **6. Materiales y métodos**

### **6.1. Caracterización de los parámetros de calidad del agua en las principales estaciones de vertimiento de aguas residuales en la zona media y baja de la quebrada Miraflores**

#### **6.1.1. Selección de puntos de monitoreo**

Para seleccionar estratégicamente los puntos de toma de muestra de vertimientos de aguas residuales y aguas superficiales, se realizó un estudio preliminar en la microcuenca Miraflores en la zona alta, media y baja; para ello, se efectuaron ocho salidas de campo los días 25 de septiembre y 3 de octubre del año 2017; 8, 15, 19 de febrero; 5 de marzo; 2 y 16 de abril del año 2018 en conjunto con el Sistema de Información Geográfica (SIG) de EMPOPASTO S.A. E.S.P. El objetivo de las salidas de campo fue realizar una evaluación exploratoria del estado actual de la microcuenca por medio de muestreos de tipo simple en aguas superficiales de la quebrada y en afluentes que confluyen en la quebrada Miraflores; para posteriormente calcular el ICA a partir de ocho variables: oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos, turbiedad, nitratos, fosfatos y coliformes totales. Lo anterior con el fin de determinar las áreas con mayor influencia en cuanto a contaminación por vertimientos puntuales de tipo doméstico como industrial, captaciones legales e ilegales por parte de los habitantes que interactúan en la microcuenca e identificar problemáticas enmarcadas en la inadecuada disposición de residuos, expansión de la frontera agrícola, vertimientos directos, tala indiscriminada de árboles, que afecten de manera directa o indirecta la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua de la quebrada.

#### **6.1.2. Toma de muestras en los puntos de muestreo seleccionados**

Entre los meses de noviembre de 2018 y enero de 2019, se realizaron los muestreos que corresponden a dos periodos de monitoreo (época seca y lluviosa). Se recolectaron en total 201 muestras de agua para los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos. La toma de muestras fue de tipo simple (en la parte superficial de la quebrada) y de tipo compuesto 12 horas (en el vertimiento puntual o descargas de aguas residuales): para el primero se tuvo



en cuenta una hora en el día en la que se realizaban descargas mayores sobre la quebrada, y para el segundo se realizaron 5 muestreos de tipo simple en cada punto de vertimiento para posteriormente componer las muestras en el laboratorio. Cabe anotar que para el punto 13 correspondiente al *Box Couvert* Hospital Departamental se realizó un muestreo compuesto de 24 horas.

Las muestras representaron la composición del cuerpo de agua original para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en la que se realizó su captación (IDEAM, 2002), por lo tanto se registró la localización de cada punto de toma de muestra y la hora a la que se llevó a cabo la toma de las muestras. Algunos parámetros fisicoquímicos fueron medidos directamente sobre la fuente hídrica tales como: pH, temperatura y oxígeno disuelto (usando un multiparámetro HACH modelo HQ40d) y fueron registrados en formato de “registro de datos en campo y laboratorio” (Anexo 1). Para el muestreo del parámetro coliformes fecales, se utilizaron frascos de 200 mL, tapa rosca y previamente esterilizados.

Para la toma de las muestras de agua en campo, se utilizó el formato de toma de muestras de EMPOPASTO S.A E.S.P. (Ver Anexo 2). El muestreo fue apoyado por operarios idóneos en la toma de muestras, debido a que esta investigación fue financiada por EMPOPASTO S.A E.S.P.

### **6.1.3. Transporte y almacenamiento de las muestras**

Las muestras se transportaron al laboratorio de acuerdo con las condiciones relacionadas en la tabla 7 y se almacenaron a 4°C durante toda la jornada de muestreo, para evitar posibles alteraciones en la composición química y biológica del agua. Adicionalmente las muestras se identificaron de forma segura.

Tabla 7. Requerimientos para la conservación y almacenamiento de las muestras de agua.

<b>Parámetro</b>	<b>Recipiente</b>	<b>Volumen mínimo de muestra (mL)</b>	<b>Conservación</b>	<b>Máximo almacenamiento Recomendado/Regulatorio</b>
Aceites y grasas	Vidrio	100	Adicionar HCl a pH <2,0 Refrigerar 4°C	Adicionar HCl a pH <2,0 Refrigerar 4°C
Coliformes totales y <i>E. coli</i>	Vidrio estéril	100	Analizar el mismo día Refrigeración 4°C	Refrigeración 4°C
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Vidrio	1000	Refrigeración 4°C	6h/48h Refrigerar 4°C

Demanda Química de Oxígeno	Vidrio	100	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH < 2,0 Refrigeración 4°C	7d/28d Refrigerar 4°C
Fosfatos	Vidrio	200	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH < 2,0 Refrigeración 4°C	48 h/48 h Refrigeración 4°C
Nitratos	Vidrio	200	Refrigeración 4°C	48 h/48 h Refrigeración 4°C
Nitritos	Vidrio	200	Refrigeración 4°C	48 h/48 h Refrigeración 4°C
Sulfatos	Vidrio	200	Refrigeración 4°C	48 h/48 h Refrigeración 4°C
Oxígeno Disuelto	Botella DBO	*	Análisis inmediato	0,25 h/ 0,25 h
pH	Vidrio	50	Análisis inmediato	0,25 h/0,25 h
Sólidos Suspendidos Totales	Vidrio	*	Refrigeración 4°C	7 d/ 2-7 d
Sólidos Totales	Vidrio	*	Refrigeración 4°C	7 d/ 2-7 d
Temperatura	Vidrio	*	Análisis inmediato	0,25 h/ 0,25 h
Turbiedad	Vidrio	*	Analizar el mismo día, guardar en oscuridad y refrigerar	24 h/48 h

Fuente: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (American Water Works Association, Water Environment Federation, 2017).

#### 6.1.4. Hidrología

Se realizaron dos inspecciones en cada punto donde se realizó el monitoreo con el fin de determinar el método para realizar el aforo del caudal, ya que éste depende de si el vertimiento se presenta a través de una tubería o de un canal abierto. Para los puntos 3 y 4 (tubería) se midió el caudal usando el método volumétrico manual. Para ello se empleó un cronómetro y un balde aforado. Para los puntos 5, 6, 8, 10,11,12 y 13 se observó la presencia de instalaciones que permiten la salida fácil del vertimiento con dimensiones fácilmente medibles; con lo anterior fue necesario para cada punto, medir el área de la sección transversal de la salida del vertimiento, y posteriormente, se determinó la velocidad media de la corriente mediante la utilización de un molinete.

Para el cálculo del caudal se utilizó la siguiente fórmula (IDEAM, 2015):

$$Q = A \cdot V$$

Donde:

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)

A: área de la sección (m<sup>2</sup>)

V: velocidad (m/s)

### 6.1.5. Caracterización fisicoquímica de aguas residuales y aguas superficiales

En la tabla 8 se describen las variables fisicoquímicas analizadas en el laboratorio, teniendo en cuenta el método analítico que se utilizó para su medición, basado en el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (American Water Works Association, Water Environment Federation, 2017).

Tabla 8. Parámetros físico-químicos y microbiológicos analizados, técnica analítica y referencia.

Parámetros	Técnica Analítica	Referencia	Límite de Detención	Límite de Cuantificación	Unidades
Aceites y grasas	Extracción Soxhlet	SM 5520D	0	.....	mg G y A /L
Coliformes totales y E. coli	Sustrato Definido	SM 9223 B	1	.....	NMP /100 mL
Color Verdadero	Espectrofotométrica	SM 2120C	1,95		UPC
Conductividad eléctrica	Electrométrica	SM 2510 B	< 1		µS/cm
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Incubación 5 días Electrométrica	SM 5210B, ASTM D 888 - 12	2	3	mg O <sub>2</sub> /L
Demanda Química de Oxígeno	Reflujo cerrado Colorimétrico	SM 5220 D	25	29	mg O <sub>2</sub> /L
Fosfatos	Colorimétrica	Fotométrico	0	.....	mg PO <sub>4</sub> /L
Hierro	Colorimétrica	Fotométrico	0		mg Fe/L
Nitratos	Colorimétrica	Fotométrico	0	.....	mg N-NO <sub>3</sub> /L
Nitritos	Colorimétrica	SM 4500-NO <sub>2</sub> -B Modificado-Diazotización 8507 -USEPA 353.2	0,013		mg N-NO <sub>2</sub> /L
Oxígeno Disuelto	Titulométrica	SM 4500-O C	0	.....	mg O <sub>2</sub> /L
pH	Electrométrica	SM 4500-H+B	.....	.....	Unidades de pH
Sólidos Suspendidos Totales	Gravimétrica	SM 2540 D	0,27	0,61	mg SS/L
Sólidos Totales	Gravimétrica	SM 2540 B	0	.....	mg ST/L

Sulfatos	Turbidimétrico	4500- SO42- E Modificado USEPA 375.4	1,5		mg SO4/L
Temperatura	Electrométrica	SM 4500-H+B	±0.01°	.....	°C
Turbiedad	Nefelométrico	SM 2130 B	0,2	0,31	NTU

Fuente: La autora

Las muestras se analizaron en el Laboratorio de Aguas de EMPOPASTO S.A E.S.P., acreditado ante el IDEAM según la resolución 2615 de 17 noviembre y la resolución 2890 de 30 de diciembre de 2016. Para ello se realizó el siguiente procedimiento:

#### 6.1.5.1. *Análisis de las muestras de aguas residuales.*

Las muestras de tipo compuestas se generaron de la composición de las 5 muestras individuales tomadas en el mismo punto, en distintos tiempos durante 12 horas en un horario de 7:00 am hasta las 7:00 pm; para la composición de las muestras se tomó una alícuota proporcional al volumen de muestra requerido (1 L) tal como lo indica la siguiente ecuación (IDEAM, 2015):

$$V_i = \frac{V \times Q_i}{n \times Q_p}$$

Donde:

$V_i$ : volumen de cada alícuota o porción de muestra,

$V$ : volumen total a componer,

$Q_i$ : caudal instantáneo de cada muestra,

$Q_p$ : caudal promedio durante el muestreo

$n$ : número de muestras tomadas

Para los dos periodos de muestreo se analizó la calidad de los parámetros físicos (pH, color verdadero, conductividad eléctrica y turbiedad) de las 5 muestras individuales tomadas en cada punto conjuntamente con las muestras compuestas a excepción del punto 13 que corresponde al punto del *Box Couvert* Hospital Departamental. Además, se seleccionaron dos muestras individuales de cada punto para un análisis de los parámetros químicos (fosfatos, hierro, nitratos, nitritos y sulfatos) del agua residual. Lo anterior con el fin de obtener una evaluación del comportamiento de la calidad de los parámetros físico-químicos del agua residual que se vierte a la quebrada Miraflores en cada punto de monitoreo por medio de un Análisis de Varianza usando un paquete estadístico STATGRAPHICS-Centurion 18-X64.

Cabe resaltar que las muestras compuestas se sometieron a un análisis de calidad fisicoquímica y bacteriológica de los parámetros que se indican en la tabla 8. Los resultados de la calidad fisicoquímica del agua residual contribuyeron al análisis de la carga contaminante que es transportada desde la zona media (rural) hasta la zona baja (urbana) lo que ayudó a interpretar mejor el grado de depuración de la quebrada cuando desemboca al río Pasto.

#### *6.1.5.2. Análisis de las muestras de aguas superficiales de la quebrada Miraflores*

Para los dos periodos de muestreo se analizaron la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua superficial en seis puntos de monitoreo teniendo en cuenta los parámetros mencionados en la tabla 8 (a excepción del parámetro grasas y aceites). Estos resultados contribuyeron al análisis del ICA.

### **6.2. Realización del diagnóstico sobre el estado de la quebrada Miraflores en la zona media y baja, a partir de la carga contaminante transportada en las principales estaciones de vertimientos de aguas residuales.**

Con los datos obtenidos durante la medición de parámetros (DBO<sub>5</sub>, DQO y SST), se procedió a calcular el aporte de la carga contaminante en cada una de las estaciones de muestreo; para la realización de este cálculo se utilizó la expresión establecida en el Decreto 1594 de 1984 (artículo 75):

$$\text{Carga Contaminante} = (Q)(CV)(0.0864)(t)$$

Donde:

Q: Caudal del vertimiento (L/s)

CV: Concentración en el vertimiento (mg/L)

0,0864: Factor de conversión.

T: tiempo de la toma de muestra (h)

La carga contaminante se estimó teniendo en cuenta los caudales de vertimientos medidos en los puntos de muestreo, los datos obtenidos en la medición del caudal en campo se registraron en el formato de "cálculo de caudal" (Anexo 3), y las concentraciones

obtenidas de los parámetros analizados en el laboratorio por cada punto de muestreo se registraron en el formato de “registro de datos en campo y laboratorio”.

### 6.3. Cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA)

Para el cálculo del Índice de Calidad de Agua “ICA” se utilizó el método denominado “general”, ya que no se hace referencia a los usos particulares del agua en el sitio de su aplicación y sus valores son más restrictivos. Se realizó la valoración de los índices de contaminación en cada punto de muestreo de tipo simple interviniendo 9 parámetros, los cuales son: Coliformes Fecales (NMP/100 mL); pH (unidades de pH); Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días DBO5 (mg/L); Nitratos NO3 (mg/L); Fosfatos PO4 (mg/L); Cambio de la Temperatura (°C); Turbiedad (NTU); Sólidos Suspendedos Totales (mg SS/L) y Oxígeno Disuelto (% saturación).

Para calcular el índice de Brown se utiliza una función ponderada multiplicativa, la cual se expresa matemáticamente como sigue:

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i})$$





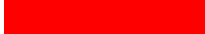
Donde:

$W_i$ : Pesos relativos asignados a cada parámetro ( $Sub_i$ ), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

$Sub_i$ : Subíndice del parámetro  $i$ .

La calidad del agua se clasifica teniendo en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 9. Clasificación del “ICA” propuesto por NSF 1970.

CALIDAD DEL AGUA	VALOR	COLOR
EXCELENTE	91 a 100	
BUENA	71 a 90	
MEDIANA	51 a 70	
MALA	26 a 50	
MUY MALA	0 a 25	

Para determinar el valor del “ICA” es necesario sustituir los datos en la ecuación anterior obteniendo los  $Sub_i$  de distintas graficas que se indican a continuación. Los pesos de los diversos parámetros se indican en la Tabla 10:

Tabla 10. Pesos de los parámetros evaluados para calcular el ICA.

$i$	$Sub_i$	$W_i$
1	Coliformes Fecales	0.15
2	pH	0.12
3	DBO <sub>5</sub>	0.10
4	Nitratos	0.10
5	Fosfatos	0.10
6	Temperatura	0.10
7	Turbiedad	0.08
8	Solidos Suspendidos Totales	0.08
9	Oxígeno Disuelto	0.17

Fuente: SNET, MARN, 2005

A continuación, se explicará de manera más detallada el procedimiento para el cálculo de los subíndices ( $Sub_i$ ) para cada parámetro:

- Coliformes Fecales: Si los coliformes fecales son mayores de 100.000 NMP/100 mL el ( $Sub_1$ ) es igual a 3. Si el valor de Coliformes fecales es menor de 100.000 NMP/100 mL, buscar el valor en el eje de (X). En la Figura 2 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el ( $Sub_1$ ) de coliformes fecales, se procede a elevarlo al peso  $W_1$ .

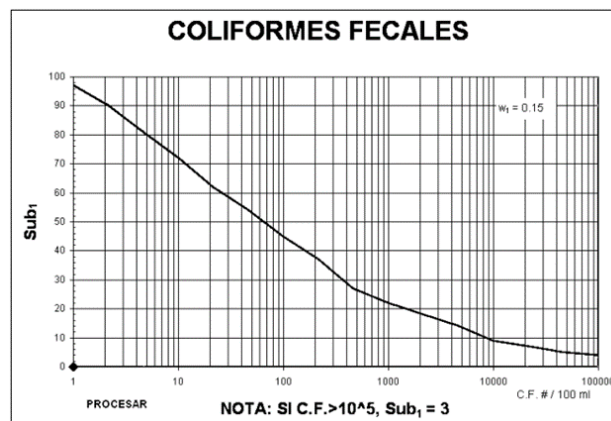


Figura 2. Valoración de la calidad de agua en función de Coliformes Fecales.

Fuente: SNET, MARN, (2005).

- pH: Si el valor de pH es menor o igual a 2 unidades el ( $Sub_2$ ) es igual a 2, sí el valor de pH es mayor o igual a 10 unidades el ( $Sub_2$ ) es igual a 3. Si el valor de pH esta entre 2

y 10 buscar el valor en el eje de (X) en la figura 3 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el ( $Sub_2$ ) de pH y se procede a elevarlo al peso  $W_2$ .

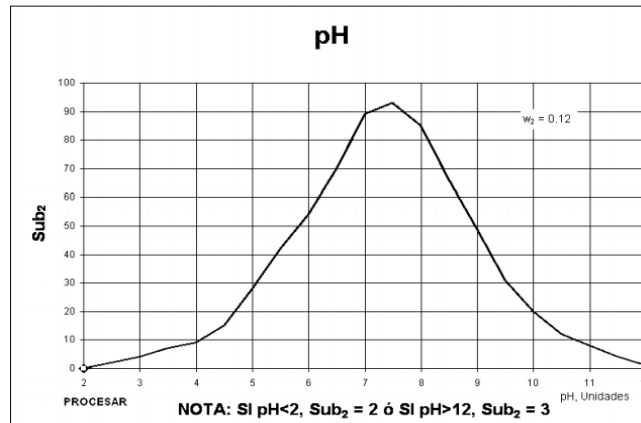


Figura 3. Valoración de la calidad de agua en función del pH.

Fuente: SNET, MARN, (2005).

- Si la  $DBO_5$  es mayor de 30 mg/L el ( $Sub_3$ ) es igual a 2. Si la  $DBO_5$  es menor de 30 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la figura 4 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el ( $Sub_3$ ) de  $DBO_5$  y se procede a elevarlo al peso  $W_3$ .

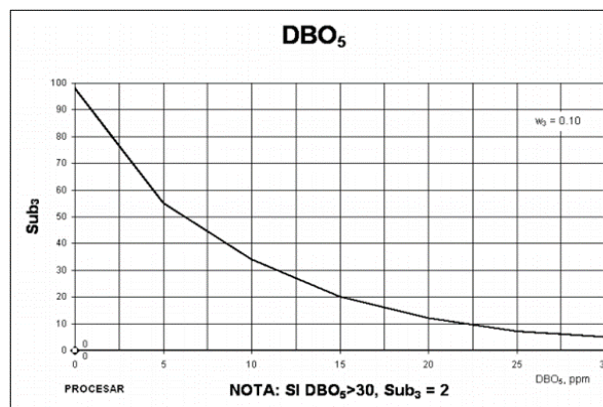


Figura 4. Valoración de la calidad de agua en función de la  $DBO_5$ .

Fuente: SNET, MARN, (2005).

- Nitratos: Si la concentración de Nitrógeno de Nitratos es mayor de 100 mg/L el ( $Sub_4$ ) es igual a 2. Si Nitrógeno de Nitratos es menor de 100 mg/L buscar el valor en el eje de



(X) en la figura 5 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>4</sub>) de Nitratos y se procede a elevarlo al peso W<sub>4</sub>.

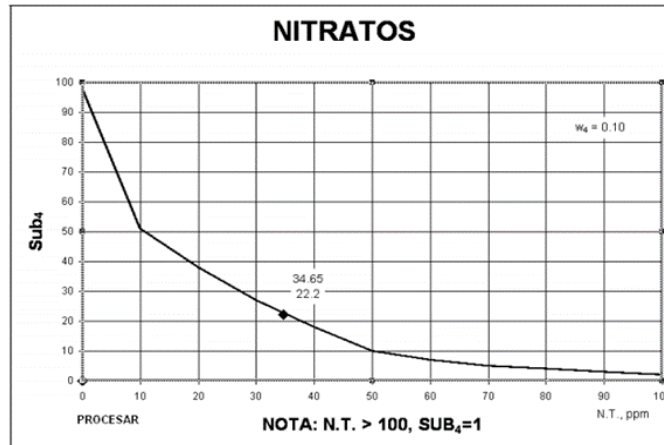


Figura 5. Valoración de la calidad de agua en función de los Nitratos.

