PLAN DE CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL RÍO SAN FRANCISCO DESDE SU NACIMIENTO EN EL PÁRAMO CRUZ VERDE HASTA EL FINAL DE SU CANALIZACIÓN SUPERFICIAL EN EL EJE AMBIENTAL EN LA CALLE 13 CON CARRERA DÉCIMA EN BOGOTÁ, COLOMBIA.

AUTORAS:

ADRIANA MARILIN RUBIANO PEÑA
SONIA ELIZABETH SÁNCHEZ SUÁREZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2016

PLAN DE CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL RÍO SAN FRANCISCO DESDE SU NACIMIENTO EN EL PÁRAMO CRUZ VERDE HASTA EL FINAL DE SU CANALIZACIÓN SUPERFICIAL EN EL EJE AMBIENTAL EN LA CALLE 13 CON CARRERA DÉCIMA EN BOGOTÁ, COLOMBIA.

AUTORAS:
ADRIANA MARILIN RUBIANO PEÑA
SONIA ELIZABETH SÁNCHEZ SUÁREZ

Trabajo de grado para optar al título de:
Tecnólogo En Saneamiento Ambiental

Director:
Jayerth Guerra Rodríguez
Químico MSc. Química Analítica

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2016

DEDICATORIA

A Dios, a mis papas y a mi hermano.

Adriana Marilin Rubiano Peña

A Dios, a mi madre Blanca Suárez y a mi Hermana Lili Sánchez ya que por ellas somos ejemplo de unión y fortaleza.

Sonia Elizabeth Sánchez Suárez

AGRADECIMIENTOS

Quiero a través de este escrito agradecer sinceramente a Dios por la oportunidad que me dio de empezar y culminar el trabajo de grado. A mi compañera de tesis, Sonia Elizabeth Sánchez Suárez, por su compromiso, dedicación y paciencia en la labor realizada. Al profesor Jayerth Guerra Rodríguez, director de esta investigación, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa de la misma, por la motivación y el apoyo recibido durante todo el proceso. A Fabián Barreto, Andrés López y David Suárez, por su colaboración en el trabajo realizado en campo. A doña Blanca Suárez por acogerme en su casa y ayudarme. Además, un agradecimiento muy especial a Camilo Pascal por su ayuda e interés en todo este tiempo.

Y a cada una de las personas que directa o indirectamente contribuyeron en el desarrollo y culminación del trabajo de grado.

A todos ellos, muchas gracias.

Adriana Marilin Rubiano Peña

Agradezco a Dios por haberme permitido ingresar a la Universidad que siempre quise y que me llenaría como persona y como profesional, a mi madre Blanca Suárez que por su crianza firme y llena de valores que ha hecho de mí una persona íntegra y fuerte, además por estar a mi lado cuando flaqueaba. A mi hermana Lili Sánchez que ha estado de una u otra forma a mi lado.

A Camilo Pascal por la compañía en el proyecto de grado, por estar conmigo de manera incondicional y por alegrar un poquito los momentos de incertidumbre e inquietud que pase al realizar este proyecto. ¡Gracias feo!

Al profesor Jayerth por su entrega incondicional y por enseñarnos tanto y transmitir un poquito del gran conocimiento que posee. A Andrés López, Fabián Barreto y David Suárez por acompañarnos en los recorridos, por contarnos un chiste, por cuidar los equipos y por brindarnos su agradable compañía.

A Don Luis Rubiano y Marly Peña por hacerme sentir en casa. Y por supuesto a mi compañera de carrera Marilin Rubiano por su interés en el proyecto, por su sincera amistad que valoraré durante mucho tiempo.

Y a todos los que nos apoyaron en la realización de este proyecto.

A todos gracias.