Fuente: SNET, MARN, 2005

- Fosfatos: Si la concentración de Fosfatos es mayor de 10 mg/L el (Sub<sub>5</sub>) es igual a 5. Si la concentración es menor de 10 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la figura 6 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>5</sub>) y se procede a elevarlo al peso W<sub>5</sub>.

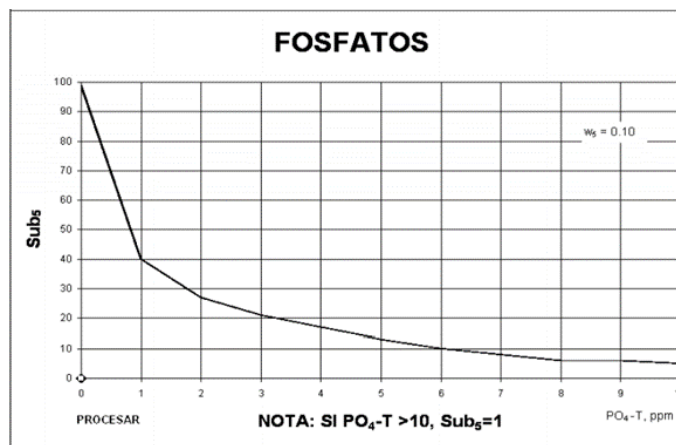


Figura 6. Valoración de la calidad de agua en función del Fósforo.

Fuente: SNET, MARN, (2005).

- Temperatura: Para el parámetro de Temperatura ( $Sub_6$ ) primero hay que calcular la diferencia entre la  $T^\circ$  ambiente y la  $T^\circ$  Muestra y con el valor obtenido proceder. Si el valor de esa diferencia es mayor de  $15^\circ C$  el ( $Sub_6$ ) es igual a 9.

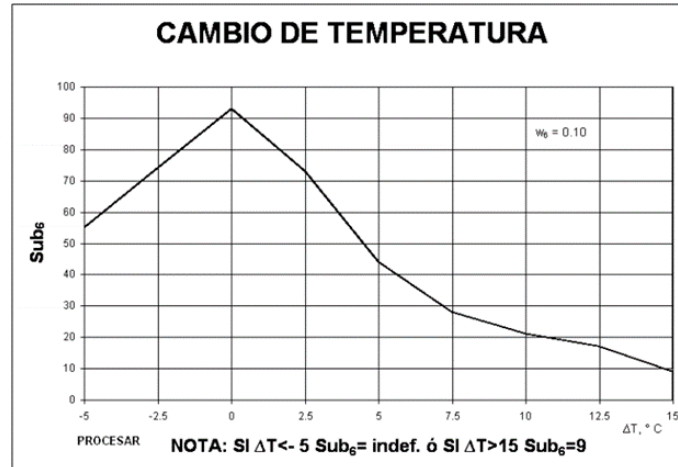


Figura 7. Valoración de la calidad de agua en función de la Temperatura.

Fuente: SNET, MARN, (2005).

- Turbiedad: Si la Turbiedad es mayor de 100 NTU el ( $Sub_7$ ) es igual a 5. Si la Turbiedad es menor de 100 NTU, buscar el valor en el eje de (X) de la figura 8 en la se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el ( $Sub_7$ ) de Turbiedad y se procede a elevarlo al peso  $W_7$ .

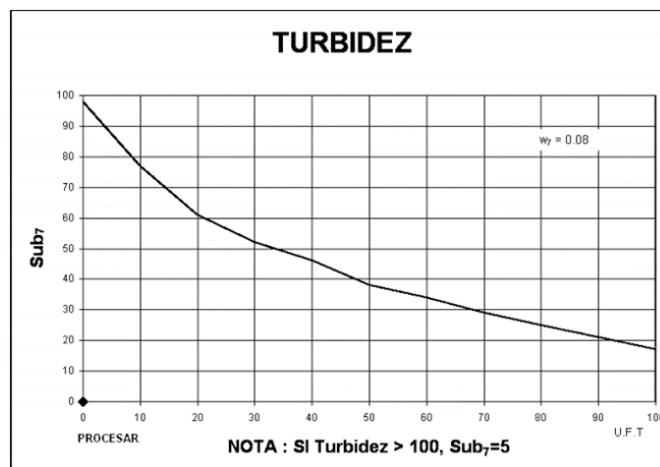


Figura 8. Valoración de la calidad de agua en función de la Turbiedad.

Fuente: SNET, MARN, (2005).

- Sólidos Disueltos Totales: Si los Sólidos Disueltos Totales son mayores de 500 mg/L el ( $Sub_8$ ) es igual a 3, si es menor de 500 mg/L, buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 9 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el ( $Sub_8$ ) de Residuo Total y se procede a elevarlo al peso  $W_8$ .

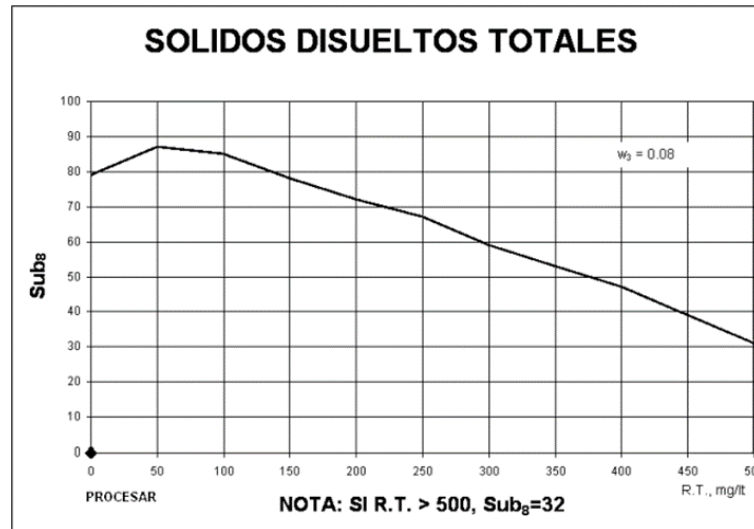


Figura 9. Valoración de la calidad de agua en función de los sólidos disueltos totales.

Fuente: SNET, MARN, (2005).

Oxígeno Disuelto: Para el parámetro de Oxígeno Disuelto (OD) primero hay que calcular el porcentaje de saturación del OD en el agua. Para esto hay que identificar el valor de saturación de OD según la temperatura del agua (Tabla 11).

Tabla 11. Solubilidad del Oxígeno en Agua Dulce

Temp. °C	OD mg/L	Temp. °C	OD mg/L	Temp. °C	OD mg/L	Temp. °C	OD mg/L
1	14.19	12	10.76	23	8.56	34	7.05
2	13.81	13	10.52	24	8.4	35	6.93
3	13.44	14	10.29	25	8.24	36	6.82
4	13.09	15	10.07	26	8.09	37	6.71
5	12.75	16	9.85	27	7.95	38	6.61
6	12.43	17	9.65	28	7.81	39	6.51
7	12.12	18	9.45	29	7.67	40	6.41
8	11.83	19	9.26	30	7.54	41	6.31
9	11.55	20	9.07	31	7.41	42	6.22
10	11.27	21	8.9	32	7.28	43	6.13
11	11.01	22	8.72	33	7.16	44	6.04

Fuente: (Perry, 2003)

Luego si el % de Saturación de OD es mayor de 140% el (Sub<sub>9</sub>) es igual a 47. Si el valor obtenido es menor del 140 % de Saturación de OD buscar el valor en el eje de (X) en la figura 10 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>9</sub>) de Oxígeno Disuelto y se procede a elevarlo al peso W<sub>9</sub>.

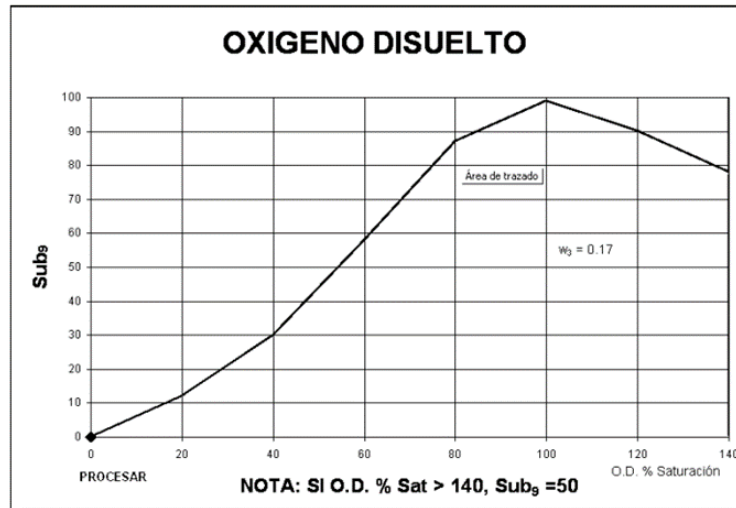


Figura 10. Valoración de la calidad de agua en función del Oxígeno Disuelto.

Fuente: SNET, MARN, (2005).

## 7. Resultados y discusión

### 7.1. Estudio preliminar de la Microcuenca Miraflores para la ubicación de los puntos de monitoreo

La microcuenca Miraflores cuenta en total con 56 quebradas entre las cuales se destacan 16 afluentes principales cuyos órdenes varían de 1 a 4. En los recorridos realizados se visitaron 6 quebradas principales y 10 afluentes que las abastecen, para un total de 16 tributarios visitados como se indican en la tabla 12.

Tabla 12. Afluentes visitados de la microcuenca Miraflores.

No.	Zona	Quebrada	Longitud (Km)	Orden
1	Alta	Piquisiqui	9,030264	3
2	Media	Aserradora	0,813797	1
3		Aserradora	0,871925	1
4		Aserradora	2,003462	2
5		Botana	4,765548	3
6		Botana	0,650731	2
7		Botana	0,706627	1
8		Botana	0,41784	1
9		Botana	1,110049	2
10		Colaizo	2,385885	2
11		Hato Viejo	1,365767	2
12		Hato Viejo	0,549692	1
13		Hato Viejo	6,080054	4
14		Turupamba	0,999723	1
15		Turupamba	1,504105	2
16	Baja	Rio Miraflores	10,228677	4

Fuente: La autora

De acuerdo con las visitas realizadas a las quebradas principales de la microcuenca Miraflores se encontraron los siguientes hallazgos:

#### 7.1.1. Quebrada Piquisiqui

La quebrada Piquisiqui es de orden 3 y es uno de los afluentes principales de la quebrada Hato Viejo, que a su vez también hace parte de la microcuenca Miraflores. Cuenta con una longitud de 9,030 km, es abastecida por 1 afluente de orden 2 y 8 afluentes de orden 1. En las visitas de campo realizadas se tomaron dos muestras de agua superficial de la quebrada entre los 3.000 y 3.350 m.s.n.m. Los resultados de laboratorio indicaron que en la parte alta de la quebrada Miraflores el agua es de buena calidad con valores del ICA de hasta 71,8 (tabla 13); lo cual corrobora la necesidad de que el estudio se concentre

únicamente en la zona media y baja de la quebrada Miraflores. El procedimiento del cálculo de este valor, se indica a continuación:

Tabla 13. Calculo del valor de ICA para la quebrada Piquisiqui.

Parámetro	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
Coliformes Fecales	<100	NMP/100mL	45,5	0,15	6,8
pH	7,40	Unidades pH	93	0,12	11,2
DBO <sub>5</sub>	4,67	mg O <sub>2</sub> /L	60	0,10	6
Nitratos	1,50	mg /L	97	0,10	9,7
Fosfatos	0,47	mg /L	80	0,10	8
Temperatura	12,5	°C	60	0,10	6
Turbiedad	2,6	NTU	97	0,08	7,8
Solidos Suspendidos Totales	2,8	mg SS/L	84	0,08	6,7
Oxígeno Disuelto	6,98	mg O <sub>2</sub> /L	56,7	0,17	9,6
<b>VALOR DEL "ICA"</b>				<b>Σ</b>	<b>71,8</b>

Fuente: La autora

El anterior procedimiento para el cálculo del ICA se realizó con cada uno de los puntos de toma de muestras de aguas superficiales monitoreados a lo largo de la quebrada Miraflores, tal como se reportan en la tabla 14 y 21.

### **7.1.2. Quebrada Hato viejo**

Su red principal es de orden 4, cuenta con una extensión de 6.080 km y es abastecida por 11 afluentes, entre ellos, seis afluentes de orden 1, cuatro afluentes de orden 2 entre los cuales se encuentra la quebrada Aserradora y un afluente de orden 3 que corresponde a la quebrada Piquisiqui. En esta quebrada se tomaron cuatro muestras de aguas superficiales de tipo simple entre los 3.000 y 3.100 m.s.n.m. que corresponden uno a la parte media, otro a la parte baja (tomados sobre el afluente principal) y dos en la parte alta tomados sobre afluentes de orden 1 y 2 que abastecen a la quebrada principal. Se observó en esta zona que en la parte baja de la quebrada Miraflores (a los 3.000 m.s.n.m) hay una modificación del cauce por la instalación de tuberías que desvían y cambian el curso del agua generalmente para abastecer a comunidades aledañas y realizar actividades principalmente de tipo agrícola. Los resultados de laboratorio indicaron que en esta zona de la quebrada (media) el agua es de "Mala" calidad con valores del ICA de 33,4. (Figura 11 y tabla 14).

### **7.1.3. Quebrada Aserradora**

La quebrada Aserradora es de orden 2, su red principal cuenta con una extensión de 2.003 km y desemboca sus aguas a la quebrada Hato Viejo, además está conformada por dos afluentes o brazos de orden 1. En esta quebrada se tomaron 7 muestras de agua superficial de tipo simple entre los 2.950 y 3.100 m.s.n.m. que corresponde a una toma de muestra en cada uno de los brazos que la conforman y cuatro de ellas tomadas sobre la red principal, entre las cuales una fue tomada en su parte alta entre los 3.050 y 3.100 m.s.n.m., dos en la parte media entre los 2.950 y 3.000 m.s.n.m. y uno en la parte baja inferior a los 3.000 m.s.n.m.

En la quebrada principal se observaron captaciones otorgadas para uso agrícola, pecuario y de riego para la vereda de Cruz de Amarillo. En la parte alta de uno de los brazos de la quebrada se evidenciaron vertimientos de aguas residuales de tipo domésticas, expansión de la frontera agrícola y tala indiscriminada de vegetación nativa produciendo pérdida de biodiversidad en el lugar de flora y fauna. Los resultados de laboratorio indicaron que en esta zona de la quebrada (media) el agua es de buena calidad con valores del ICA hasta de 89,4. (Figura 11).

### **7.1.4. Quebrada Turupamba**

La quebrada Turupamba cuenta con una extensión de 1,50 km, es de orden 2 y desemboca sus aguas a la quebrada Miraflores. Está conformada por un afluente de orden 1 que la abastece. En las visitas de campo realizadas se tomó una muestra de agua superficial de tipo simple a una altura aproximada entre los 2.950 y 3.150 m.s.n.m. que corresponde a la parte baja del afluente o brazo que la conforma. Alrededor de la quebrada se observó que el uso de suelo es para actividades agropecuarias. Los resultados de laboratorio indicaron que en esta zona de la quebrada (media) el agua es de calidad "Mediana" con un valor del ICA del 61,8 (Figura 11).

### **7.1.5. Quebrada Botana**

Es clasificada como tributaria de orden 3, cuenta con una extensión de 4,76 km y se encuentra conformada por dos grandes afluentes: quebrada la Moja de orden 1 con una extensión de 2,70 km y quebrada Colaizo de orden 2 con una extensión de 2,38 Km que a su vez está compuesta por un afluente de orden 1. A la quebrada principal Botana la

componen 8 afluentes más que corresponden a cinco afluentes de orden 1 y tres afluentes de orden 2, para un total de 11 afluentes, entre los cuales se recorrió la quebrada principal de Botana desde la parte alta hasta la parte baja y cinco de sus brazos de los cuales uno de ellos corresponde a la quebrada Colaizo.

En total para la quebrada Botana se tomaron 6 muestras de aguas superficiales de tipo simple entre los 2.700 y 3.050 m.s.n.m., de las cuales dos corresponden a la quebrada Colaizo y cuatro a la quebrada Botana. Se observó que el uso del agua en esta zona generalmente está destinado para uso agrícola, consumo humano, pecuario y de riego que es aprovechada por acueductos veredales de diferentes juntas administradoras como Botana, Campanero, Chavez y otorgadas también a instituciones como la Universidad de Nariño. Los resultados de laboratorio indicaron que en la parte alta de la quebrada Botana el agua es de “excelente” calidad con un valor del ICA superior a 90 e indican que cuando la quebrada Botana se intersecciona con la quebrada Miraflores la calidad del agua se deteriora (calidad “mala”) con valores de ICA de 50,4. (Tabla 14).

En los recorridos se identificaron vertimientos directos de aguas residuales de pequeñas industrias que generan malos olores; Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en la ribera de la fuente hídrica, una inadecuada disposición de residuos plásticos (Envases de agroquímicos) dispuestos a cielo abierto que contaminan los suelos y que por escorrentía incluso las fuentes hídricas más cercanas.

En varias quebradas visitadas se observó en sus alrededores suelos destinados a ganadería, agricultura y pastos. En algunos de los afloramientos de la parte alta y media alta que hacen su aporte a la quebrada principal Botana, no se encontró ningún tipo de cobertura vegetal (ya sea de bosque natural o plantado) dejando a los nacimientos sin protección contra el ganado y la agricultura. También se evidenciaron viviendas construidas cerca de la quebrada, con vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas (ARD) lo que genera contaminación de las aguas con heces fecales, así como también un uso inadecuado de los agroquímicos utilizados en los cultivos aumentando el riesgo sanitario por sustancias tóxicas en el agua.

#### **7.1.6. Quebrada Miraflores**

En la quebrada Miraflores, que es el tributario principal en estudio, se tomaron 8 muestras de aguas superficiales de tipo simple que corresponden a la zona media de la quebrada Miraflores alrededor de la zona poblada (antes de entrar a la ciudad). Entre los



hallazgos más significativos se evidenció deforestación de especies nativas y vertimientos directos de aguas residuales de tipo domésticos e industriales. Los resultados de laboratorio indican que la calidad del agua antes de atravesar las pequeñas industrias ubicadas cerca del corregimiento de Catambuco presenta valores por debajo de 60 lo que indica que el agua es “Mediana”; pero cuando se convierte en receptora de vertimientos permanentes de aguas residuales de tipo industrial como doméstica, la calidad del agua empeora reportándose valores de ICA de 21,8 lo que significa que en esta zona de la quebrada Miraflores la calidad es “Muy Mala” (Tabla 14).

Por otro lado, se tomaron ocho muestras simples en la zona baja de la quebrada que corresponde a la zona urbana de la ciudad de Pasto. Los resultados de laboratorio indicaron que en esta zona de la quebrada el agua es de “Mala” calidad con valores del ICA inferiores a 40 (Tabla 14).

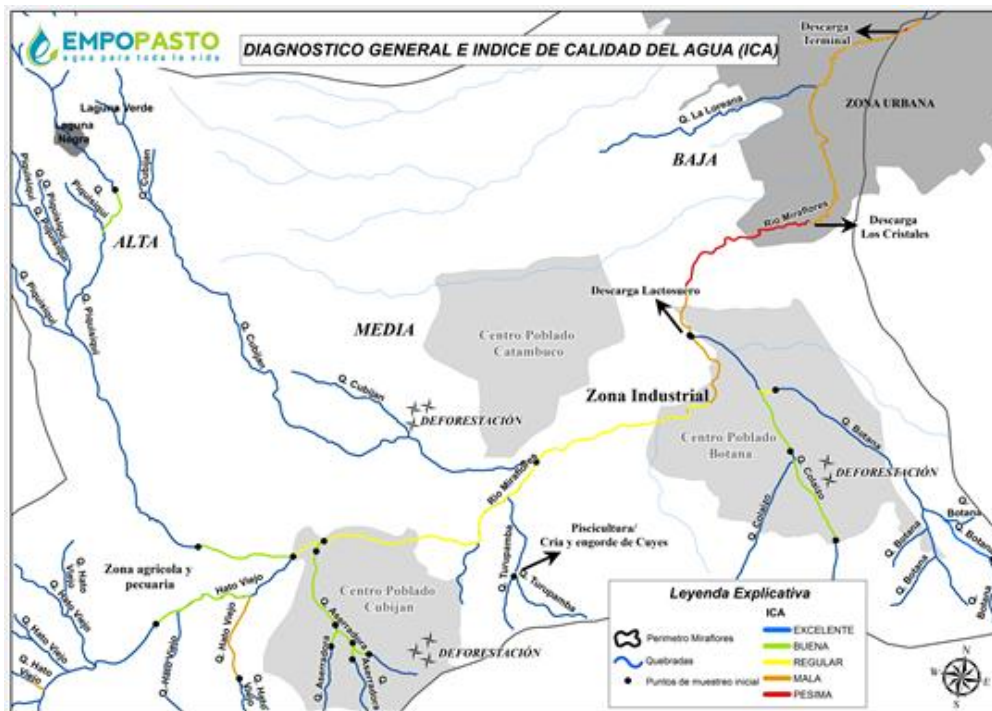


Figura 11. Diagnóstico general en los recorridos por la quebrada Miraflores.

Fuente: SIG EMPOPASTO S.A E.S.P.

En la tabla 14 se ilustra la clasificación del ICA para los puntos de toma de muestra preliminares en la zona alta, media y baja según los reportes de Laboratorio de Aguas de EMPOPASTO S.A E.S.P.

Tabla 14. Resultados del Índice de Calidad del Agua, para selección de puntos de monitoreo.

Zona	Muestra	Descripción del Sitio de Muestreo	ICA	Calidad	
Alta	1	Quebrada Piquisiqui	71,8	BUENA	
	2	Puente quebrada Piquisiqui	70,7	BUENA	
Media	3	Intersección Piquisiqui- Hato Viejo	68,6	MEDIANA	
	4	M1- Quebrada Hato Viejo	71,1	BUENA	
	5	M2- Quebrada Hato Viejo	47,0	MALA	
	6	M3- Quebrada Hato Viejo	33,4	MALA	
	7	Quebrada Aserradora brazo 1	71,0	BUENA	
	8	Quebrada Aserradora brazo 2	76,5	BUENA	
	9	Intersección brazo 1 y brazo 2 Q. Aserradora	77,1	BUENA	
	10	Quebrada Aserradora brazo 3	71,0	BUENA	
	11	Red principal quebrada Aserradora	89,4	BUENA	
	12	Intersección Quebrada Hato viejo – Aserradora	69,9	MEDIANA	
	13	Puente Quebrada Aserradora	73,0	BUENA	
	14	Quebrada Turupamba	61,8	MEDIANA	
	15	Quebrada Botana unión brazos 1,2 y 3	91,0	EXCELENTE	
	16	Quebrada Botana unión brazo	56,9	MEDIANA	
	17	Quebrada Colaizo brazo 1	70,9	BUENA	
	18	Intersección Quebrada Colaizo brazo 1 y 2	80,5	BUENA	
	19	Intersección Q. Botana – Quebrada Miraflores	50,4	MALA	
	20	Bocatoma cascada Quebrada Miraflores	61,0	MEDIANA	
	21	Intersección Quebrada Miraflores Cubijan	55,2	MEDIANA	
	22	M2- Quebrada Miraflores – Cubijan	59,7	MEDIANA	
	23	Después Descarga Río Bobo	63,3	MEDIANA	
	24	Después Planta Guadalupe	58,6	MEDIANA	
	25	Después Descarga Planta Guadalupe	54,2	MEDIANA	
	26	Después Descarga Lácteos	26,2	MALA	
	27	Después Botanilla Catambuco	21,8	MUY MALA	
	Baja	28	Antes Quebrada Los Cristales	29,7	MALA
		29	Después Quebrada Los Cristales	30,8	MALA
30		Antes Colegio IPC	39,1	MALA	
31		Después Colegio IPC	37,5	MALA	
32		Antes Descarga la Quebrada La Loreana	27,6	MALA	
33		Después Descarga la Quebrada La Loreana	26,1	MALA	
34		Antes Desc. entrada Terminal de Transporte	24,7	MUY MALA	
35		Después Desc. entrada Terminal de Transporte	26,3	MALA	
37		Antes Descarga Quebrada Guachucal	24,6	MUY MALA	
38		Después Descarga Quebrada Guachucal	24,6	MUY MALA	

39	Antes Descarga Hospital Departamental	50,4	MEDIANA
40	Después Descarga Hospital Departamental	38,4	MALA

Los resultados del ICA reportados anteriormente corresponden a una sola toma de muestra en 40 puntos de la quebrada. Estos brindaron información importante en cuanto a las zonas de mayor contaminación por vertimientos de aguas residuales tanto domésticos como industriales; por tanto, ayudaron a evaluar la calidad del agua de los diferentes tramos de la quebrada Miraflores lo que ayudó a identificar con mayor objetividad los principales puntos de contaminación donde se deben realizar los muestreos de tipo compuesto y simple para obtener un estudio con resultados significativos.

Con lo anterior se seleccionaron 16 puntos de vertimiento, de los cuales siete puntos se distribuyen en la zona media y nueve puntos en la zona baja de la quebrada Miraflores. En ocho puntos se realizaron muestreos compuestos y en ocho puntos un muestreo simple, tal como se describe en la tabla 15 y en la figura 11. Igualmente, se seleccionaron cuatro tramos de estudio a lo largo de quebrada Miraflores (tabla 15). De éstos los puntos de monitoreo en los que se realizó un muestreo de tipo compuesto corresponden a “puntos de vertimientos” de industrias o de algún sector de viviendas ubicados directamente a la quebrada; y los puntos de monitoreo con toma de muestra de tipo simple corresponden a “tramos rectos” de aguas superficiales de la quebrada que son de fácil acceso y que son importantes a la hora de analizar el ICA.

Tabla 15. Selección de los puntos de monitoreo.

Tramo	Punto de muestreo	Código	Descripción del punto de muestreo	Tipo de Muestreo
1	1	C1	Descarga Puente Cubijan Alto	Simple
	2	C2	Quebrada Miraflores - Chapal	Simple
	3	C3	Descarga Acueducto Botanilla	Simple
2	4	R1	Descarga de Fábricas de Lácteos	Compuesto
	5	R2	Descarga Catambuco- Botanilla	Compuesto
	6	R3	Puente Catambuco frente al Colegio	Compuesto
	7	R4	Descarga Minas Catambuco	Compuesto*
	8	C4	Descarga Los Cristales	Simple
3	9	R5	Descarga Colegio IPC	Compuesto
	10	C5	Antes descarga Quebrada La Loreana	Simple
	11	C5*	Después descarga Quebrada La Loreana	Simple
	12	R6	Descarga Quebrada Guachucal	Compuesto
	13	R7	Descarga después Terminal de Transporte	Compuesto

4	14	R8	Descarga Box Couvert Hospital Departamental	Compuesto
	15	C6	Antes descarga Box Couvert Hospital Departamental	Simple
	16	C6*	Después descarga Box Couvert Hospital Departamental	Simple

Simple: Muestreo al agua superficial de la quebrada para cálculo de ICA.

C: Agua Cruda (muestra agua superficial)

R: Agua Residual (muestra puntos vertimiento)

Compuesto: Muestreo 12 horas a vertimientos puntuales sobre la quebrada para cálculo de carga contaminante.

Compuesto\*: Muestreo 12 horas a aguas superficiales de la quebrada para cálculo de carga contaminante en la quebrada.

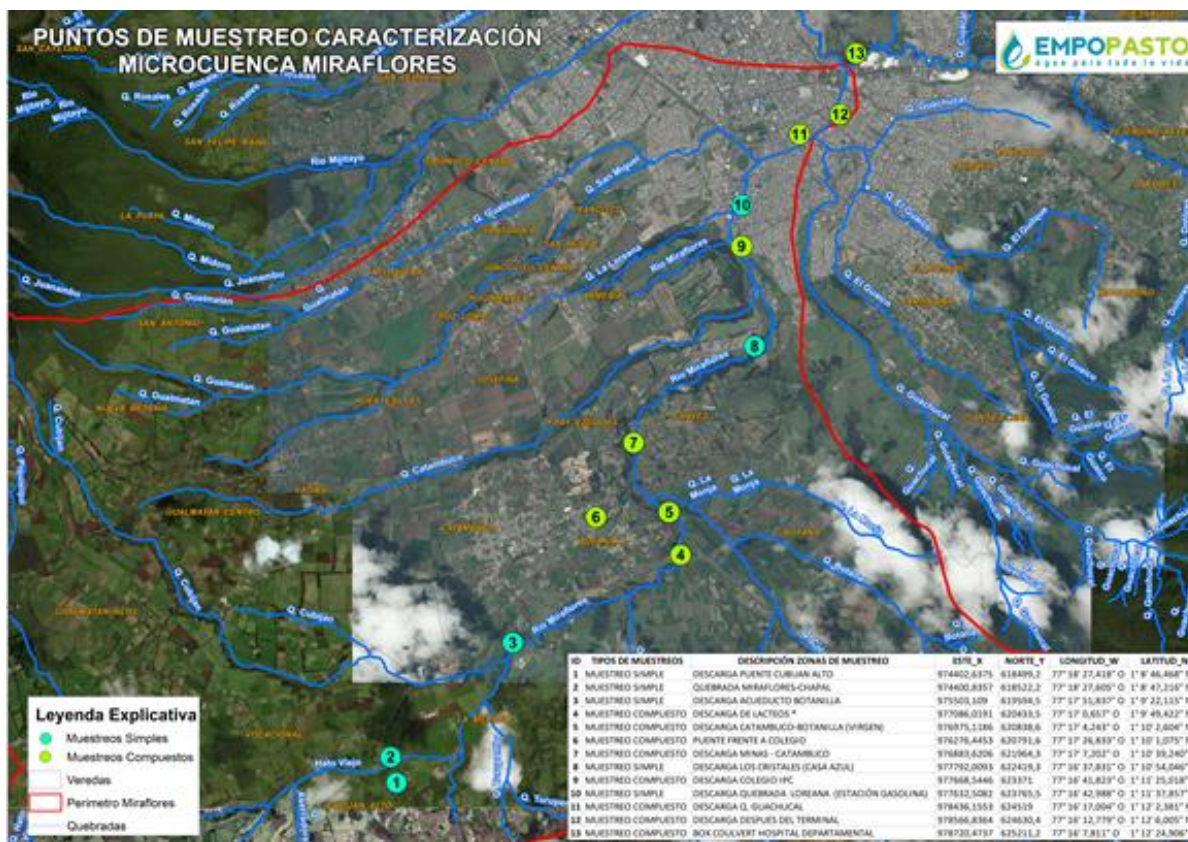


Figura 12. Ubicación de los puntos seleccionados a lo largo del área de estudio.

Fuente: SIG EMPOPASTO S.A E.S.P.

## 7.2. Caracterización de los parámetros físico-químicos y microbiológicos medidos en los puntos de monitoreo de la zona media y baja de la quebrada Miraflores.

En este apartado se analizaron los datos reportados en el laboratorio de los 16 muestreos de tipo simples y compuestos; y se procedió a analizar el comportamiento de los parámetros de calidad en cada punto de la quebrada Miraflores, teniendo en cuenta las dos jornadas de monitoreo. Para una mejor interpretación de los resultados se clasificó la quebrada Miraflores en cuatro tramos, tal como lo indica la tabla 15.

Además, se analizaron en el laboratorio algunos parámetros fisicoquímicos de las 5 muestras individuales tomadas en los ocho puntos de monitoreo de vertimientos de aguas residuales, los resultados se indican en la tabla 16. Lo anterior fue debido a que se superó la capacidad instalada de análisis del Laboratorio de Aguas de EMPOPASTO S.A E.S.P.

Los datos obtenidos en el laboratorio fueron analizados a través del paquete estadístico STATGRAPHICS-Centurion 18-X64, la tabla 19 resume el ANOVA descomponiendo la variabilidad de cada uno de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos medidos en el laboratorio. Los valores-P prueban la significancia estadística y si éstos son menores que 0,05, indica que si existen diferencias significativas entre las medias de las variables cuantitativas entre cada punto de monitoreo y otro, con un 95,0% de nivel de confianza. Para los parámetros: nitratos y fosfatos se encontró que el valor-P es mayor que 0,05, por tanto no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de estos parámetros entre cada punto de monitoreo y otro, con un con un 95,0% de nivel de confianza.

Tabla 16. Análisis de varianza para cada uno de los parámetros por puntos de muestreo medidos en el laboratorio.

Variable cuantitativa (dependiente)		Valor -P
Físicos	pH	0,0000
	Color	0,0000
	Turbiedad	0,0000
	Conductividad	0,0000
	Oxígeno Disuelto	0,0000
	Solidos Suspendidos Totales	0,0015
	Caudal	0,0000
Químicos y Microbiológicos	DBO5	0,0005
	DQO	0,0022
	Nitratos	0,0891
	Nitritos	0,0058
	Fosfatos	0,2505
	Sulfatos	0,0017
	Hierro Total	0,0022
	Coliformes Totales	0,0306
	<i>Echerichia coli</i>	0,0070

Los resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos obtenidos en los ocho puntos de monitoreo en las dos jornadas de muestreo se observan en las Figuras 13 a 21.

En las siguientes tablas (17, 18 y 19) se indican los valores de los parámetros físico-químicos y microbiológicos de los muestreos simples como compuestos, reportados por el laboratorio de Aguas de EMPOPASTO S.A E.S.P.

Tabla 17. Características fisicoquímicas y microbiológicas de los vertimientos de aguas residuales medidas en la zona media y baja de la quebrada Miraflores.

Parámetro	R1		R2		R3		R4		R5		R6		R7		R8	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
pH (Unidades de pH)	5,55	6,25	5,36	6,56	7,35	6,33	6,61	7,02	7,20	7,21	7,13	6,98	7,01	6,98	7,36	7,32
Color Verdadero (UPC)	106	112	85	108	29	34	56	92	149	315	99	89,5	112	102	.....	.....
Turbiedad (UNT)	1150	1210	2010	1342	13	16	119	234	311	622	56,3	236	151	331	.....	.....
Conductividad (µS/cm)	1850	1551	2443	1696	424	294	598	679	1288	1993	353	569	762	959	.....	.....
Oxígeno Disuelto (mg O <sub>2</sub> /L)	5,6	5,1	4,1	3,4	1,8	3,6	3,84	3,86	3,55	3,74	2,16	1,92	2,15	2,64	1,58	2,93
SST (mg SS/L)	1090	855	1400	1073	8	17,5	184	143	308	530	847	285	170	380	32	41
Grasas y Aceites (mg/L)	.....	220	.....	228	.....	32	.....	120	.....	96	.....	64	.....	136	.....	.....
Caudal (L/s)	2,2	0,9	0,3	0,4	11,9	5,5	60,9	48,9	15,1	8,3	81	114,8	348,2	584,6	581,9	640,8
DBO5 (mg O <sub>2</sub> /L)	5595	3319	5672,5	3849	71,8	104,6	412,5	236,4	555,0	574,5	114,7	158,4	296,1	246,9	157,8	130,2
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	8394	4773	8529	4897	148,5	157	587,3	453,8	987,8	1260	266	372,5	599,8	510	350,8	297
Nitratos (mg NO <sub>3</sub> /L)	4,0	1,1	3,2	1,26	2,93	0,79	8,70	1,34	9,86	1,93	4,45	1,24	6,56	1,88	7,50	8,25
Nitritos (mg N-NO <sub>2</sub> /L)	0,10	0,7	0,13	0,95	0,47	0,33	0,21	0,02	0,39	0,38	0,11	0,10	0,21	0,40	.....	.....
Fosfatos (mg PO <sub>4</sub> /L)	2,42	14,7	3,14	20,8	8,33	2,26	14,6	12	25,7	20,7	6,5	16,8	16	18,5	.....	.....
Sulfatos (mg SO <sub>4</sub> /L)	57,6	102	51	79	5,42	28	56	51,3	87	86,6	42	52	65	49,3	.....	.....
Hierro Total (mg Fe/L)	12,7	28	16	31	18,3	4,7	22	3,6	12,9	15,6	17,9	4,5	20,7	16,5	.....	.....
Coliformes Totales (NMP /100 mL)	57940000	86640000	32550000	7330000	>241960	>24196000	98040000	24890000	141360000	104620000	11870000	9850000	20980000	41060000	64880000	129970000
e. Coli (NMP /100 mL)	1870000	10390000	2620000	1850000	57940	1850000	22240000	9060000	68670000	29870000	2460000	3050000	12910000	11450000	43520000	59940000

M1: Monitoreo 1; M2: Monitoreo 2; R: Puntos de monitoreo de aguas residuales



Tabla 18. Características fisicoquímicas de las cinco alícuotas en cada punto de muestreo de aguas residuales medidas en la zona media y baja de la quebrada Miraflores.