Sonia Elizabeth Sánchez Suárez

RESUMEN

El plan de caracterización fisicoquímica del río San Francisco se realizó con el fin de evaluar el estado de la calidad del agua y cuantificar algunos parámetros fisicoquímicos como aceites y grasas, dureza total, demanda química de oxígeno, pH, conductividad eléctrica, temperatura ambiente y del agua, sólidos disueltos totales, sólidos sedimentables, oxígeno disuelto y turbidez como indicadores ambientales.

El desarrollo del trabajo se llevó a cabo en dos etapas, la primera etapa fue ejecutada en campo y esta consistió en la medición de los parámetros “in situ” y en la recolección de muestras. La segunda etapa fue el análisis en el laboratorio de las muestras recolectadas. Algunas de las técnicas analíticas aplicadas en la investigación fueron gravimetría, volumetría y titulometría.

Como resultados se evidenciaron prácticas que han afectado negativamente al río San Francisco como la captación ilegal de agua por parte de personas aledañas a la cuenca del río y se encontraron residuos sólidos como botellas, ropa y envolturas en la ronda hidráulica del cuerpo de agua.

A nivel fisicoquímico el río reflejó un comportamiento fluctuante, sin embargo muy pocas veces los valores de los parámetros analizados sobrepasaron los límites máximos permisibles establecidos por la normatividad y/o referentes bibliográficos.

Finalmente, el río está en condiciones adecuadas para mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos, y puede armonizar y embellecer el paisaje.

Palabras Clave: calidad de agua, parámetros fisicoquímicos, muestreo “in situ”, análisis de laboratorio.

ABSTRACT

The plan physicochemical characterization of the San Francisco River was conducted in order to assess the state of water quality and quantify certain physicochemical parameters such as oils and fats, total hardness, chemical oxygen demand, pH, electrical conductivity, temperature and environment water, total dissolved solids, settleable solids, dissolved oxygen and turbidity as environmental indicators.

The development work was carried out in two stages, the first stage was carried out in this field and consisted of measuring the “in situ” parameters and sample collection. The second step was the laboratory analysis of the samples collected. Some of the analytical techniques used in the research were gravimetric, volumetric and titrimetry.

As a result practices that have adversely affected the river San Francisco as the illegal collection of water by people surrounding the river basin and solid waste like bottles, clothes and wrappings were found in the hydraulic round body of water it is evident.

A physicochemical river level reflected a fluctuating behavior, but rarely values of the parameters analyzed exceeded the limits set by the regulations and / or bibliographic references.

Finally, the river is right conditions to maintain the natural life of aquatic and terrestrial ecosystems and their associated ecosystems, without causing significant changes in them, and can harmonize and beautify the landscape.

Key words: water quality, physicochemical parameters, “in situ” sampling, laboratory analysis.

CONTENIDO

Pág.