Parámetro Muestra	Caudal L/s		pH (Unidades de pH)		Color Verdadero (UPC)		Turbiedad (UNT)		Conductividad (µS/cm)		Oxígeno Disuelto (mg O <sub>2</sub> /L)		Nitratos (mg NO <sub>3</sub> /L)	Nitritos (mg N-NO <sub>2</sub> /L)	Fosfatos (mg PO <sub>4</sub> /L)	Hierro Total (mg Fe/L)	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M2	M2	M2	M2	
R1	1	0,6	0,8	6,14	7,03	91	315	4412	874	2156	1013	4,7	5,3	.....	.....	.....	.....
	2	2,5	0,8	6,98	6,52	83	375	625	1041	964	1635	6,4	6,3	.....	.....	.....	.....
	3	1,7	1,2	5,37	6,29	147	485	106	2240	243	2150	5,7	5,9	0,52	0,035	27,0	6,6
	4	3,0	0,8	5,18	6,49	116	455	3210	1394	1125	1384	4,8	5,5	1,20	0,039	16,8	4,9
	5	3,0	0,8	6,29	7,62	108	240	102	228	153	999	6,3	2,4	.....	.....	.....	.....
R2	1	0,3	0,4	6,37	6,91	64	74	463	6214	536	1688	4,3	3,3	1,56	1,187	54,3	46,6
	2	0,2	0,4	6,86	6,72	91	96	1109	248	963	741	5,3	4,3	.....	.....	.....	.....
	3	0,6	0,4	5,11	7,02	191	100	5896	130	2651	567	2,0	3,8	.....	.....	.....	.....
	4	0,3	0,4	5,79	5,41	175	188	2365	4273	1947	327	3,6	3,6	2,26	0,869	53,8	33,8
	5	0,3	0,1	6,22	6,71	94	130	354	164	419	1122	5,5	1,9	.....	.....	.....	.....
R3	1	9,9	6,3	7,15	7,08	18	19	12	16	374	249	1,3	5,6	.....	.....	.....	.....
	2	10,8	6,3	7,79	7,42	16	27	11	17	321	298	1,3	4,2	.....	.....	.....	.....
	3	16,1	4,5	6,10	7,4	39	36	23	35	461	314	3,2	3,1	0,52	0,035	27,0	6,6
	4	11,2	4,5	6,92	6,87	35	52	19	76	395	455	1,3	2,4	1,20	0,039	16,8	4,9
	5	11,5	6,1	7,62	7,5	22	29	8	19	286	355	1,8	2,8	.....	.....	.....	.....
R4	1	71,8	48,5	7,1	7,96	41	103	89	213	421	796	3,9	4,7	1,47	0,095	29,2	8,9
	2	70,6	48,5	6,28	7,49	43	210	78	282	259	714	4,5	4,3	.....	.....	.....	.....
	3	50,4	48,5	6,45	6,95	75	230	110	261	204	646	3,8	4,2	2,55	0,182	26,7	15,6
	4	56,7	48,5	7,15	7,57	79	220	132	311	491	594	2,6	3,8	.....	.....	.....	.....
	5	54,8	50,4	7,06	7,63	52	156	69	286	394	581	4,4	2,4	.....	.....	.....	.....
R5	1	15,4	8,1	6,98	7,83	112	420	203	739	924	1821	3,9	3,4	.....	.....	.....	.....
	2	23,9	8,1	7,26	7,43	135	415	196	703	781	1356	2,7	4,6	2,03	0,544	26,0	22,3
	3	8,7	7,1	7,14	7,33	168	445	310	698	1106	1209	3,5	4,5	.....	.....	.....	.....
	4	13,8	7,1	6,95	7,39	135	445	354	699	1394	1260	3,3	3,7	.....	.....	.....	.....
	5	13,5	11,0	7,19	7,8	123	340	192	741	409	882	4,4	2,5	2,90	0,231	26,3	9,9
R6	1	85,2	75,0	6,93	7,99	71	113	48	93	123	403	2,2	2,8	.....	.....	.....	.....
	2	85,2	75,0	7,06	7,01	82	160	66	136	141	367	1,9	2,6	1,46	0,195	48,0	8,9
	3	85,2	75,0	7,17	7,31	110	90	72	84	156	317	1,7	0,9	.....	.....	.....	.....
	4	85,2	85,2	6,69	7,59	115	290	70	49	289	285	2,5	2,5	0,82	0,142	22,3	5,9
	5	63,9	263,6	7,1	7,56	97	78	48	1620	275	339	2,4	2,0	.....	.....	.....	.....
R7	1	378,4	522,6	6,65	8,11	96	425	108	393	512	1045	2,8	2,9	2,18	0,220	33,0	9,6
	2	366,5	522,6	6,87	7,02	125	186	113	536	541	853	2,6	2,4	.....	.....	.....	.....
	3	325,1	522,6	7,12	7,54	169	142	126	307	494	785	0,9	2,7	.....	.....	.....	.....
	4	339,9	526,4	7,03	7,5	147	124	98	199	321	708	2,5	2,2	2,47	0,346	17,5	13,9
	5	331,1	828,9	7,08	7,82	113	46	81	1127	285	792	2,0	3,0	.....	.....	.....	.....

M1: Monitoreo 1; M2: Monitoreo 2; R: Puntos de monitoreo de aguas residuales



Tabla 19. Características fisicoquímicas y microbiológicas de los 5 puntos de toma de muestra a las aguas superficiales en la zona media y baja de la quebrada Miraflores.

Parámetro	Monitoreo 1						Monitoreo 2					
	C1	C2	C3	C4	C5	C*5	C1	C2	C3	C4	C5	C*5
pH (Unidades de pH)	7,51	7,96	7,49	7,56	7,33	7,86	7,12	7,74	6,73	7,15	7,16	7,12
Color Verdadero (UPC)	37	32	35	38	47	27	14	28	132	190	30	26
Turbiedad (UNT)	23,4	6,69	25,7	13,2	60,0	32,2	8,64	5,22	98,7	67,05	42	28,4
Conductividad ( $\mu$ S/cm)	88,5	94,3	449,0	448,0	376,0	390,0	108,0	115,5	443,0	446,0	456,0	426,0
Oxígeno Disuelto (mg O <sub>2</sub> /L)	7,87	7,11	5,26	2,84	2,38	2,11	6,75	7,20	4,34	1,25	0,68	1,08
SST (mg SS/L)	20,6	6,7	14,0	23,5	52,0	38,8	10,5	4,7	90,0	66,7	68,0	34,5
SDT (mg SD/L)	187	47	186	112	114	23	53,0	55	217,0	215,0	223,0	210,0
ST (mg ST/L)	207	53,7	200	135,5	166	61,8	63,5	59,7	307,0	281,7	291,0	244,5
DBO5 (mg O <sub>2</sub> /L)	26,58	18,21	23,97	21,34	77,93	5,63	1,5	1,5	248,3	244,8	116,8	57,1
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	77,3	99,9	83,5	91,0	186,0	62,5	32,0	0,34	483,5	401,0	181,0	144,8
Nitratos (mg N-NO <sub>3</sub> /L)	0,23	0,98	1,15	0,21	0,63	0,72	1,85	0,62	2,24	1,26	0,75	0,66
Nitratos (mg NO <sub>3</sub> /L)	1,03	4,33	5,10	0,94	2,81	3,20	8,17	2,74	9,90	5,56	3,32	2,91
Nitritos (mg N-NO <sub>2</sub> /L)	0,025	0,230	1,155	0,039	0,060	0,004	0,050	0,027	0,628	0,044	0,014	0,016
Fosfatos (mg PO <sub>4</sub> /L)	8,3	0,50	5,3	5,7	7,7	15,3	0,30	0,34	8,25	6,70	4,10	3,35
Sulfatos (mg SO <sub>4</sub> /L)	1,56	1,37	1,56	8,81	7,38	1,49	4,94	1,13	8,61	12,40	18,08	16,32
Hierro Total (mg Fe/L)	0,133	0,760	0,097	0,077	0,144	0,281	0,051	0,911	0,373	0,391	0,101	0,248
Coliformes Totales (NMP /100 mL)	>241960	13760	>241960	92080	26130	26130	23820	15150	12033000	272000	3448000	241960
e. Coli (NMP /100 mL)	>241960	13540	>241960	86640	13540	13540	4410	2929	3282000	97000	1046000	91310

C: Puntos de monitoreo de aguas superficiales

## **7.2.1. Parámetros físicos**

### *7.2.1.1. Potencial de hidrógeno (pH)*

La variación del pH en el agua puede ocurrir debido a procesos naturales que ocurren en el suelo por un importante arrastre de material particulado que influyen en la acidez del agua, así como también, por influencia de los procesos antrópicos, en especial, los de algunos tipos de industria generadoras de aguas residuales que al ser vertidas sobre las fuentes pueden alterar drásticamente los valores del pH; lo cual es fundamental tenerlo en cuenta puesto que afecta de manera esencial los procesos biológicos. En este estudio, para los puntos de vertimientos de aguas residuales y puntos de aguas superficiales, el análisis estadístico para el pH indicó que existen variaciones significativas en los 16 puntos de monitoreo ( $p < 0.05$ ), observándose para los puntos R1 y R2 correspondientes a los puntos “descarga de Fábricas de Lácteos” y “Descarga Catambuco- Botanilla” valores menores a 6,00 (por fuera de norma) como lo indica la figura 12. Cabe anotar que en estos puntos las descargas provienen de pequeñas industrias que elaboran quesos, por lo tanto, en la gran mayoría del tiempo del monitoreo se pudo observar que estas aguas residuales contenían cantidades apreciables de lactosuero que por lo general son alcalinas, pero por causa de la fermentación del azúcar de la leche, estas aguas residuales blanquecinas se acidifican rápidamente por la transformación de la lactosa en ácido láctico, principalmente en ausencia de oxígeno, disminuyendo el pH entre 4,5 – 5,0. (Rico *et al.*, 1991).

Para el resto de los puntos de vertimientos, ningún cambio importante se observó, manteniéndose estables los valores de pH pese a que la quebrada Miraflores recibe varias descargas combinadas de ARD y ARnD a lo largo de su cauce. Además, en la figura 12 se observa que el comportamiento del pH en las aguas superficiales de la quebrada Miraflores se mantiene en promedio para este estudio en un intervalo entre 7,03 a 7,85; valores que se encuentran dentro de los niveles normales (6,0 a 8,5) para aguas naturales según la normatividad ambiental vigente (tabla 3).

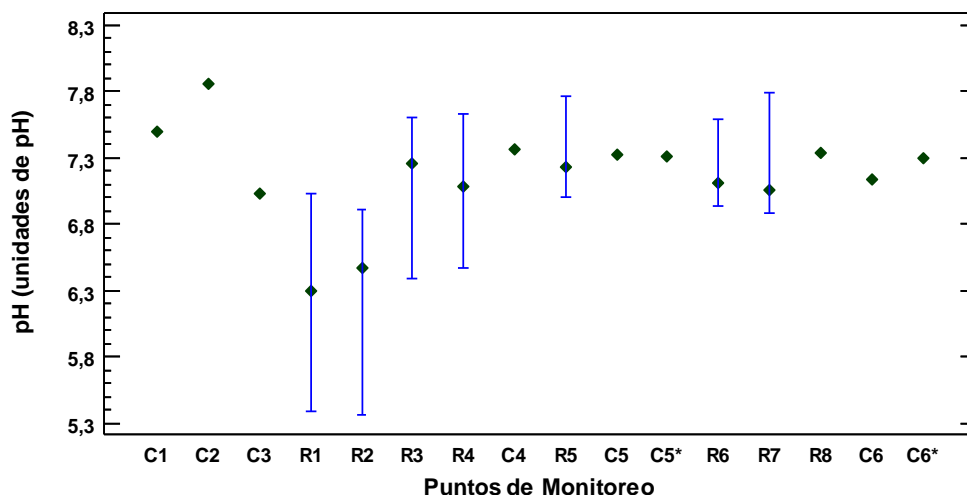


Figura 13. Medias para pH por puntos de monitoreo de vertimiento de aguas residuales (R) y de aguas superficiales (C).

#### 7.2.1.2. Color Verdadero (CV)

Las causas principales que originan el color en la quebrada Miraflores se deben principalmente al producto de las descargas de aguas residuales de tipo domésticas e industriales en la zona media y baja de la quebrada, así como también por la descomposición natural del material vegetal de las plantas (humus) y por la disolución de ciertos minerales tales como hierro y manganeso presentes en el subsuelo (Sierra, 2011).

Para los puntos de vertimientos de aguas residuales y puntos de aguas superficiales, el CV presentó diferencias estadísticamente significativas entre los puntos de monitoreo. Para el tramo 1 correspondiente a los puntos C1, C2 y C3 los valores de CV se encuentran en promedio en un intervalo entre 20 y 90 UPtCo, observándose claramente que después de los vertimientos puntuales R1, R2 y R3, el color en las aguas superficiales (punto C4 - Descarga barrio Los Cristales) incrementa un 22 %, con lo cual se puede inferir que la quebrada Miraflores tiene buena capacidad de dilución (figura 14). Cabe resaltar que en este punto la quebrada ha sido receptora de vertimientos de aguas residuales industriales y domésticas del centro poblado de Catambuco y Botanilla ubicados en la parte rural de la ciudad de Pasto, así como también de los barrios Los Cristales y Los Robles ubicados en el perímetro urbano de la ciudad.

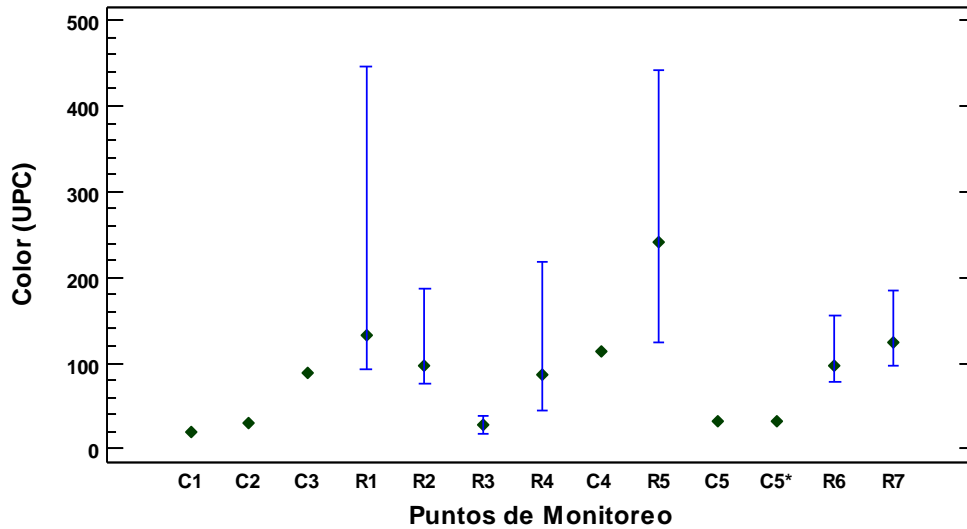


Figura 14. Medias para color por puntos de monitoreo de vertimiento de aguas residuales (R) y de aguas superficiales (C).

Para el tramo 3 correspondiente a los puntos descarga Colegio IPC (R5) y los puntos antes y después de la quebrada La Loreana (C5 y C5\*), se encontró para este estudio que la descarga R5 aporta a la quebrada Miraflores valores de hasta de 445 UPtCo (figura 14). Al medir el color aguas abajo de la descarga, se encontró que los valores de color se encuentran en promedio alrededor de 32 UPtCo. En este punto es importante destacar que la calidad del agua de la quebrada La Loreana no es buena debido a que es receptora de aguas residuales del corregimiento de Jongovito no obstante, su calidad del agua mejora considerablemente al unirse con la quebrada La Armenia (calidad de agua considerada buena) antes de confluir con la quebrada Miraflores; por lo tanto, al momento de la aparición de la descarga sobre la superficie de la quebrada Miraflores ocurre el fenómeno de dilución de materia orgánica produciendo una mejora en la calidad del agua de la quebrada objeto de estudio. Finalmente, para el tramo 4 se encontró que en los puntos “Descarga quebrada Guachuca” y “Descarga después Terminal de Transporte” R6 y R7 respectivamente; aportan vertimientos de aguas residuales con valores hasta de 154 y 187 UPC provenientes de la zona urbana y rural de la ciudad de Pasto (figura 14). Es importante señalar que la normatividad ambiental vigente (Decreto 1076 del 2015) no reporta para este parámetro criterios de calidad para los diferentes usos del agua.

### 7.2.1.3. *Turbiedad, Conductividad Eléctrica y Sólidos Suspendidos Totales*

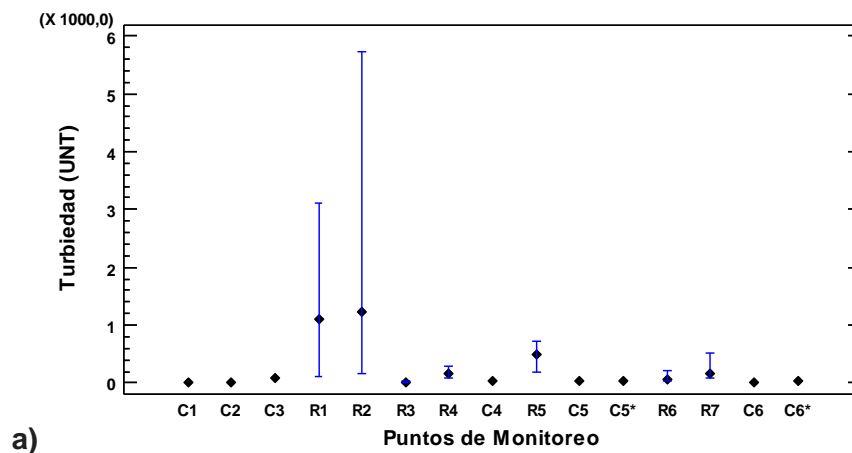
La turbiedad y los sólidos disueltos en aguas superficiales pueden ser producto de la erosión natural de las cuencas la cual aporta sedimentos de origen inorgánico tales como arcillas y arenas; así como también por la contaminación causada por vertimientos de ARD y ARnD que contienen generalmente un alto grado de material orgánico de microorganismos, limus, etc. (Sierra, 2011). Así mismo, la conductividad eléctrica tiene una estrecha relación con los anteriores parámetros puesto que indica la mineralización, presencia de sales, conjugando cationes y aniones disueltos en el agua (IDEAM, 2010). Con lo anterior, sus valores pueden incrementarse por vertimientos domésticos de asentamientos humanos grandes, vertimientos de corredores industriales, empleo de fertilizantes en la actividad agrícola o por la composición natural del suelo.

Para los puntos de vertimientos de aguas residuales y puntos de aguas superficiales, la turbiedad, la conductividad y los SST presentaron diferencias estadísticas significativas entre los puntos de monitoreo. Para el tramo 1 se encontró que para el punto C2 correspondiente a la bocatoma de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Mijitayo de EMPOPASTO S.A E.S.P., los valores en promedio de turbiedad, conductividad y SST se encuentran en 6 NTU, 105  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 6 mg SS/L respectivamente (figura 15); no obstante, se observó un incremento de estos valores en el punto C3, que se puede atribuir al uso de suelo, que es especialmente para actividades agrícolas así como también a la llegada de la quebrada Cubijan (ver figura 11) que pudo incidir en la calidad del agua de la quebrada Miraflores. Cabe señalar que la normatividad ambiental vigente no reporta para estos parámetros criterios de calidad de fuentes de agua, que para consumo humano y doméstico requieren tratamiento convencional.

Para el tramo 2 los valores de turbiedad, conductividad y SST que aportan los puntos R1 y R2 a la quebrada Miraflores están entre 4.412 y 6.214 NTU para turbiedad, entre 2.156 y 2651  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para conductividad y entre 1.090 y 1.400 mg SS/L para SST respectivamente. Lo cual se puede atribuir a la cantidad de materia orgánica y sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales domésticas como industriales. El punto R4 es fundamental puesto que se encuentra después de las descargas de aguas residuales de la gran mayoría de la población rural; en este punto se reportan valores de turbiedad, conductividad y SST en promedio de 182 NTU, 531  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 163 mg SS/L, respectivamente (figura 15).

Posteriormente, para el punto C4 (antes de ingresar a la ciudad) se observan en promedio valores de turbiedad, conductividad y SST de 40 UNT, 46  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 46 mg SS/L, respectivamente, debido a que los agentes contaminantes de la quebrada Miraflores presentan buenos niveles de biodegradabilidad. Para el tamo 3 (R5, C5 y C5\*) se observó que el vertimiento puntual de aguas residuales aporta a la quebrada valores de turbiedad, conductividad y SST de 481 NTU, 1202  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 420 mg SS/L, respectivamente. Para conocer la influencia de este vertimiento en la quebrada se observaron los valores de estos parámetros en el punto C5, reportando valores de 34 NTU, 31  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 46 mg SS/L, respectivamente. Después de la descarga de la quebrada La Loreana (punto C5\*) se encontró para este estudio, que la calidad del agua mejora, ya que se reportaron valores de turbiedad de 26 NTU y de SST de 28 mg SS/L. Para el caso de la conductividad, los valores se mantuvieron estables.

En el tramo 4 (zona baja de la quebrada) se observó que los valores de turbiedad, conductividad y SST aportados por las descargas de los puntos R1 y R2 oscilan entre 215 y 298 NTU, 1202 y 301  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 566 y 275 mg SS/L, respectivamente; así como también se encontró que en el punto C6 “Antes descarga Hospital Departamental” los valores de turbiedad y SST descienden considerablemente pudiendo llegar a presentar valores entre 10 NTU y 24 mg SS/L.