Lista de Figuras **13**

Lista de Gráficas **14**

Lista de Tablas **15**

Lista de Anexos **16**

RESUMEN **6**

ABSTRACT **8**

1. INTRODUCCIÓN **17**

2. OBJETIVOS **20**

2.1 GENERAL *20*

2.2 ESPECÍFICOS *20*

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **21**

4. JUSTIFICACIÓN **24**

5. MARCO REFERENCIAL **26**

5.1. MARCO TEORICO *26*

5.1.1 Grasas y Aceites 26

5.1.2 Temperatura Ambiente y del Agua 27

5.1.3 Color Aparente 28

5.1.4 Olor 30

5.1.5. pH 31

5.1.6 Oxígeno Disuelto 34

5.1.7 Sólidos Disueltos Totales (TDS). 38

5.1.8 Sólidos Sedimentables 40

5.1.9 Turbidez 42

5.1.10 Conductividad Eléctrica 44

5.1.11 Demanda Química de Oxígeno (DQO) 47
5.1.12 Dureza Total 49
5.1.13. Estado del Arte. 51
5.1.14 Buenas Prácticas de Muestreo y Buenas Prácticas de Laboratorio. 57
5.1.14.1 Recepción y Almacenamiento de la Muestra 59
5.1.14.2 Seguridad para la Toma de Muestras 60
5.2. MARCO GEOGRÁFICO *61*
5. 3. MARCO LEGAL *65*
6. METODOLOGÍA 69
6.1 PARÁMETROS "in situ". *76*
6.1.1. Color aparente. 76
6.1.2. Olor. 77
6.1.3. Turbidez. 77
6.1.4. Temperatura del agua. 78
6.1.5. Temperatura ambiente. 79
6.1.6. Conductividad Eléctrica y Sólidos Totales Disueltos. 79
6.1.7. Sólidos sedimentables. 80
6.1.8. pH. 80
6.1.9. Oxígeno Disuelto 82
6.2 PARÁMETROS DE LABORATORIO *83*
6.2.1. Dureza Total. 83
6.2.2. Demanda Química de Oxígeno. 85
6.2.3. Grasas y Aceites. 87
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS 92
7.1 PARÁMETROS "in situ" *92*
7.1.1. Color Aparente. 92
7.1.2. Olor. 97
7.1.3. pH. Potencial de Hidrógeno 100
7.1.4 Temperatura del Agua y del Ambiente. 104
7.1.5. Conductividad Eléctrica 109

7.1.6 Sólidos Disueltos Totales 113
7.1.7 Oxígeno Disuelto 116
7.1.8 Turbidez 120
7.2 PARÁMETROS DE LABORATORIO. *122*
7.2.1 Dureza Total 122
7.2.2 Demanda Química de Oxígeno 125
7.2.3 Aceites y Grasas. 132
8. CONCLUSIONES 135
9. RECOMENDACIONES 137
10. BIBLIOGRAFÍA 139
11. ANEXOS 148

Lista de Figuras

Figura 1. Montaje para determinar sólidos sedimentables..... 42
Figura 2. Enlaces químicos son buenos conductores de la corriente eléctrica 45
Figura 3. Ubicación del río San Francisco en Bogotá. 62
Figura 4. Predio el Boquerón Km 11 vía Choachí 63
Figura 5. Río san Francisco y el Antiguo Acueducto de Bogotá. 63
Figura 6. Primer punto de muestreo 70
Figura 7. Segundo punto de muestreo. 70
Figura 8. Tercer punto de muestreo 71
Figura 9. Cuarto punto de muestreo 71
Figura 10. Quinto punto de muestreo. 71
Figura 11. Sexto punto de muestreo. 72
Figura 12. Séptimo punto de muestreo. 72
Figura 13. Puntos de muestreo 1 y 2. 73
Figura 14. Puntos 3 al 7 en plano general. 74
Figura 15. Apreciación del color aparente. 77
Figura 16. Montaje sólidos sedimentables. 80
Figura 17. Medición de pH 81
Figura 18. Medición de Oxígeno Disuelto. 83
Figura 19. Montaje Dureza Total. 84
Figura 20. Termo reactor y muestras a procesar. 86
Figura 21. Montaje para Aceites y Grasas 91
Figura 22. Rota evaporador. 91

Lista de Gráficas

Gráfica 1. Colores obtenidos por porcentaje para el total de las campañas. 93

Gráfica 2. Comparación del comportamiento del pH entre campañas. 101

Gráfica 3. Comparación de la temperatura del agua entre campañas. 104

Gráfica 4. Comparación de la temperatura ambiente entre campañas. 105

Gráfica 5. Comparación de la conductividad eléctrica entre campañas. 109

Gráfica 6. Comparación del comportamiento de los TDS entre campañas. 114

Gráfica 7. Comparación del comportamiento del OD entre campañas. 117

Gráfica 8. Comparación del comportamiento de la turbidez entre campañas. 120

Gráfica 9. Comparación del comportamiento de la dureza total entre campañas. 123

Gráfica 10. Comparación del comportamiento de la DQO entre campañas. 126

Gráfica 11. Comparación del comportamiento de los aceites y grasas entre campañas. 132

Lista de Tablas

Tabla 1. Colores en el agua según su composición 29

Tabla 2. Olores característicos del agua y su origen. 31

Tabla 3. Criterios de calidad admisibles para pH. 33

Tabla 4. Valor mínimo de Oxígeno disuelto para preservación de flora y fauna. 37

Tabla 5. Calidad del agua según el oxígeno disuelto. 37

Tabla 6. Contenido Iónico en aguas superficiales 47

Tabla 7. Escala de clasificación de la Calidad del Agua según la DQO. 48

Tabla 8. Clasificación de la dureza en aguas 51

Tabla 9. Requerimiento especiales para toma de muestras y conservación de las mismas. 75

Tabla 10. Cronograma de Muestreos "IN SITU" 76

Tabla 11. Resultado cualitativo del color aparente. 94

Tabla 12. Resultado cualitativo de Olor por cada campaña. 98

Lista de Anexos

Anexo 1. Registros de campo de la campaña 1 realizada el 7 de noviembre de 2014.

Anexo 2. Registros de campo de la campaña 2 realizada el 21 de noviembre de 2014.

Anexo 3. Registros de campo de la campaña 3 realizada el 5 de diciembre de 2014.

Anexo 4. Registros de campo de la campaña 4 realizada el 19 de diciembre de 2014.

Anexo 5. Tabla de resultados de variables fisicoquímicas sobre la quebrada La Popala.

1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación se realizó con el fin de caracterizar fisicoquímicamente el río San Francisco desde su nacimiento hasta el final de la canalización superficial del Eje Ambiental.

El interés por conocer la calidad fisicoquímica de este cuerpo de agua surge debido a lo que representa históricamente para Bogotá, porque desde los inicios de la ciudad, el río ha sido protagonista y artífice de gran parte de las decisiones que se tomaron respecto a la construcción de la misma; sin embargo este cuerpo de agua al nacer fuera de la ciudad, más exactamente en el páramo Cruz Verde y tener un cauce que atraviesa la capital, se ve afectado a nivel estético y fisicoquímico.

Desafortunadamente, el río San Francisco a lo largo de los años ha sido excluido de la planeación y conservación por parte de los entes reguladores. Esta problemática se remonta desde la época colonial donde el río se utilizó sin la debida organización. Por ejemplo, este fue receptor de las aguas residuales generadas por el uso del acueducto Agua Nueva que era alimentado por este mismo cuerpo de agua, y de residuos sólidos; esto influyó para que el río se convirtiera en un problema de salubridad, por lo cual se canalizó de manera subterránea. Sin embargo, gracias a la idea del arquitecto innovador, Rogelio Salmona, parte de este río salió a la luz a través del Eje ambiental, en el año 2000, con el fin de evocar al majestuoso río en una obra arquitectónica. Lastimosamente y aunque estamos en el siglo XXI, el cuerpo de agua aún recibe un trato vergonzoso ya que es un basurero, foco de malos olores y de abandono.

Adicional a lo anterior, el interés también se da porque no hay información sólida sobre la calidad fisicoquímica del río, ni de otros aspectos relevantes por parte de las entidades con jurisdicción sobre este como la Corporación Ambiental Regional (CAR) o la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB).

Este proyecto, permite conocer de primera mano cómo es la situación fisicoquímica actual del río San Francisco, verificar si según lo establecido en la normativa vigente, los parámetros analizados están dentro de los valores máximos y mínimos para los usos en los que está clasificado el cuerpo de agua que son, preservación de flora y fauna en cuenca alta y uso estético en cuenca baja. Identificar problemáticas que directa e indirectamente comprometen el río como ecosistema y aportar información que contribuya a conocer este cuerpo de agua.