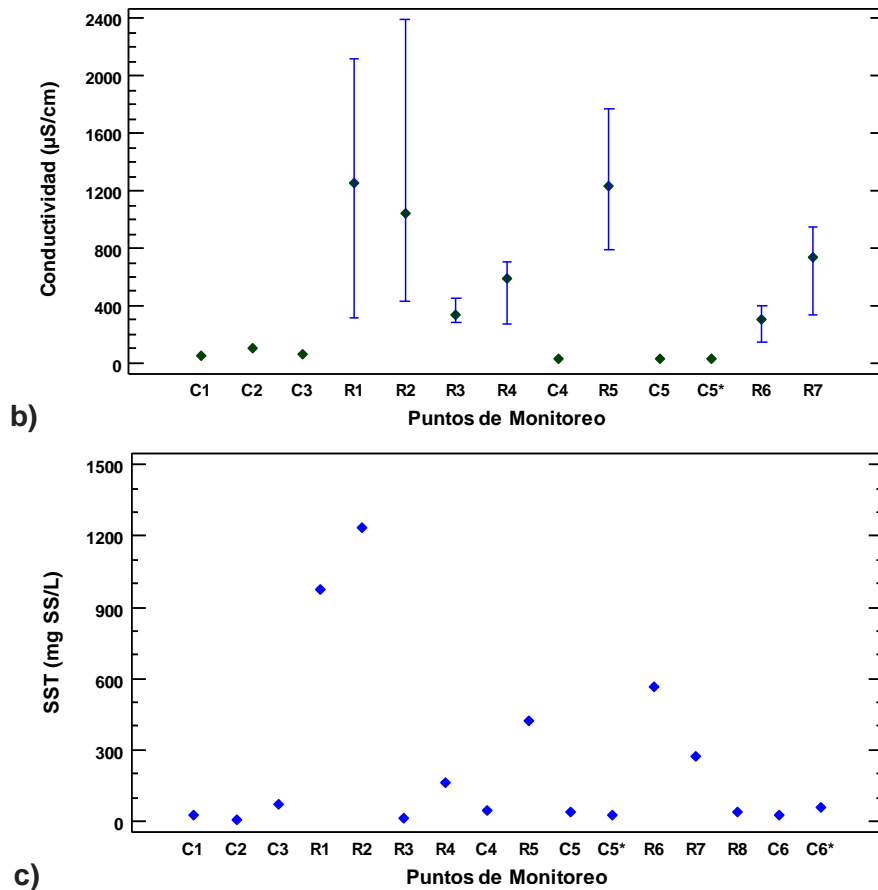


Figura 15. Medias para a) turbiedad, b) conductividad y c) sólidos suspendidos totales por puntos de monitoreo de vertimiento de aguas residuales (R) y de aguas superficiales (C).

#### 7.2.1.4. Oxígeno Disuelto (OD)

El Oxígeno Disuelto es un indicador por excelencia de la calidad del agua para la vida acuática (Kannel et al., 2007) puesto que incide en casi todos los procesos químicos y biológicos. Para los puntos de vertimientos de aguas residuales y puntos de aguas superficiales, el oxígeno disuelto presentó diferencias estadísticas significativas entre los puntos de monitoreo. El tramo 1 presentó los valores más altos de OD de la quebrada Miraflores con concentraciones de 7,3, 7,2 y 4,8 mg O<sub>2</sub>/L, respectivamente, debido a que en este tramo de la quebrada, el uso es principalmente para consumo humano; no obstante, la disminución del OD en el punto C3 se puede atribuir a la presencia de valores más altos de turbiedad, conductividad y SST con respecto a C1 y C2, lo que contribuye a la disminución del OD en estas aguas (Kumar et al, 2011; IDEAM, 2011). Cabe resaltar que

el OD es un indicador del proceso de degradación de la materia orgánica, corroborándose con este parámetro medido en el punto C3, el cual se encuentra alrededor de 4,8 mg O<sub>2</sub>/L.

Teniendo en cuenta los criterios de calidad para uso del agua (consumo humano y agricultura), se encontró que los puntos C1 y C2 de este tramo de la quebrada cumplen con los valores máximos admisibles que se encuentran en el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico de CORPONARIÑO (tabla 3).

Para el tramo 2 correspondiente a las descargas puntuales R1, R2 y R3 se reportaron niveles inferiores de OD de 2,43, 1,92 y 1,26 mg O<sub>2</sub>/L, respectivamente. Lo anterior se debe probablemente a que el monitoreo de los vertimientos se realizó en horas específicas del día, donde se observó que las aguas residuales vertidas en estos puntos contenían mayores concentraciones de carga contaminante generadas por industrias del sector poblado de Catambuco y Botanilla; sin embargo, también se observó que en algunas horas del día los vertimientos en cada uno de estos puntos son de tipo doméstico, razón por el cual se reporta para este estudio valores máximos de OD de 6,4; 5,4 y 5,6 mg O<sub>2</sub>/L, respectivamente.

Para el punto R4, se encontró que el valor en promedio de OD en la quebrada Miraflores fue de 3,9 mg O<sub>2</sub>/L, reportándose valores mínimos hasta de 2,4 mg O<sub>2</sub>/L. Por lo tanto, en este punto de la quebrada las condiciones difícilmente favorecen la diversidad de especies deseables como los peces, que en general pueden subsistir a concentraciones de OD superiores a 4 mg/L (SIAC, 2002); además, se encontró que este tramo de la quebrada no cumple con los criterios de calidad fijados por el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico de CORPONARIÑO (tabla 3); que considera que el OD debe ser superior o igual a 5,0 mg O<sub>2</sub>/L. Para el punto C4 (aguas más abajo) se encontró que los valores de OD se encontraban en promedio en 2 mg O<sub>2</sub>/L.

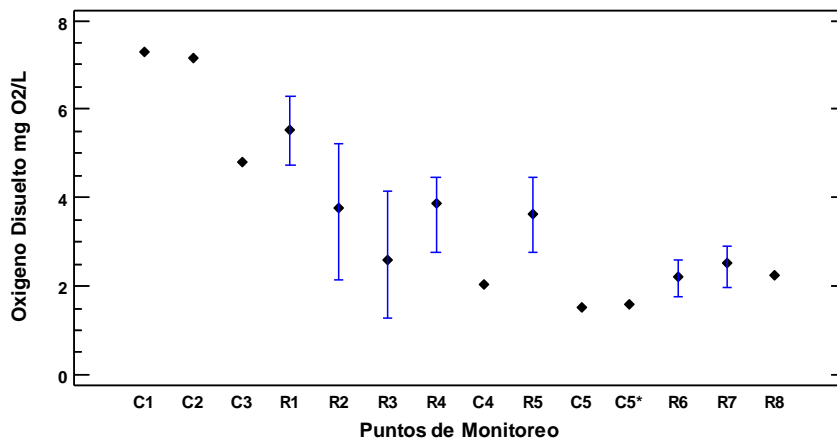




Figura 16. Medias para oxígeno disuelto por puntos de monitoreo de vertimiento de aguas residuales y de aguas superficiales.

Para el tramo 3, en el punto R5 los niveles de OD de los vertimientos de aguas residuales domésticas presentaron en promedio valores de 3,6 mg O<sub>2</sub>/L y en el punto C5 y C5\* (entrada a la ciudad) los niveles de OD en la quebrada fueron de 1,5 y 1,6 mg O<sub>2</sub>/L respectivamente; lo que indica que los niveles de OD no fueron suficientes para abastecer los procesos naturales de descomposición de materia orgánica (DBO y DQO) transportados desde la zona media hasta la zona baja de la quebrada.

Para el tramo 4, en los puntos R6 (descargas de la zona rural de la ciudad), R7 y R8 se reportaron concentraciones de OD de 2,1, 2,4 y 2,3 mg O<sub>2</sub>/L, respectivamente, lo que indica la respuesta ambiental de la quebrada a la contaminación por materia orgánica y SST.

## **7.2.2. Parámetros químicos**

### **7.2.2.1. Nitratos y nitritos**

Los nitratos son el estado más estable del proceso de oxidación del nitrógeno en condiciones aerobias provenientes por lo general por contaminación de las aguas residuales domésticas en forma de urea y proteínas. Estos compuestos son fácilmente degradables por las bacterias, que los transforman en amonio, y a partir de él producen nitritos y nitratos. Por otro lado, se ha encontrado que otra una fuente de contaminación por nitratos se debe a los compuestos de efluentes agrícolas provenientes de fertilizantes nitrogenados y agroquímicos lo cual contienen altos niveles de nutrientes entre ellos, los nitratos (García, 1994).

De acuerdo con los datos obtenidos del análisis de los compuestos nitrogenados en los vertimientos puntuales y en las aguas superficiales de la quebrada Miraflores, se encontró estadísticamente para los nitratos, que no hay diferencias significativas entre cada punto de monitoreo ( $p > 0,05$ ), como lo indica la tabla 16. Para el tramo 1, que corresponde a la zona de la quebrada con menor contaminación, se encontraron concentraciones máximas de nitratos para C1, C2 y C3 de 8,2, 4,3 y 9,9 mg NO<sub>3</sub>/L, respectivamente, y de nitritos 0,05, 0,23 y 0,63 mg NO<sub>2</sub>/L, respectivamente; cumpliendo con los valores máximos

permisibles para uso del agua para consumo humano que dicta el decreto 1076 del 2015: 10 mg NO<sub>3</sub>/L (nitratos) y 1 mg NO<sub>2</sub>/L (nitritos).

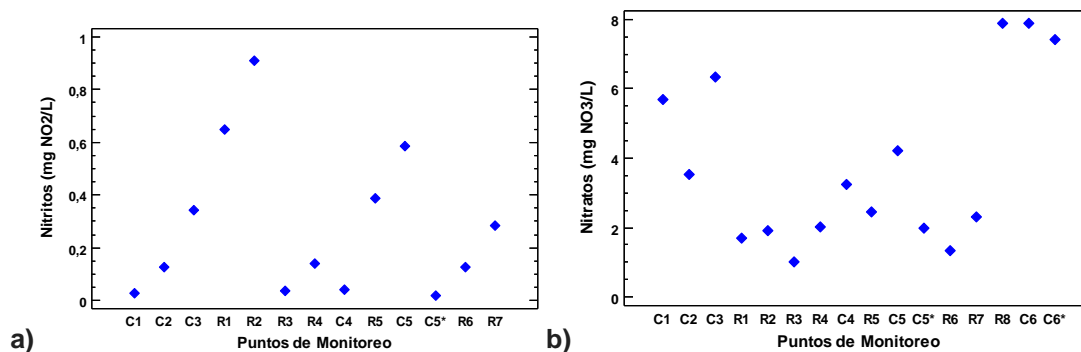


Figura 17. Medias para a) nitratos y b) nitritos por puntos de monitoreo de vertimiento de aguas residuales (R) y de aguas superficiales (C).

En los tramos 2, 3 y 4, las concentraciones encontradas en los diferentes puntos de vertimientos puntuales de aguas residuales y en los puntos de aguas superficiales de la quebrada Miraflores, no presentan riesgo de contaminación significativa (figura 17), ya que están por debajo de los límites máximos admisibles establecidos en la normatividad ambiental vigente (tabla 3).

#### 7.2.2.2. Fosfatos

El fosfato es un elemento esencial para la vida de las plantas, pero su abundancia en el agua, puede acelerar la eutrofización (Lee et al., 2017; Li et al., 2016; Jung et al., 2015). Las fuentes naturales de fosfato acuoso se presentan debido a la descomposición de rocas y minerales, erosión, escorrentía de aguas pluviales, sedimentación, deposición atmosférica e ingreso directo de animales y de vida silvestre (Li et al., 2017; Jung et al., 2015; Fadiran et al., 2008). Las fuentes antropogénicas más grandes de fosfato acuoso son la escorrentía agrícola, descargas industriales (Mohan et al., 2014) y las aguas residuales domésticas que contienen orina y heces fecales (Mihelcic et al., 2011)

De acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio, es importante manifestar que, las concentraciones de fosfatos encontradas en los diferentes puntos de monitoreo, indicaron un riesgo significativo al estar por encima de 0,5 mg PO<sub>4</sub>/L, sin embargo, no se conocen aún límites permisibles establecidos por la normatividad ambiental vigente. Para el tramo 1 de la quebrada (C1, C2 y C3) se encontraron en los puntos de monitoreo

concentraciones máximas de fosfatos de 15,3, 0,5 y 8,3 mg PO<sub>4</sub>/L respectivamente, lo que se puede atribuir a que en estas áreas se concentran actividades de producción agrícola y pecuaria alrededor de la quebrada; potencialmente las cantidades de fertilizantes utilizados representan un riesgo creciente de contaminación de aguas superficiales (Li *et al.*, 2016). Para el tramo 2, los vertimientos puntuales R1 y R2 aportaron grandes concentraciones de fosfatos, reportándose valores máximos de 242 y 314 mg PO<sub>4</sub>/L, respectivamente, lo que se puede atribuir a la composición mineral de la leche de vaca, lo cual contiene aniones de fosfato inorgánico en diversas formas; 50% aproximadamente en estado coloidal y 50% difundido (Gaucher, 2007; Guacheron, 2005) y que son descargadas diariamente sobre la quebrada. Adicionalmente esto se atribuye a las heces fecales que son canalizadas en estos puntos provenientes del centro poblado de Catambuco y Botanilla y al uso indiscriminado de agroquímicos y la escorrentía extensa de fósforo provenientes de prácticas agrícolas que se realizan de forma permanente en la zona media de la quebrada lo cual afectan las aguas superficiales (Li *et al.*, 2016). Ejemplo de lo anterior también son las excretas ganaderas que contienen altas concentraciones de nitrógeno y fósforo que están relacionados con la contaminación de aguas superficiales (Miller, 2001; Reddy *et al.*, 1999), que llegan a los cuerpos de aguas directamente a través de escurrimientos, infiltraciones y percolación profunda en las granjas, e indirectamente por escorrentías y flujos superficiales desde zonas de pastoreo y tierras de cultivo (EPA, 2006)

Con lo anterior, en la figura 18 se observan altas concentraciones de fosfatos a lo largo del cauce de la quebrada Miraflores. Los vertimientos puntuales R3, R5, el punto R4 de la zona media y los puntos R6 y R7 de la zona baja de la quebrada aportan en promedio concentraciones de 21 mg PO<sub>4</sub>/L; y las concentraciones de los puntos C4, C5 y C5\* en las aguas superficiales de la zona media y baja de la quebrada contienen en promedio concentraciones de 6 mg PO<sub>4</sub>/L; lo cual corrobora el análisis estadístico, que no existen diferencias significativas de fosfatos por puntos de monitoreo en la zona media y baja de la quebrada Miraflores (tabla 16).

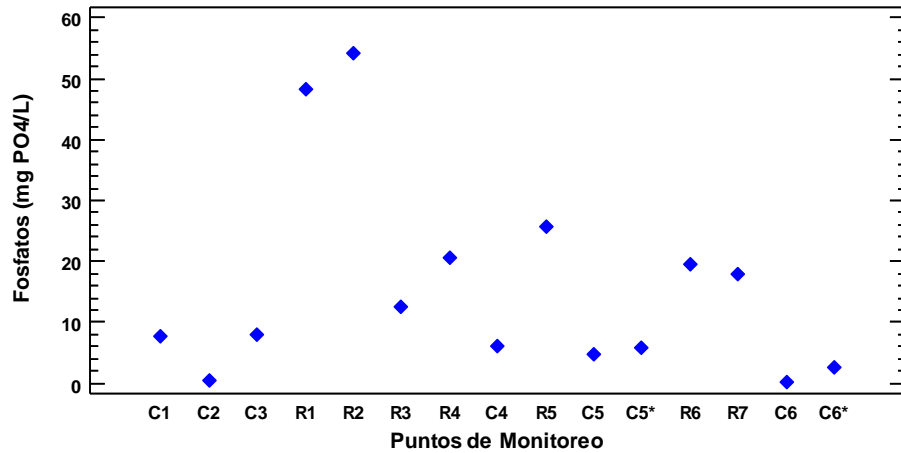


Figura 18. Medias para fosfatos por puntos de monitoreo de vertimiento de aguas residuales (R) y de aguas superficiales (C).

Cabe resaltar que los valores permisibles para fosfatos aún no están disponibles en la normatividad ambiental, lo que demuestra que se necesitan más estudios para tener una evaluación completa del riesgo ambiental.

### 7.2.2.3. Hierro Total

La aparición de hierro en cuerpos de agua naturales suele ser como elementos trazas en forma de iones ferroso ( $Fe^{2+}$ ) y férrico ( $Fe^{3+}$ ) comúnmente solubles (CGWB 2010, Mehta y Shrivastava 2012). Estudios recientes indican que la presencia del hierro en las fuentes naturales de agua está vinculado a reacciones de oxidación-reducción que ocurren en la naturaleza (Hem 1959, Freeze and Cherry 1979; CGWB 2010, Lorenzen et.al. 2010; Mehta and Shrivastava 2012); convirtiéndose en un elemento necesario para la vida biológica, pero cuando alcanzan altas concentraciones pueden resultar tóxicos, inhabilitando el agua para algunos usos y acumulándose en los organismos y microorganismos acuáticos.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio, para los puntos de vertimientos de aguas residuales y puntos de aguas superficiales, el hierro total presentó diferencias estadísticas significativas entre los puntos de monitoreo.

Para el tramo 1 de la quebrada (C1, C2 y C3) se encontraron concentraciones máximas de hierro total de 0,3, 0,9 y 0,4 mg Fe/L, respectivamente, que pueden deberse al uso de fertilizantes y agroquímicos utilizados en la agricultura, tal como se había mencionado anteriormente. Teniendo en cuenta el uso del agua para riego y agricultura, se

encontró que las concentraciones de este parámetro en este tramo, están por debajo de los límites máximos admisibles establecidos en la normatividad ambiental vigente, que fija un valor de 5 mg Fe/L (tabla 3).

En el tramo 2, los vertimientos puntuales R1 y R2 aportaron grandes concentraciones de hierro total, reportándose valores máximos de 39 y 47 mg Fe/L respectivamente, lo que se puede atribuir principalmente a la composición de la materia orgánica fecal que es transportada en las aguas residuales por el lavado de marraneras, lo cual son canalizadas hasta el punto de muestro; así como también a la composición mineral de la leche de vaca, lo cual contiene concentraciones de hierro en mínimas proporciones (Hernández, 2010).

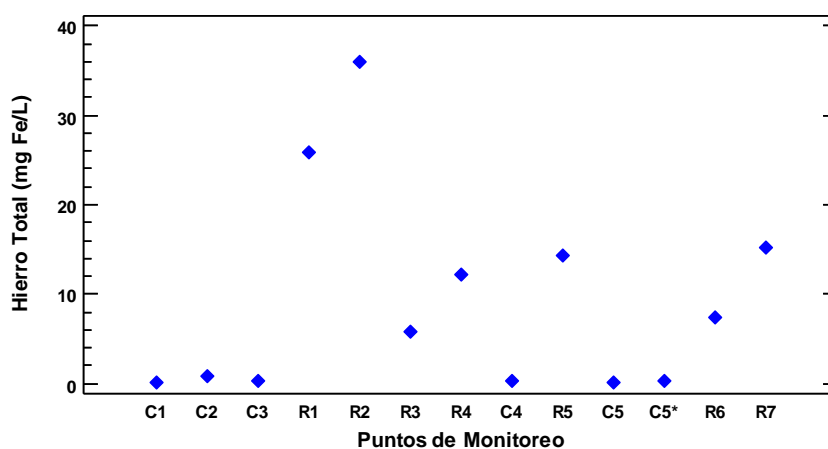


Figura 19. Medias para hierro total por puntos de monitoreo de vertimiento de aguas residuales (R) y de aguas superficiales (C).

En la figura 19, se observan altas concentraciones de hierro total en los puntos de vertimientos puntuales a la quebrada Miraflores; que se debe en gran parte a la materia orgánica provenientes de las aguas residuales domésticas. El vertimiento puntual R3 (tramo 2) aporta en sus vertimientos concentraciones en promedio de 8 mg Fe/L. En el punto R4 se reportan valores de 12 mg Fe/L, lo cual indica resistencia a la descomposición y capacidad de bioacumulación. No obstante aguas más abajo (C4) se reportaron en promedio concentraciones de 0,2 mg Fe/L, lo que se puede atribuir a la acumulación en sedimentos o en los cuerpos de los organismos, representando una seria amenaza para la salud de los humanos y otros animales, plantas y ecosistemas (Liu et al., 2016; Malvandi, 2017; Suresh et al., 2012). El mismo comportamiento se observó para el tramo 3, reportándose elevadas concentraciones para la descarga R5 de 15 mg Fe/L y mínimas

concentraciones en los puntos C5 y C5\* de 0,1 y 0,2 mg Fe/L respectivamente. Finalmente para el tramo 4 (R6 y R7) se reportaron concentraciones de 9 y 15 mg Fe/L contenidos en la materia orgánica que transporta la quebrada.