Para desarrollar y culminar eficazmente esta investigación se realizaron recorridos previos en el área de estudio con el fin de reconocer el terreno y establecer los puntos de muestreo, se eligieron los parámetros indicadores de calidad del agua más pertinentes, que para este proyecto fueron: grasas y aceites, temperatura ambiente y del agua, color aparente, olor, pH, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, sólidos sedimentables, turbidez, conductividad eléctrica, demanda química de oxígeno y dureza total. Por otra parte, se hizo la planeación del proyecto mediante un cronograma para el desarrollo del trabajo en campo y de laboratorio durante los meses de muestreo (Noviembre y Diciembre de 2014), asimismo de los materiales requeridos.

Para asegurar la calidad e integridad de los datos producidos en la investigación, se aplicaron una serie de procedimientos y prácticas para la confiabilidad de los resultados; las buenas prácticas de muestreo y buenas prácticas de laboratorio (BPM y BPL).

Adicionalmente para realizar las mediciones de los diferentes parámetros se aplicaron técnicas de análisis como el método de partición-gravimetría, método electrométrico, método nefelométrico, método titulométrico, pruebas volumétricas, entre otros.

Este documento a través de sus diferentes marcos, permite conocer la ubicación y características geográficas del río, también se puede profundizar en los conceptos teóricos necesarios para comprender la importancia e influencia de los parámetros elegidos, así como todas las normas pertinentes al tema objeto de estudio.

2. OBJETIVOS

2.1 GENERAL.

Caracterizar el río San Francisco desde su nacimiento en el páramo Cruz Verde hasta el final de la canalización superficial del Eje Ambiental en la Calle trece con Carrera décima por medio de la evaluación de parámetros fisicoquímicos.

2.2 ESPECÍFICOS.

- Cuantificar algunos parámetros fisicoquímicos como aceites y grasas, dureza total, demanda química de oxígeno, pH, conductividad eléctrica, temperatura ambiente y del agua, sólidos disueltos totales, sólidos sedimentables, oxígeno disuelto y turbidez como indicadores de contaminación del cuerpo de agua mediante buenas prácticas de muestreo y buenas prácticas de laboratorio.

- Evaluar el estado de la calidad del agua del río San Francisco desde su nacimiento en el páramo Cruz Verde hasta el final del Eje Ambiental en la Calle trece con Carrera décima por medio de análisis de resultados a partir de lo obtenido en los muestreos.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El río San Francisco, ha sido protagonista y espectador de la historia de la ciudad de Bogotá. Desde sus primeros habitantes, fue el lugar perfecto para el desarrollo de los pueblos nativos, ya que se abastecían de esa fuente de agua para el sustento y desarrollo (Fundacion Alma; Alcaldía local de Candelaria; Colectivo encuentro universidad crítica, 2013).

En la época colonial el río se convierte en la fuente principal del acueducto de Agua Nueva a partir del año 1757, esta época se caracteriza por la modernización, lo cual implicó el aumento de la población, las construcciones y la creación de pequeños negocios. Esto a la vez, influyó para que se generaran más residuos líquidos y sólidos. Debido a la falta de planeación no se estableció el lugar adecuado para la disposición final de los residuos sólidos ni el tratamiento previo de los residuos líquidos. En este orden de ideas, la solución más conveniente y fácil fue el verter las aguas residuales y los desechos sólidos en diferentes puntos del río· (Fundacion Alma; Alcaldía local de Candelaria; Colectivo encuentro universidad crítica, 2013).

Lo que en su momento fue una solución, se convirtió en un problema ya que el río se transformó en un foco de contaminación, por esta causa se desataron problemas serios de salubridad y azote de epidemias como el Tifo y la Fiebre Tifoidea. Por tal motivo, la salida más razonable en el momento fue ocultar el río debajo de la ciudad por medio de la canalización subterránea (Fundacion Alma; Alcaldía local de Candelaria; Colectivo encuentro universidad crítica, 2013).