#### 7.2.2.4. Sulfatos

El azufre es un contaminante, que se encuentra comúnmente en los efluentes de aguas residuales municipales e industriales generados a partir de diversas operaciones, tales como curtido, minería, petroquímica, fermentación y procesamiento de alimentos (Liu et al., 2012). La gran cantidad de aguas residuales que contienen azufre conduce a graves problemas ambientales como el empobrecimiento de la flora y fauna acuática, las emisiones de gases de azufre, etc. (Jarvis y Younger, 2000). En la zona de estudio, las concentraciones altas de sulfatos se le pueden atribuir: (i) al uso de fertilizantes que aplican los agricultores al suelo, lo cual contienen altas concentraciones de azufre elemental que por acción de las bacterias del suelo lo transforman (oxidación) en sulfatos que fácilmente por escorrentía y flujos superficiales pueden llegar a la quebrada y (ii) a aguas residuales con heces fecales y urea lo cual es rica en nutrientes tales como fósforo, potasio y sulfatos (Jönsson et al., 2004).

De acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio, para los puntos de vertimientos de aguas residuales y puntos de aguas superficiales, los sulfatos presentaron diferencias estadísticas significativas entre los puntos de monitoreo. Las concentraciones de iones sulfatos reportados para el tramo 1 fueron de 3,2, 1,2 y 8,0 mg SO<sub>4</sub>/L. Para el tramo 2, las descargas puntuales R2 y R3 presentaron mayores concentraciones de sulfatos con valores de 55 y 67 mg de SO<sub>4</sub>/L. Para el punto R4 la concentración de sulfatos que transporta la quebrada Miraflores es en promedio de 54 mg SO<sub>4</sub>/L, evidenciándose problemas por malos olores debido a las concentraciones bajas de OD encontrada en este punto (2,4 mg O<sub>2</sub>/L). En ausencia de OD, los sulfatos pasan a ser fuente de oxígeno para las oxidaciones bioquímicas ocasionadas por bacterias anaerobias; en estas condiciones, el ion sulfato puede reducirse por la acción de bacterias sulfatoreductoras a ion sulfuro (S<sup>2-</sup>), estableciéndose un equilibrio entre el hidrógeno y el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), ocasionando un olor desagradable (Li et al., 2015).

Para el tramo 3, la concentración de sulfatos en la descarga R5 fue de 87 mg SO<sub>4</sub>/L. Esta descarga como ya se había mencionado anteriormente, se encuentra antes de ingresar a la ciudad encontrándose en este tramo que las aguas que ingresan a la ciudad

presenta graves problemas de contaminación por fuertes olores desagradables lo cual se puede atribuir a la formación de ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) en grandes concentraciones por la presencia de iones sulfato en el agua.

En el tramo 4, en las descargas R6 y R7 se reportaron concentraciones elevadas de sulfatos con valores de 47 y 57 mg  $SO_4/L$  lo que indica que las aguas residuales que llegan a la quebrada son principalmente de tipo domésticas. Sin embargo, se encontró que las concentraciones de este parámetro están por debajo de los límites máximos admisibles establecidos en la normatividad ambiental vigente (tabla 3).

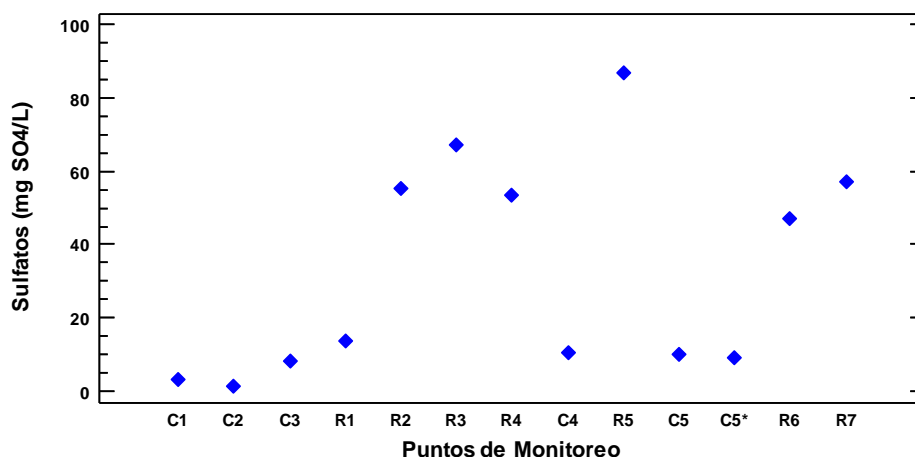


Figura 20. Medias para sulfatos por puntos de monitoreo de vertimiento de aguas residuales (R) y de aguas superficiales (C).

### 7.2.3. Parámetros microbiológicos

#### 7.2.3.1. Coliformes Totales (CT) y *Escherichia coli* (*E.coli*)

Para evaluar los riesgos de contaminación por patógenos transmitidos por el agua de animales y humanos, los indicadores de bacterias fecales (IBF) se utilizan ampliamente como un indicador de la calidad microbiológica del agua (Ahmed et al., 2010; Frenzel; Ahmed et al., 2006; Carroll et al., 2006). Los coliformes totales (TC) pertenecen al grupo de IBF que son comúnmente utilizadas para análisis de calidad del agua (Collins y Rutherford, 2004). Debido a que existen muchas bacterias del grupo coliforme que pueden ser transmitidas por el agua y que no son de origen fecal (Doyle y Erickson, 2006), la EPA recomienda el uso de *Escherichia coli* (*E. coli*) como un indicador confiable de IBF para

identificar la contaminación microbiana de cuerpos de agua dulce (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2005).

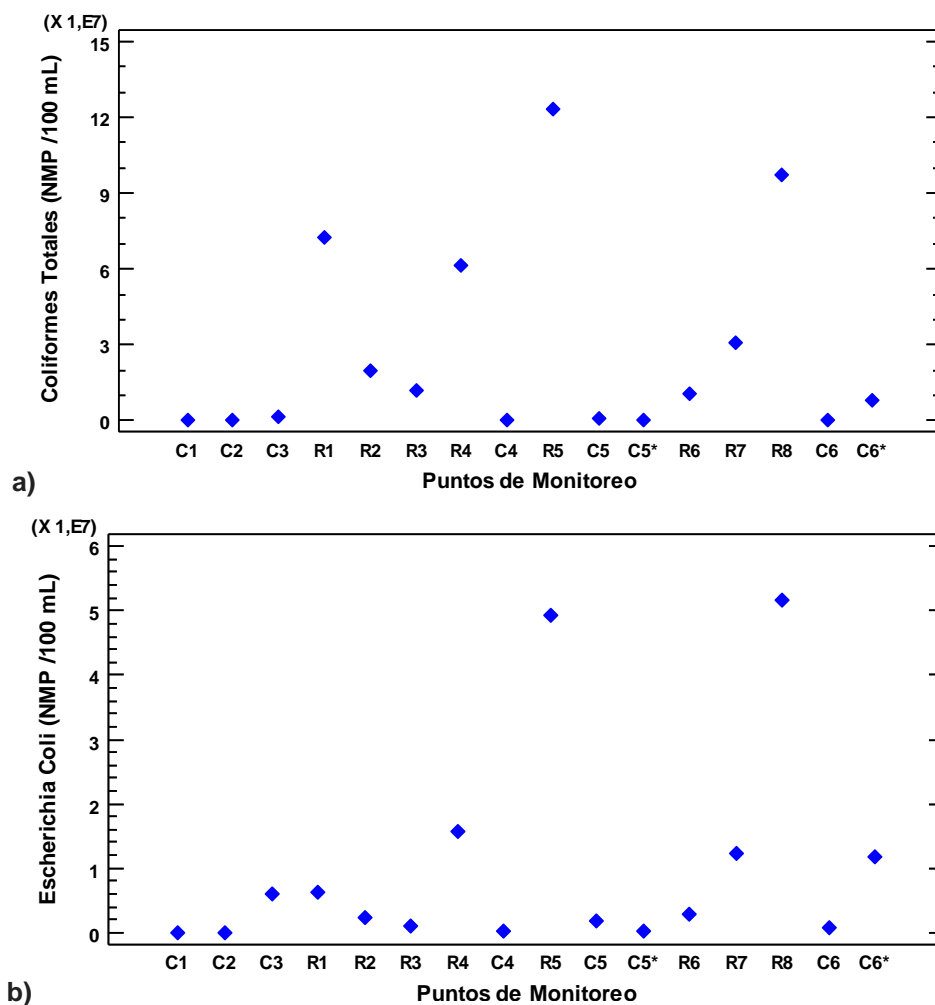


Figura 21. Medias para a) coliformes totales y b) Escherichia coli por puntos de monitoreo de vertimiento de aguas residuales (R) y puntos de monitoreo de aguas superficiales (C).

En este estudio se detectaron CT y *E. coli* en todos los puntos de monitoreo de vertimientos de aguas residuales y en los puntos de aguas superficiales, presentando diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) para cada punto. Para el tramo 1, en los puntos C1 y C2, se reportaron concentraciones mínimas de CT de 4.410 y 2.929 NMP/100 mL y de *E. coli* de 23.820 y 13.760 NMP/100 mL, respectivamente; adicionalmente se encontraron concentraciones máximas de CT para los dos puntos de 13.540 NMP/100 mL y de *E. coli* de 26.130 y 15.150 NMP/100 mL, respectivamente; lo que



indica para este estudio, un cumplimiento con los valores máximos permisibles en el parámetro coliformes totales para uso del agua para consumo humano con tratamiento convencional, que según el decreto 1076 del 2015, el cual se encuentra a una concentración de 20.000 NMP/100 mL; no obstante, para coliformes fecales no se cumple con los valores máximos permisibles, el cual es de un valor de 2.000 NMP/100mL.

Según los criterios de calidad para uso del agua (consumo humano y agricultura), este tramo de la quebrada no cumple con los valores máximos admisibles que se encuentran en el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico de CORPONARIÑO (tabla 3).

Para el punto C3 se reportaron concentraciones mínimas de CT de 13.540 NMP/100 mL y de *E. coli* de 26.130 NMP/100 mL y concentraciones máximas de CT de  $3,3 \cdot 10^6$  NMP/100 mL y de *E. coli* de  $1,2 \cdot 10^7$  NMP/100 mL; este incremento de contaminación fecal con respecto a los anteriores puntos es debido a que antes del punto C3 confluye la quebrada Cubijan con la quebrada Miraflores, transportando materia orgánica fecal por humanos y animales; ya que dentro de las actividades productivas, algunos agricultores aprovechan el estiércol en los campos de plantación de hortalizas, lo que representa una contaminación del suelo y la subsiguiente contaminación a las fuentes hídricas.

Cabe señalar que este tramo presentó la menor contaminación por microorganismos fecales. Sin embargo, según los resultados obtenidos en el laboratorio, no cumple con los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiera solo desinfección (tabla 3).

En el tramo 2, las concentraciones promedio de CT en las descargas R1, R2 y R3 fueron de  $7 \cdot 10^7$ ,  $2 \cdot 10^7$  y  $1 \cdot 10^7$  NMP/100 mL respectivamente, observándose claramente un gran aporte de contaminación por microorganismos provenientes de los centros poblados de Catambuco y Botanilla; así como también, un alto nivel de contaminación fecal por *E. coli*, reportando valores de  $6 \cdot 10^6$ ,  $2 \cdot 10^6$  y 953.970 NMP/100 mL respectivamente. Para este estudio se encontró que en el punto R4 las aguas superficiales de la quebrada Miraflores transporta en promedio concentraciones de CT y *E. coli* de  $6 \cdot 10^7$  y  $2 \cdot 10^7$ ) NMP/100 mL, respectivamente. El valor de CT en este punto de la quebrada es 3.000 veces más grande al valor máximo permisible de la normatividad ambiental para usos del agua para consumo humano y 12.000 veces más grande para uso del agua para irrigación y agricultura (<5.000 NMP/100 mL). Con lo anterior es evidente que para este tramo, el contacto directo o indirecto a las aguas superficiales de la quebrada Miraflores puede presentar afectaciones a la salud humana. En el punto C4, la calidad del agua mejoró significativamente mediante la reducción de bacterias fecales, puesto que se reportaron en promedio concentraciones

de CT de 91.820 NMP/100 mL y concentraciones de *E. coli* de 182.040 NMP/100 mL. Lo que indica en términos de porcentaje una reducción del 99,8 % para CT y del 99,1 % para *E. coli* (figura 21).

En el tramo 3, se encontró que la descarga R5 aporta en promedio una concentración por CT y *E. coli* de  $1 \cdot 10^8$  y  $5 \cdot 10^7$  NMP/100 mL provenientes de las aguas residuales de algunos barrios de la zona urbana de la ciudad de Pasto. Aguas más abajo (puntos C5 y C5\*) se encontró que las aguas superficiales de la quebrada transportan en promedio para CT concentraciones de 643.980 y 166.635 NMP/100 mL; y para *E. coli*, concentraciones de  $2 \cdot 10^6$  y 241.960 NMP/100 mL respectivamente. Lo anterior indica que la descarga de las quebradas La Loreana y La Armenia en la quebrada Miraflores, ayudan a mejorar la calidad del agua.

Diferentes estudios indican que los microorganismos tienden a depositarse y acumularse en los sedimentos, donde pueden ser fácilmente removidos, resuspendidos y generar altas densidades microbianas en los cuerpos de aguas (Roper y Marshall, 1974; Jamieson et al., 2005; Byamukama et al., 2005; Pandey et al., 2012; Chigbu et al., 2005); por tanto se infiere que la mezcla de coloides orgánicos y sedimentos fue el vector de transporte de bacterias más importante a lo largo del cauce de la quebrada Miraflores, ya que las concentraciones de CT y *E. coli* se correlacionaron en este estudio positivamente con la conductividad eléctrica y la turbiedad; además, estudios indican que la supervivencia de las bacterias fecales en los sedimentos se atribuye principalmente a la disponibilidad de sustancias orgánicas solubles (Davies et al., 1995), nutrientes disueltos (Mitch et al., 2010) y otros iones que indican valores altos de conductividad eléctrica (Monaghan et al., 2007).

Para el tramo 4, se encontró que las descargas de R6, R7 y R8 aportaron en promedio concentraciones de CT de  $1 \cdot 10^7$ ,  $3 \cdot 10^7$  y  $10 \cdot 10^7$  NMP/100 y concentraciones de *E. coli* de  $3 \cdot 10^6$ ,  $1 \cdot 10^7$  y  $5 \cdot 10^7$  NMP/100 respectivamente; lo cual indica una alta contaminación por materia orgánica (altamente biodegradable) proveniente de las zonas rurales y de la zona urbana de la ciudad de Pasto (figura 21).

### **7.3. Cálculo de la carga contaminante transportada en los puntos de vertimientos de aguas residuales y análisis de su influencia en el Índice de Calidad del Agua de la quebrada Miraflores.**

Después de analizar los parámetros de calidad del agua en las principales estaciones de vertimiento de aguas residuales en la zona media y baja de la quebrada

Miraflores, se realizó un análisis detallado del cálculo de las cargas contaminantes puntuales por vertimientos aportantes de materia orgánica, sólidos y nutrientes que ejercen las diferentes actividades sectoriales industriales, comerciales, domésticas, sacrificio de ganado, etc.; así como también la carga contaminante transportada desde la zona media hasta la zona baja de la quebrada Miraflores; que afecta potencialmente las condiciones de calidad del agua superficial. Para ello se estimaron los componentes fisicoquímicos que más inciden en calidad de la quebrada entre los cuales están: La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). Se realizaron comparaciones entre cada punto de vertimiento con el fin de evaluar la evolución de la quebrada en términos de calidad a lo largo del tiempo, tal como se indica en la Tabla 20.

Tabla 20. Valores de los caudales y cargas contaminantes de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST en los diferentes puntos de muestreo.

Zona	Punto	Código	Monitoreo 1				Monitoreo 2			
			Caudal L/s	DBO <sub>5</sub> Kg/día	DQO Kg/día	SST Kg/día	Caudal L/s	DBO <sub>5</sub> Kg/día	DQO Kg/día	SST Kg/día
Media (Tramo 2)	4	R1	2,1	1041	1562	203	0,9	258	371	67
	5	R2	0,3	170	255	42	0,4	133	169	37
	6	R3	11,9	74	153	8,2	5,5	50	75	8,3
	7	R4	60,9	2169	3088	968	49	999	1917	606
			<b>Total</b>	<b>75,2</b>	<b>3454</b>	<b>5057</b>	<b>1220</b>	<b>55,7</b>	<b>1440</b>	<b>2532</b>
Baja (Tramo 3 y 4)	9	R5	15	721,8	1285	401	8,3	412	903,6	380
	11	R6	81	801,8	1860	5919	115	1571	3695	2827
	12	R7	348	8907	18044	5114	585	12471	25761	19194
	13	R8	582	7932	17634	1584	641	7207	16443	2270

Para conocer la influencia que ejercen las cargas contaminantes de materia orgánica en la calidad del agua de la quebrada Miraflores, se procedió a calcular el ICA para cada uno de los tramos; lo cual determinó las condiciones fisicoquímicas generales de la calidad la quebrada Miraflores, permitiendo reconocer problemas de contaminación en los puntos de monitoreo seleccionados, para un intervalo de tiempo específico; además, permitió representar el estado en general del agua de la quebrada Miraflores y las posibilidades o limitaciones para determinados usos en función de variables seleccionadas, mediante ponderaciones y agregación de variables fisicoquímicas y microbiológicas.

El ICA se calculó, teniendo como soporte los resultados primarios puntuales obtenidos a partir del monitoreo realizado en las dos jornadas de toma de muestra, a partir

de nueve variables: oxígeno disuelto, temperatura, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos, turbiedad, nitratos, fosfatos y coliformes totales (tabla 21).

Tabla 21. Valores de los ICA en cada uno de los puntos de muestreo.

Puntos de Monitoreo	Monitoreo 1		Monitoreo 2	
	ICA	Calidad	ICA	Calidad
C1-Descarga Puente Cubijan Alto	29,5	Mala	46,7	Mala
C2-Quebrada Miraflores Chapal	53,5	Mediana	69,4	Mediana
C3-Descarga Acueducto Botanilla	42,5	Mala	37,9	Mala
C4-Descarga Los Cristales	30,7	Mala	21,3	Muy Mala
C5-Descarga Antes Quebrada La Loreana	24,3	Muy Mala	23,1	Muy Mala
C5*-Descarga Después Quebrada La Loreana	29,1	Mala	25,7	Muy Mala
C6- Antes descarga Box Coulvert Hospital Departamental	47,2	Mala	40,5	Mala
C6*- Después descarga Box Coulvert Hospital Departamental	33,5	Mala	24,6	Muy Mala

Los resultados indican que en toda la extensión de la quebrada Miraflores hay un aumento paulatino de contaminación de  $DBO_5$  a medida que recorre su cauce aguas abajo; es decir se puede observar claramente el fenómeno de sumatorias de contaminación por cargas contaminantes transportadas a lo largo de la quebrada. En el primer tramo, que corresponde a los puntos C1, C2 y C3 se esperaban valores dentro de lo usualmente reportado con buena calidad, debido a que el uso del agua en este tramo generalmente es para consumo humano, doméstico, industrial y agrícola. Sin embargo, en la tabla 21 se reportan valores de “Mala” calidad para los puntos C1 y C3 en las dos jornadas de monitoreo y de calidad “Mediana” para el punto C2. Cabe resaltar que en este punto, se encuentra ubicada la bocatoma de EMPOPASTO S.A E.S.P., la cual diariamente capta estas aguas para abastecer la Planta de Mijitayo que realiza su tratamiento de tipo convencional.