Pasado el tiempo, con la intención de hacer del centro de Bogotá un lugar más atractivo y de recuperar el río San Francisco, en el primer gobierno de Antanas Mockus (1995-1998) se generó un proyecto paisajístico que consistió en sacar a flote parte del cuerpo de agua con el fin de enaltecer ese histórico sitio.

En este orden de ideas y dirección, durante el mandato del Alcalde Enrique Peñaloza (1998-2000), el arquitecto Rogelio Salmona fue el encargado de desarrollar la idea de que el río fuera parte de una obra arquitectónica.

Desafortunadamente, el eje ambiental y directamente el río San Francisco en vez de embellecer el lugar, de evocar lo natural, de ser memoria viva de lo que era, fue todo lo contrario de lo esperado, dado que actualmente como lo menciona Madriñan (2012) es un basurero, foco de malos olores y de abandono.

La cuenca media, es la zona donde la afectación es más evidente y compleja. Cerca al predio el molino se encuentra un lavadero de carros, el cual toma el agua del río para lavar los vehículos y este funciona de domingo a domingo.

Debajo del puente de la circunvalar sentido norte – sur, residen habitantes de la calle. Es albergue temporal de familias desplazadas que toman el agua del río para preparar alimentos, lavar ropa, como baño y a la vez, el cuerpo de agua recibe todos los residuos generados por estas

actividades. También, se presenta captación ilegal del agua por parte de personas aledañas al lugar.

En el Eje Ambiental se presentan alteraciones de tipo organoléptico y un ejemplo de ello es el aspecto turbio del agua, los residuos sólidos de diferente tipo como materia orgánica, vasos plásticos y botellas de vidrio, papeles, palos, entre otros; el uso indebido por parte de los habitantes de la calle y de los trabajadores de la zona (Malaver, 2012). También los animales utilizan este sitio para asearse, principalmente perros y las palomas.

Cabe agregar que no existe una normativa estricta sobre el cuidado y conservación de la fuente de agua y ninguna entidad que asuma total responsabilidad sobre el río San Francisco, por dicha razón existe un gran vacío de información sobre la calidad del agua y sus características. El río aunque está cerca de toda la ciudadanía, el desconocimiento del mismo es muy grande y por esto la población no se siente identificada ni tiene sentido de pertenencia.

4. JUSTIFICACIÓN

En el centro de la ciudad de Bogotá está ubicada una obra arquitectónica, innovadora y llamativa, conocida como el Eje Ambiental. Esta obra consta de 32 piletas alimentadas de las aguas provenientes del río San Francisco. Sin embargo esta obra y el río han presentado problemas mencionados en el planteamiento del problema, lo que permite cuestionarse sobre el estado del Eje Ambiental y del río San Francisco. Es pertinente entonces, desarrollar un plan de caracterización fisicoquímica para verificar la veracidad de la información.

Según lo planteado en la normativa pertinente de usos del agua, el río San Francisco presenta dos usos por su situación geográfica. El primero es preservación de flora y fauna, comprendido desde su nacimiento hasta el final de la cuenca media; el segundo corresponde al uso estético y aplica desde el inicio del Eje Ambiental hasta la Av. Jiménez con Carrera 10. Por ende, llevar a cabo la caracterización fisicoquímica, permite evaluar la calidad del agua y comprobar si se está cumpliendo lo establecido por el decreto 1594 de 1984 y la resolución 3930 de 2010.

Con el fin de conocer si existían referentes bibliográficos o trabajos de investigación sobre la calidad del agua del río, se realizó una búsqueda minuciosa y se concluyó que no hay referentes; por dicha razón, se debe realizar la investigación ya que puede ser un aporte técnico sobre el cuerpo de agua, además que brinda información sobre la condición real de este.

Adicionalmente, es importante desarrollar el proyecto en cuestión, porque permite evaluar la calidad del agua utilizando parámetros fisicoquímicos como indicadores de contaminación.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. MARCO TEORICO

5.1.1 Grasas y Aceites

Según Romero (2005) el parámetro de grasas y aceites incluye los esteres de ácidos grasos de cadena larga, compuestos con cadenas largas de hidrocarburos, comúnmente con un grupo ácido carboxílico en un extremo; materiales solubles en solventes orgánicos; pero muy insolubles en el agua debido a la estructura larga hidrofóbica del hidrocarburo.

Las grasas y aceites son de baja o nula biodegradabilidad, poseen características especiales: baja densidad y poca solubilidad en agua. Por ello, tienden a separarse de la fase acuosa, ocupan la superficie del líquido que las contiene y forman natas (Arce, Tomasini, & Calderon, 2001).

La presencia de aceites y grasas genera problemáticas en las aguas superficiales ya que mantienen flotando junto a una gran cantidad de sólidos, con los cuales formaran una emulsificación que interferirá con el intercambio de gases en la superficie del agua (Ramos Olmos, Sepúlveda, & Villalobos, 2003).

Cuando hay presencia de grasas y aceites se genera una película que interfiere entre el agua y la atmosfera. Lo anterior disminuye los niveles de oxígeno disuelto y acidifican el cuerpo

de agua. Además la capa de aceites y grasas bloquea la entrada de los rayos solares necesarios para la vida vegetal y animal del agua (Bureau Veritas, 2008).

La técnica analítica para la determinación de aceites y grasas, se basa en el método 5520 B (Método de partición-gravimetría) del Standard Methods (1992). El principio del método, menciona que los aceites y grasas son extraídos del agua por íntimo contacto con el solvente, para este caso el cloroformo.

En la determinación de aceites y grasas no se mide una cantidad absoluta de una sustancia específica. En esta técnica, aceites y grasas es cualquier material recuperado como sustancia afín con el cloroformo. Incluye otros materiales extraídos por el solvente de una muestra acidificada (tales como los compuestos de azufre, ciertos tintes orgánicos, y la clorofila) y no volatilizados en la prueba (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

5.1.2 Temperatura Ambiente y del Agua

El calor es la energía transferida desde un cuerpo o sistema hacia su ambiente inmediato o viceversa y la temperatura es la medida del calor de un cuerpo.

Cuando hay cambios en la temperatura, la cantidad de nutrientes se reduce así como la solubilidad de los gases, un ejemplo de esto es el oxígeno disuelto porque como lo menciona Campo Gómez (2000), al aumentar la temperatura, se aceleran las reacciones que envuelven la disolución de sólidos, pero decrece la solubilidad de los gases, por lo que no se oxidan los

elementos orgánicos. Este parámetro, también afecta la velocidad de reciclado de los nutrientes en un sistema acuático. Para obtener buenos resultados, la temperatura debe tomarse en el sitio de muestreo.

5.1.3 Color Aparente

El concepto de este parámetro se interpreta a través del color verdadero y el color aparente. El color verdadero, es el color del agua de la cual se ha eliminado la turbiedad; "el color aparente es el que contiene todas las sustancias propias del cuerpo de agua como material disuelto y sólidos en suspensión, se determina en la muestra original sin filtrarla o centrifugarla" (Severiche Sierrra, Castillo, & Acevedo, 2013).

Como dice De Vargas (2004), el color está influenciado por la presencia de carbohidratos y sustancias derivadas de estos como los taninos. Además, la lignina, las sustancias húmicas, los ácidos grasos, los iones metálicos naturales (hierro y manganeso), de plancton, de restos vegetales y residuos industriales afectan el color.

Las características de las sustancias húmicas son una mezcla de productos de descomposición no muy biodegradables y subproductos de materia orgánica natural producidas tanto por plantas como por animales. En solución acuosa diluida su color (café o negro) se transforma en amarillo-pardo típico de agua natural (Snoeyink & Jenkins, 2003).

Según Roldan Pérez (2003), las rocas de origen volcánico o calcáreo producen colores característicos, así como las algas y los compuesto húmicos. En la tabla 1, se exponen los colores propios de un cuerpo de agua según su composición.