Los puntos R1, R2, R3, R4 y C4 corresponden al tramo 2 que corresponde desde la descarga de lácteos hasta la descarga del barrio Los Cristales,. Los dos primeros puntos son descargas directas de aguas residuales canalizadas por el acueducto veredal del corregimiento de Catambuco y Botanilla; por la calidad del agua del vertimiento se puede deducir que parte de estas descargas provienen de pequeñas industrias que elaboran quesos y sus derivados. Los resultados reportaron que al sumar las cargas que aportan R1 y R2, arrojan valores hasta de 1.211 kg/día de carga orgánica de  $DBO_5$  (Tabla 20). El punto R3 corresponde a una tubería de desagüe de concreto la cual canaliza las aguas residuales de tipo doméstico (ARD) de una parte del sector del corregimiento de Catambuco y

Botanilla, el cual aporta hasta 74 kg/día de carga orgánica de DBO<sub>5</sub>. La carga total en el punto R4 es fundamental puesto que concentra la carga generada por gran parte de la población asentada aguas arriba a la quebrada Miraflores; así como también la contaminación que ejercen las diferentes zonas de cultivo que se encuentran alrededor de la quebrada. Para este punto se estimó un valor de 2.169 kg/día de carga orgánica de DBO<sub>5</sub>; lo que indica que en este tramo se presentan valores característicos de aguas superficiales con mayor deterioro en su calidad, reportándose para el punto C4 valores de ICA hasta de 21,3 que equivale a aguas de “muy mala” calidad.

El tercer tramo (R5, C5 y C5\*) corresponde desde el Colegio IPC (cuando la quebrada entra a la ciudad) hasta la descarga de las quebradas La Loreana y La Armenia (ver Figura 11). Para el punto R5 se estimó un valor de carga orgánica hasta de 722 Kg/día proveniente de la comunidad de los barrios de Altos de Chapalito y El Chambú de la zona urbana de Pasto que canaliza sus ARD a través de un colector combinado (aguas residuales y aguas lluvias); con lo anterior, se puede inferir para este estudio, que al sumar las cargas orgánicas de DBO<sub>5</sub> transportadas desde la zona media (rural) hasta la zona baja (urbana); la quebrada Miraflores debe asimilar y biodegradar alrededor de 3.454 Kg/día de DBO<sub>5</sub> en su recorrido. Además, al evaluar el ICA en este tramo (punto C5) se encontró para este estudio, que la calidad del agua superficial de la quebrada Miraflores cuando ingresa a la ciudad es “muy mala”. Se evaluó la calidad del agua después de la descarga de la quebrada La Loreana y se encontró que, aunque la quebrada Miraflores tiene buena capacidad de dilución, el agua sigue siendo de “mala” calidad.

El tercer tramo (R6, R7 y R8) corresponde desde las descargas de las quebradas Guachucal hasta la descarga *Box Couvert* Hospital Departamental. Para el punto R6 se estimó un aumento de carga contaminante hasta el valor de 1571 kg/día de DBO<sub>5</sub>, influenciado por el aumento del caudal y lluvias sectorizadas en las quebradas Guachucal el día del monitoreo 2. Cabe resaltar que estos vertimientos corresponden a las aguas residuales de los sectores rurales de Canchala, Puerres, El Rosario y Jamondino.

En este sector de la quebrada se observó que las concentraciones de las muestras compuestas incrementaron alrededor de 10 veces más la carga orgánica de DBO<sub>5</sub> y DQO en comparación al tramo anterior. Esto se debe a que, en este tramo, el caudal que se midió corresponde a la descarga de las quebradas (receptoras de aguas residuales domésticas de población rural) que confluyen en la zona urbana con la quebrada Miraflores. Para el punto R7 que corresponde a las descargas de la quebrada Membrillo Guaico, receptora de descargas directas de ARD de los barrios Villa Olímpica y Villa del Sol y de la quebrada

Jamondino, receptora de las descargas de ARD del barrio La Minga. Estas dos quebradas se unen antes de confluir en el Box Couvert del punto R7.

En este punto, se estimaron valores de carga orgánica de 8.907 Kg/día de DBO<sub>5</sub> para el primer monitoreo y valores de 12.471 Kg/día de DBO<sub>5</sub> para el segundo monitoreo; esta diferencia de concentraciones está influenciada por las lluvias frecuentes en la zona urbana de la ciudad que causaron aumentos importantes en el caudal alterando los resultados de calidad principalmente en los sólidos, la DBO<sub>5</sub> y la DQO. Por último, para el punto R8 se estimó un valor de hasta 15.865 Kg/día de DBO<sub>5</sub> (valor estimado de un muestreo compuesto 24 horas). Es importante resaltar que para este estudio, este valor calculado de carga contaminante corresponde al aporte de carga orgánica que la quebrada Miraflores vierte al río Pasto. En las figuras 22 y 23, se indica el perfil de cargas de DBO<sub>5</sub> y DQO, en el cual se puede ver que existe una correlación en cada una de las pendientes que indican las gráficas.

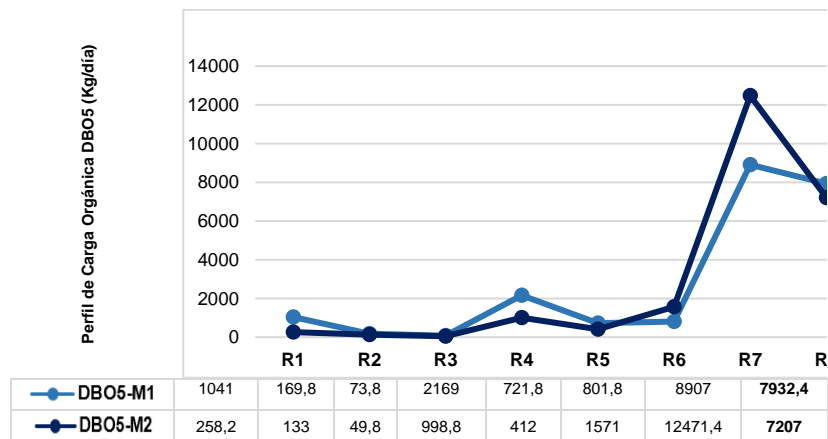


Figura 22. Perfil de cargas de DBO<sub>5</sub> en la zona media y baja de la quebrada Miraflores.

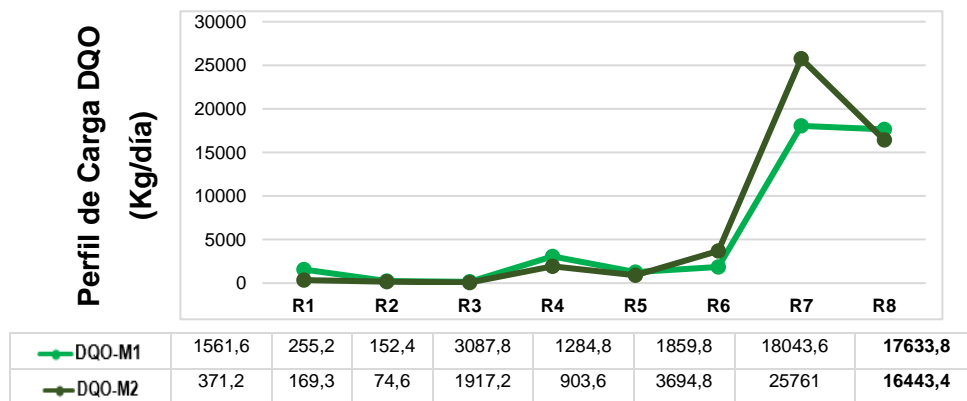


Figura 23. Perfil de cargas de DQO en la zona media y baja de la quebrada Miraflores.

Como ya se había expresado anteriormente, las variables DBO<sub>5</sub> y DQO son indicadores ambientales representativos para analizar la calidad del agua en un cuerpo superficial. La DBO<sub>5</sub> corresponde a la fracción de materia orgánica biodegradable y la DQO la materia oxidable, que incluye las fracciones biodegradables y las no biodegradables (IDEAM, 2010). Con el fin de conocer el potencial de asimilación de carga orgánica biodegradable en la quebrada Miraflores, se estimó la relación directa entre los parámetros DBO<sub>5</sub> y DQO. Con lo anterior que se encontró en este estudio, se apreció que la calidad de la carga contaminante que transporta la quebrada Miraflores es “biodegradable” (soluble) para los puntos R6 y R8, y “muy biodegradable” (muy soluble) para el resto de puntos evaluados. Con lo anterior se puede inferir que la composición de las aguas residuales que la quebrada Miraflores en la mayoría del tiempo recibe son de tipo domésticas, tal como se indica en la Tabla 22.

Tabla 22. Resultados experimentales de la relación entre parámetros DBO<sub>5</sub> y la DQO.

Zona	Punto	Código	Relación DBO <sub>5</sub> /DQO	Relación DBO <sub>5</sub> /DQO
			Monitoreo 1	Monitoreo 2
Media	4	R1	0,7	0,7
	5	R2	0,7	0,8
	6	R3	0,5	0,7
	7	R4	0,7	0,5
	9	R5	0,6	0,5
Baja	11	R6	0,4	0,4
	12	R7	0,5	0,5
	13	R8	0,4	0,4

Relación DBO<sub>5</sub>/DQO: <0,2 poco biodegradable; 0,2-0,4 biodegradable; >0,4 muy biodegradable.

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003)

Cabe resaltar, que los vertimientos de materia orgánica biodegradable, expresados como DBO<sub>5</sub>, al ser degradados por los organismos aerobios generan una reducción del oxígeno disponible en la quebrada, lo cual afecta el desarrollo de vida acuática. Un incremento de la DBO conlleva mayor carga bacteriana (patógenos), que produce efectos adversos en la salud de la población por consumo directo del agua o indirecto a través del consumo de alimentos cuyo riego agrícola se ha realizado con agua contaminada.

Los valores reportados en la tabla 22 tienen mayor relevancia a la hora de diseñar unidades de tratamientos biológicos o para evaluar y/o controlar la eficiencia de los sistemas de tratamientos de aguas residuales (Lozano-Rivas, 2012).

### 7.3.1. Análisis de perfil de carga de Sólidos Suspendidos Totales en la Quebrada Miraflores.

La cantidad de SST en un cuerpo de agua es un indicador representativo para analizar la calidad de aguas superficiales (IDEAM, 2010) debido a que tienen una estrecha relación con el aporte de sólidos a los cauces de corrientes superficiales, que puede ser de origen natural por el arrastre de sólidos por precipitaciones o antrópica, por erosión del suelo debido a la práctica de actividades agrícolas de arado y labranza como también por remoción de cobertura vegetal con fines de construcción de obras de infraestructura, tal como se observa frecuentemente a lo largo de la quebrada Miraflores (Figura 23).

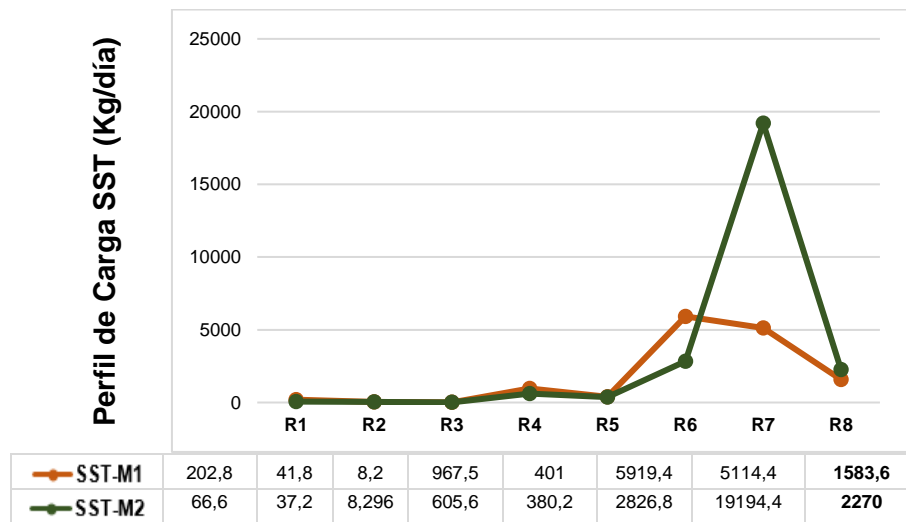


Figura 24. Perfil de cargas de SST en la zona media y baja de la quebrada Miraflores.

En la figura 24 se puede observar que el aporte de SST para los vertimientos puntuales de la estación descarga de Fabrica de Lácteos (R1) y descarga Catambuco - Botanilla (R2) fue hasta de 245 Kg/día. El punto puente Catambuco frente a Colegio (R3) presentó valores bajos de SST con valores hasta de 8,3 Kg/día. Como ya se había mencionado, el punto descargas Minas Catambuco (R4) es una estación de monitoreo importante porque la quebrada ha recibido gran parte de las aguas residuales de la población aledaña a la quebrada Miraflores, por lo cual se estimó que la quebrada Miraflores transporta en sus aguas superficiales valores hasta de 968 Kg/día. Con lo anterior se puede inferir que dicho aporte de sólidos al agua está correlacionado con repercusiones ecológicas, incremento del color y la turbiedad por descargas industriales, así como por la presencia de materia orgánica e inorgánica (sumatoria expresada como DQO). Para el punto Colegio IPC (R5) se reportó un valor hasta de 401 Kg/día, provenientes en su gran



mayoría por ARD. Finalmente se encontraron valores altos de SST para el tramo de la quebrada que atraviesa la zona urbana, reportándose valores superiores a los 2.826 Kg/día de SST que representan la carga de sólidos provenientes de la parte rural de la ciudad. En la figura 24, para el punto descarga después Terminal de Transporte se observa un pico alto de carga de SST con un valor de 19.194 Kg/día, que se debe a las condiciones presentadas el día de la toma de muestra que fueron precipitaciones solo al final del monitoreo incrementando el caudal cerca al 50 %, lo cual hace presumir valores muy cercanos a la realidad para este punto de toma de muestra.

## 8. Conclusiones

- La evaluación de la calidad del agua en la zona media y baja de la quebrada Miraflores indicó su deterioro a medida que avanzó en su recorrido, identificándose cuatro tramos: el primero con condiciones de aguas de calidad “mediana”, el segundo y el tercero con un aumento en los niveles de patógenos y material particulado debido a la presencia de vertimientos de aguas residuales de origen doméstico y agropecuario, y el último con valores característicos de aguas superficiales con mayor deterioro en su calidad asociados principalmente a las descargas de las quebradas Membrillo Guaico, Jamondino y Guachucal que son receptoras de vertimientos de aguas residuales domésticas del sector urbano y rural de la ciudad de Pasto.
- Los ICA evaluados confirman el deterioro creciente en la calidad del agua de la quebrada Miraflores a medida que es afectado por las diversas actividades socioeconómicas desarrolladas en alrededor de su cauce; presentando en general calidad entre “mala” y “muy mala”.
- Los parámetros de calidad de agua que excedieron los valores máximos admisibles según el decreto 1076 del 2015 fueron la demanda química de oxígeno, la demanda bioquímica de oxígeno y los sólidos suspendidos totales.
- El tramo que presentan los más bajos índices de calidad es el comprendido entre las descargas Los Cristales y la descarga de la quebrada La Loreana, el cual corresponde al tramo cuando el agua ingresa a la ciudad; esto se debe a que la quebrada Miraflores es la principal receptora de las aguas residuales provenientes de los corregimientos de Catambuco, Botanilla, Jongovito y veredas aledañas que pertenecen a zona rural de la ciudad de Pasto.
- La significativa incidencia de los microorganismos y patógenos, así como del material particulado sobre el valor final de los ICA resalta la necesidad inmediata de aplicar estrategias eficientes de manejo de vertimientos directos de origen doméstico, industrial, agrícolas y de control de la erosión en la quebrada, ya que la

ausencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales en las zonas rurales y en la zona urbana de Pasto–Nariño, permite que un alto porcentaje de las aguas residuales generadas vuelva a los cuerpos de agua sin ser tratadas, afectando la calidad de vida de las poblaciones y de los ecosistemas.

## 9. Recomendaciones

- Teniendo en cuenta que la mayor contaminación que recibe la quebrada Miraflores proviene del sector doméstico de la zona rural de la ciudad de Pasto, debido a la carencia de servicios de saneamiento básico y cobertura de alcantarillado, se recomienda llevar procesos activos de gestión pública y territorial que permita la construcción de acuerdos interinstitucionales con las comunidades, contribuyendo a la creación de redes sociales comunitarias locales y de participación alrededor de la salud pública en procesos de gestión por el agua y su calidad.
- Implementar procesos de capacitación a largo y mediano plazo, conducente a lograr una conciencia ambiental temprana en la población aledaña a la quebrada Miraflores.
- Las medidas adecuadas para lograr un mejoramiento de las condiciones de la calidad del agua en la quebrada Miraflores, deben orientarse hacia la implementación de prácticas de conservación de suelos y aguas en los tramos críticos identificados en este estudio, debido al uso inadecuado del suelo.
- Se debería realizar mayor control en el uso de pesticidas y fertilizantes a una distancia menor de 10 m del cauce de los ríos y quebradas. Además, con las parcelas que cumplan con esta condición, se debe establecer barreras o franjas de protección de pastos combinado con árboles, entre el área de cultivo y el cauce de las fuentes superficiales de agua.
- En monitoreos futuros y en la planificación de acciones de manejo de la quebrada Miraflores, la demanda química de oxígeno, la demanda bioquímica de oxígeno, los sólidos suspendidos totales, el fósforo total y coliformes fecales y totales deberán recibir atención prioritaria.
- La Corporación Autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO debe implementar un sistema de monitoreo permanente de la calidad del agua de la quebrada Miraflores con el fin de definir los esquemas de tratamiento en función de

instrumentos como los planes de saneamiento y el manejo de vertimientos.

- En trabajo conjunto con la Corporación Autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO y la Empresa de Obras Sanitarias de Pasto EMPOPASTO S.A E.S.P., desarrollar programas de gestión de cuencas con el fin de promover la eficiencia en el uso del agua, mediante nuevas tecnologías y estímulos financieros.

## 10. Referencias bibliográficas

- Alcaldía de Pasto (2014). Plan de Ordenamiento Territorial Pasto Con-Sentido. Recuperado el 8 de Mayo de 2019, de <https://www.pasto.gov.co/index.php/nuestras-dependencias/secretaria-de-planeacion/plan-de-ordenamiento-territorial>.
- Ahmed, M. J., Haque, M. R., Ahsan, A., Siraj, S., Bhuiyan, M. H. R., Bhattacharjee, S. C. & Islam, S. 2010. Physicochemical assessment of surface and groundwater quality of the Greater Chittagong Region of Bangladesh. *Pak. J. Analyt. Environ. Chem.* 11, 1–11.
- Alianza por el agua. (2018). <http://alianzaporelagua.org>. Recuperado de <http://alianzaporelagua.org/Compendio/productos.html>
- APHA-AWWA-WEF. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. Washington . DC.
- Approved by Estandar Methods Committe. (2017). Approved by Estandar Methods Committe, 2001. En P. J. James K. Edzwald. Revisions.
- A. Ramírez, and G. Viña, “Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y Estadísticas de análisis.” Universidad Jorge Tadeo Lozano, 1998.
- Barba, L. 2002. Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición. Pág.55. Universidad del Valle, Cali.
- Banco Interamericano de Desarrollo BID y Comision Economica para America Latina y el Caribe CEPAL (2018). Recuperado el 8 de Mayo de 2019, de <https://publications.iadb.org/es/proceso-regional-de-las-americas-foro-mundial-del-agua-2018-informe-regional-america-latina-y-el>
- Bolivar, R. (2012). Impacto del Riego con Aguas del Trasvase de Taiguaiguay sobre los Suelos del Valle del Tucutunemo Estado Aragua. Valencia: Universidad de Carabobo.
- Brown. (1970). A Water Quality Index - Do We Dare? En N. I. R. M. Brown. *Water and Sewage Works*.
- Byamukama, D., Mach, R. L., Kansime, F., Manafi, M., & Farnleitner, A. H. (2005). Discrimination Efficacy of Fecal Pollution Detection in Different Aquatic Habitats of a High-Altitude Tropical Country, Using Presumptive Coliforms, *Escherichia coli*, and *Clostridium perfringens* Spores. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(1), 65–71. doi:10.1128/aem.71.1.65-71.2005

- Caballero, k., Duque, L., Ceballos, S., & Ramirez. (2002). Conceptos básicos para el análisis electromiográfico. *CES Odontología*, 15(1), 41-50.
- Carroll, S.P., Dawes, L.A., Ashantha, G., Megan, H. (2006). Water quality profile of an urbanising catchment—Ningi Creek Catchment. Technical Report, School of Urban Development, Queensland University of Technology. Caboolture Shire Council (1–93).
- CCME, “Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life,” Winnipeg Technical Report, CCME Water Quality Index 1.0, 2001, p. 13p. [34] F. Khan, T. Husain, and A. Lumb, “Water quality evaluation and trend analysis in selected watersheds of the Atlantic region of Canada,” *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 88, pp. 221-242, 2003.
- CGWB., (2010) Groundwater quality in Shallow aquifers of India, Central Ground Water Board, North Western region, Faridabad.
- Chigbu, P., Gordon, S., & Strange, T. R. (2005). Fecal coliform bacteria disappearance rates in a north-central Gulf of Mexico estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 65(1-2), 309–318.doi:10.1016/j.ecss.2005.05.020
- Constitución Política de Colombia. (1991). Organizations of americaStates. Recuperado el 06 de 04 de 2018, de [http://www.oas.org/dsd/EnvironmentLaw/Serviciosambientales/Colombia/\(Microsoft %20 Word%20-%20Constituci.pdf](http://www.oas.org/dsd/EnvironmentLaw/Serviciosambientales/Colombia/(Microsoft%20Word%20-%20Constituci.pdf)
- CORPOICA. (1996). Estado actual del enfoque de sistemas de producción y su aplicación. Pasto: ICA.Corporacion Autonoma Regional de Narino. (2011). PROGRAMA MANEJO INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO”. PASTO.
- Corponariño. (2011). Plan de Ordenamiento del Recurso Hidrico. San Juan de Pasto.
- Corponariño. (2017). Reglamentacion Recurso Hidrico - Quebrada Miraflores. San Juan de Pasto.
- Culp et al. (1971). Fondo Regional del Caribe para la Gestión de Aguas Residuales. Nueva York: Reinhold Environmental Engineering Series.
- Davies-Colley, R.J., Hickey, C.W. and Quinn, J.M. (1995) Organic matter, nutrients, and optical characteristics of sewage lagoon effluents. *NZ J. Marine Freshwater Res.* 29, 235–250.
- Departamento Nacional de Planeacion DNP (2018). Recuperado el 12 de 11 de 2018, <https://terridata.dnp.gov.co/#/>

- Doyle, M. P., & Erickson, M. C. (2006). Reducing the Carriage of Foodborne Pathogens in Livestock and Poultry. *Poultry Science*, 85(6), 960–973. doi:10.1093/ps/85.6.960
- Edzwald, J. K., Bristol, P. J., Dempsey, B. A., Lytle, D. A., Pernitsky, D. J., Sadar, M. J., & Throckmorton, J. (2011). Approved by Estandar Methods Committe, 2001. Revisions.
- Fadiran, A.O., Dlamini, S.C., Mavuso, A., 2008. A comparative study of the phosphate levels in some surface and ground water bodies of Swaziland. *Bull. Chem. Soc. Ethiop.* 22, 197–206.
- Fernández N., and Solano F., Índices de Calidad y Contaminación del Agua, Pamplona: Universidad de Pamplona, 2008.
- Fernández N., Ramírez A., and F. Solano, “Índices Fisicoquímicos de Calidad de Agua un Estudio Comparativo,” in Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible, Cali, 2003.
- Freeze, R.A.,Cherry, J.A., (1979) Groundwater ,Published by Prentice Hall Inc., ISBN 0-13-365312-9
- Frenzel, S. A., & Couvillion, C. S. (2002). Faecal-indicator bacteria in streams along a gradient of residential development. *Journal of American Water Research Association*, 38 (1), 265–273.
- García, R. G. (1994). Nitratos, Nitritos y compuestos de N-nitroso.Organización Panamericana de la salud. . Centro panamericano de Ecología Humana y Salud., 19-27.
- Gopal, B. (1990). Investigation of nitrate contamination in shallow ground waters near Woodward, Oklahoma. (D. M. Fairchild, Ed.) *Ground Water Quality and Agricultural Practices*, 247-264.
- Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. Instituto Colombiano de Desarrollo Rural. (2013). Convocatoria para el otorgamiento de Incentivos para la Ejecución de Proyectos Asociativos de Adecuación de Tierra. Bogotá.
- Hart, B.T., B. Maher e I. Lawrence [1999], “New generation water quality guidelines for ecosystem protection”, *Freshwater Biology*, 41(2):347-359.
- Harris, D. (2014). Analisis Químico Cuantitativo 2da Ed. Reverte.
- Hidalgo Santana, M., & Mejía Álvarez, E. (2010). Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales domésticas, cuenca baja de la quebrada La Macana, San Antonio de



- Prado. Municipio de Medellín (Tesis de Especialización). Universidad de Antioquia, Medellín.
- Hem , J.D., (1959) Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water (No. 1473).US Government Printing Office.
- Horton, R. K. (1965). index-number system for rating water. *Water Pollut*, 307, 300–306.
- H. Montoya, and C. Contreras, Garcia, V, “Estudio Integral de la Calidad del Agua en el estado de Jalisco. Guadalajara.,” Comisión Nacional del Agua., 1997, p. 106.
- IDEAM. (2007). <http://www.ideam.gov.co>. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Ox%C3%ADgeno+Disuelto+M%C3%A9todo+Winkler.pdf/e2c95674-b399-4f85-b19e-a3a19b801dbf>
- IDEAM (2007) Instructivo Para La Toma de Muestras de Aguas Residuales, versión 03.
- IDEAM (2010) “Estudio Nacional de Agua 2010”, elaborado por el IDEAM (Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales).
- IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá, D. C.
- IDEAM, (2018). Reporte de avance del Estudio Nacional del Agua ENA 2018. Bogotá, D.C.
- Irastortza, J. S., Saaltink, M. W., & Ramírez, J. C. (2009). RECARGA DE ACUÍFEROS MEDIANTE AGUA DE LLUVIA . Barcelona: Ingeniería de caminos, canales y puertos .
- JAMIESON, R., JOY, D., LEE, H., KOSTASCHUK, R., & GORDON, R. (2005). Transport and deposition of sediment-associated in natural streams. *Water Research*, 39(12), 2665–2675.doi:10.1016/j.watres.2005.04.040
- Jarvis, A.P., Younger, P.L., 2000. Broadening the scope of mine water environmental impact assessment: a UK perspective. *Environ. Impact Assess. Rev.* 20 (1), 85–96.
- Kesaano, M., Sims, R.C., 2014. Algal biofilm based technology for wastewater treatment. *Algal Res.* 5, 231–240
- Jönsson, H., Vinnerås, B., 2004. Adapting the nutrient content of urine and faeces in different countries using FAO and Swedish data, in *Ecosan – Closing the loop*. In: Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, 7th– 11th April 2003, Lübeck, Germany, pp. 623–626.
- Jung, K.W., Hwang, M.J., Ahn, K.H., Ok, Y.S., 2015. Kinetic study on phosphate removal from aqueous solution by biochar derived from peanut shell as renewable adsorptive media. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 12, 3363–3372.

- Kannel, P.R., Lee, S., Soo Lee, Y., Kanel, S.R., Khan, S. 2007. Application of water quality indices and dissolved oxygen as indicators for river water classification and urban impact assessment. *Environ Monit Assess* 132(1-3):93- 110.
- Kreitler, C. y. (1975). Natural soil nitrate: the cause of the nitrate contamination of ground water in Runnels County, Texas. *Ground Water*, 13, 53-71.
- Li, L., Zhang, J., Lin, J., Liu, J., 2015. Biological technologies for the removal of sulfur containing compounds from waste streams: bioreactors and microbial characteristics. *World J. Microb. Biot.* 31 (10), 1501–1515.
- Li, R., Wang, J.J., Zhou, B., Awasthi, M.K., Ali, A., Zhang, Z., Lahori, A.H., Mahar, A., 2016. Recovery of phosphate from aqueous solution by magnesium oxide decorated magnetic biochar and its potential as phosphate-based fertilizer substitute. *Bioresour. Technol.* 215, 209–214
- Lee, J., Rai, P.K., Jeon, Y.J., Kim, K.H., Kwon, E.E., 2017. The role of algae and cyanobacteria in the production and release of odorants in water. *Environ. Pollut.* 227, 252–262.
- Liu, J., Yin, P., Chen, B., Gao, F., Song, H., Li, M., 2016. Distribution and contamination assessment of heavy metals in surface sediments of the Luanhe River Estuary, northwest of the Bohai Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 109, 633–639. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.020>.
- Lorenzen, G., Sprenger, C., Taute, T., Pekdeger, A., Mittal, A., & Massmann, G. (2010). Assessment of the potential for bank filtration in a water-stressed megacity (Delhi, India). *Environmental Earth Sciences*, 61(7), 1419-1434.
- Malvandi, H., 2017. Preliminary evaluation of heavy metal contamination in the ZarrinGol River sediments, Iran. *Mar. Pollut. Bull.* 117, 547–553. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.02.035>.
- Mariska L., Damir R., Sukia J., (2014) Manejo de lodos fecales: Enfoque sistémico para la implementación y operación Primera publicación IWA RECARGA DE ACUÍFEROS MEDIANTE AGUA DE LLUVIA., Universidad Politécnica de Cataluña.
- Martínez, (2006). Análisis de BOD<sub>5</sub> por el método SM 5210B. Edición 20. AAA/SOP-QA012. Pág. 20.
- Matsuura, K. 2003, *Water for life. Water for people*, Barcelona, UNESCO-Berghahn Books.
- Mehta, B.C., Shrivastava, K.K.,(2012) *Iron in groundwater of India and its geochemistry*, In. *Memoir 1: Applied Geochemistry: Groundwater Quality Evaluation and Control*,


- Subhajyoti Das and Dipankar Saha (Eds.), Indian Society of Applied Geochemists, Hyderabad, 357p
- Miller, J. J. 2001. Impact of intensive livestock operations on water quality. Proc. Western Canadian. Dairy Seminar 13: 405-416.
- Ministerio Del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) 2005., Índice de Calidad del Agua General "ICA".
- Mohan, D., Sarswat, A., Ok, Y.S., Pittman Jr., C.U., 2014. Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent – a critical review. Bioresour. Technol. 160, 191–202.
- Monaghan, R. M., Hedley, M. J., Di, H. J., McDowell, R. W., Cameron, K. C., & Ledgard, S. F. (2007). Nutrient management in New Zealand pastures— recent developments and future issues. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 50(2), 181–201. doi:10.1080/00288230709510290
- MINISTERIO DE AMBIENTE, V. Y. (2004). Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales de Colombia. Bogotá.
- Mihelcic, J. R., Fry, L. M., & Shaw, R. (2011). Global potential of phosphorus recovery from human urine and feces. *Chemosphere*, 84(6), 832–839. doi:10.1016/j.chemosphere.2011.02.046
- NSF International. (2004). Recuperado el 18 de Marzo de 2018, de <http://www.nsf.org/consumer>
- Ngwira, L., Lakudzala, D., Assessment of the quality of SOBO industrial wastewater and its impact on water quality in Nankhaka River, *Physics and Chemistry of the Earth* (2018), doi: 10.1016/j.pce.2018.04.002.
- Ocasio, F. (2008). Evaluación de la calidad del agua y posibles fuentes de contaminación en un segmento del río Piedras. (Tesis inédita de maestría). Universidad Metropolitana, San Juan, Puerto Rico.
- Perry. (2006) Manual del ingeniero químico. Tomo II (6a. ed.) Editorial Mc Graw Hill.
- Ramirez, C. A. (2011). Calidad del Agua - Evaluacion y diagnostico. Medellin: Adiciones de la U.
- Raschid-Sally, L. and Jayakody, P. (2008) 'Drivers and characteristics of wastewater agriculture in developing countries: Results from a global assessment, Colombo, Sri Lanka', IWMI Research Report 127, International Water Management Institute, Colombo.

- Rico Gutierrez, J. L.; García, P. A. (1991) "Anaerobic treatment of cheese production wastewater using a UASB reactor". *Bioresource Technology*. N 37, pp. 271-276.
- Rodríguez, N. (2004.). *Ecosistemas de los andes colombianos*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt,.
- Roper, M.M. & Marshall, K.C. *Microb Ecol* (1974) 1: 1. <https://doi.org/10.1007/BF02512375>
- R. Behar, M. Zuñiga, and O. Rojas, "Análisis y Valoración del Índice de Calidad de Agua (ICA) de la NSF: Casos Ríos Cali y Meléndez.," *Ingeniería y Competitividad*, vol. 1, pp. 17-27, 1997.
- Sacha A., and Espinoza C., "Determinación de Contenido Natural e Índices de Calidad: ¿Presente y Futuro de Calidad de Aguas?," in XIV Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS, Chile, 2001.
- Superintendencia de Industria y Comercio. (2018). [www.redconsumidor.gov.co](http://www.redconsumidor.gov.co). Obtenido de [http://www.redconsumidor.gov.co/publicaciones/normatividad\\_pub](http://www.redconsumidor.gov.co/publicaciones/normatividad_pub)
- Suresh, G., Sutharsan, P., Ramasamy, V., Venkatachalapathy, R., 2012. Assessment of spatial distribution and potential ecological risk of the heavy metals in relation to granulometric contents of Veeranam lake sediments, India. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 84, 1–8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.06.027>.
- S. H. Dinius, *Design of a Index of Water Quality*, vol. 23, 1987.
- Torres P., Hernán C., y Patiño P., 2009. ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*.
- Torres, P. (2014). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA. Universidad de Medellín: *Revistas ingeniería*.
- Universidad de Pamplona. (2006). Unipamplona. Recuperado el 3 de 05 de 2013, de Determinación calidad del agua en la cuenca del Río Garagoa 84 [www.uniplamplina.edu.co/uniplamplona/hermesoft/portaling/home\\_18/recursos/01\\_genera\\_l/documentos/.../icatest\\_capitulo2.pdf](http://www.uniplamplina.edu.co/uniplamplona/hermesoft/portaling/home_18/recursos/01_genera_l/documentos/.../icatest_capitulo2.pdf)
- UNEP, *Global Drinking Water Quality Index Development and Sensitivity Analysis Report*. Ontario, Canada, 2007.
- US Environmental Protection Agency. (1986). *Quality Criteria for Water*. Office of wáter: Regulation and Standards. USEPA- 440/5-86-001.


- Vargas, L. d. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano - Plantas de filtración rápida - Manual I: Teoría. Lima.
- Von Sperling, M. (2007) Biological Wastewater Treatment Series. Vol. 5 Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors. IWA Publishing, London.
- WEF, W. E. (2015–2016). *The Global Competitiveness Report*. World Economic Forum.
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). 2017. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París, UNESCO.
- WWDR (The United Nations World Water Development Report) 2018. Nature-Based Solutions for Water. Brazil, UNESCO.
- W. R. Ott, Environmental quality indices: Theory and practice, Ann Arbor: Ann Arbor Science, 1978.
- Zamora, A. L. (2013). *EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA LA JARAMILLA, MUNICIPIO DE LA TEBADA, DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO*. UNIVERSIDAD DE MANIZALES, FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS, MANIZALES.

# ANEXOS


## Anexo 1. Formato de registro de datos en campo y laboratorio

	EMPOPASTO S.A E.S.P. NIT 891200686-3														
	Nombre del documento:														
	FORMATO REGISTRO DE DATOS														
LABORATORIO DE AGUAS	Código LA-F-03			Fecha de aprobación 2016/12/01				Versión 1			Página 1 de 1				
<b>LABORATORIO DE AGUAS - EMPOPASTO</b> Planta Centenario - Antigua Salida al Norte. PBX: +57 (2) 7215414 EXT. 11 Pasto – Colombia															
FECHA EMISIÓN INFORME:				CÓDIGO DEL INFORME:											
CLIENTE:				DEPARTAMENTO:											
MUNICIPIO:				DIRECCIÓN:											
TOMA DE MUESTRA A CARGO DE:				MUESTRA TOMADA POR:											
DESCRIPCIÓN PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS							RESULTADO								
ENSAYO	FECHA DE ANÁLISIS	TECNICA ANALITICA	MÉTODO	UNIDADES	LIMITE DE DETECCIÓN	VALORES MÁXIMOS Y MINIMOS ACEPTABLES SEGÚN NORMATIVIDAD VIGENTE				CÓDIGO DE LA MUESTRA					
OBSERVACIONES															
Firma autorizada: _____ Nombre: _____															

Anexo 2. Formato toma de muestras

	EMPOPASTO S.A E.S.P. NIT 891200686-3						
	Nombre del documento:						
	<b>FORMATO TOMA DE MUESTRAS</b>						
LABORATORIO DE AGUAS	Código LA-F-01	Fecha de aprobación 2016/12/01	Versión 2	Página 1 de 1			
<b>LABORATORIO DE AGUAS - EMPOPASTO</b> Planta Centenario - Antigua Salida al Norte. PBX: +57 (2) 7215414 EXT. 11 Pasto – Colombia							
FECHA EMISIÓN INFORME:		CÓDIGO DEL INFORME:					
CLIENTE:		DEPARTAMENTO:					
MUNICIPIO:		DIRECCIÓN:					
TOMA DE MUESTRA A CARGO DE:			MUESTRA TOMADA POR:				
TOMA DE MUESTRA		RECEPCIÓN DE LA MUESTRA		MATRIZ ANALIZADA	TIPO DE MUESTRA	CÓDIGO MUESTRA	LUGAR TOMA DE MUESTRA
HORA	FECHA	HORA	FECHA				
OBSERVACIONES							
Firma autorizada: _____							
Nombre: _____							

Anexo 3. Formato de registro de caudal en campo

		EMPOPASTO S.A... E.S.P NIT 891.200.686-3					
		NOMBRE DEL FORMATO: CÁLCULO DE AFORO					
		PROCESO SUBGERENCIA SOCIOAMBIENTAL Y TERRITORIAL	VIGENCIA	VERSIÓN	CÓDIGO	CONSECUTIVO	
Fecha	Hora inicial		Hora Final				
Estación	Clase		Convencional	Automática	Satelital		
Código	Georreferenciación						
Río	Cuenca						
Municipio	Departamento						
No. Sec.	Nivel Inicial (m)	Nivel Final (m)		Nivel Medio (m)			
Tipo de aforo	Método		Orilla inicial				
Tipo de molinete	SERIAL NUMERO		Tipo Sensor				
RESULTADOS MEDICION			Velocidad y Profundidad				
ANCHO DE CORRIENTE (m)		PROFUNDIDAD MEDIA (m)					
AREA TOTAL (m²)		Q. CAUDAL TOTAL (m³/s)					
Aforadores			No verticales				
OBSERVACIONES							
Calculó:		Revisó:					
VERTICAL	DISTANCIA PR (m)	MÉTODO	P.T.V (m)	V.P.V 0,6 (m/s)	V.M.V (m/s)	AREA (m²)	QPar (m³/s)