Tabla 1. Colores en el agua según su composición

Fuente de color	Colores
Lagos altamente productivos (eutróficos)	Amarillentos, azul grisáceo o pardos
Menos productivos (oligotróficos)	Azulados o verdosos
Algas verde azules	Matices verdes
Algas Diatomeas	Pardo amarillento
Lagos con rocas calcáreas	Verdosos
Lagos de origen Volcánico	Amarillentos
Lagos con rocas ferruginosas	Rojizos
Compuestos húmicos	Amarillentos

Fuente: Roldan Pérez (2003).

Además, como lo dice Félez Santafé (2009) a temperatura ambiente, el agua es inodora e incolora, y adquiere una leve tonalidad azul en grandes volúmenes, debido a la refracción de la luz al atravesarla, ya que absorbe con mayor facilidad las longitudes de onda larga (rojo, amarillo, naranja) que las longitudes de onda corta (azul, violeta), desviando lentamente estas otras, provocando que en grandes cantidades de agua esas ondas cortas se hagan apreciables.

El mayor impacto del color sobre el cuerpo de agua se ve reflejado en su estética, por ende este parámetro se convierte en una medida visual de contaminación.

5.1.4 Olor

El olor es todo lo que se logra percibir a través del sentido del olfato y la intensidad de los olores depende del contacto de una sustancia estimulante con la adecuada célula receptora (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

Es importante determinar el olor de un cuerpo de agua, porque este es indicador de contaminación, permite hacer una aproximación sobre la existencia de sustancias extrañas que afecten el agua, como el vertimiento de aguas residuales o la descomposición de materia orgánica.

El olor, se describe de forma sensorial y hay muchas causas de olores en el agua. Sin embargo, "entre las más comunes se encuentran la materia orgánica en solución, sulfuro de hidrógeno, cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro y manganeso, fenoles, aceites, productos de cloro, diferentes especies de algas, hongos, entre otros" (Romero Rojas, 2005).

Los minerales, los metales, las sales del suelo, los productos finales de reacciones biológicas y las aguas residuales también producen olor. En la tabla 2, se expone la clasificación de olores y su origen (De Vargas, 2004).

Tabla 2. Olores característicos del agua y su origen.

Naturaleza	Origen
Olor Balsámico	Flores
Dulzor	Coelosphaerium
Olor a cloro	Aguas residuales industriales
Olor a hidrocarburo	Cloro libre
Olor medicamentoso	Refinería de petróleo
Olor a azufre	Ácido sulfihídrico
Olor a pescado	Pescados, mariscos
Olor séptico	Alcantarilla
Olor a tierra	Arcillas húmedas
Olor fecaloide	Retrete, alcantarilla
Olor a moho	Cueva Húmeda
Olor a legumbres	Hierbas, hojas en descomposición

Fuente: De Vargas (2004).

Así como el color, el olor tiene un impacto sobre el cuerpo de agua a nivel estético, por ende este parámetro se convierte en un indicador de contaminación.

5.1.5. pH

Representa la concentración de iones hidrógeno, dando una indicación de la condición de acidez, neutralidad o alcalinidad del agua, el rango de pH es de cero (0) a catorce (14).

El pH de un agua se debe al equilibrio carbónico y a la actividad vital de los microorganismos acuáticos. La razón por la cual el equilibrio carbónico puede alterar el pH significativamente es por la secuencia de disolución de CO_2 y de carbonatos e insolubilización de bicarbonatos(Marín Galvín, 2003). El cambio de pH también se puede dar la por actividad fotosintética ya que se produce CO_2, este al disolverse y mezclarse con el agua puede generar acido carbónico y/o iones bicarbonato, los cuales influyen en el pH.

Sin embargo los cambios en el pH también se dan por aporte externo de manera natural que puede acceder al cuerpo de agua por ejemplo H_2S proveniente de aguas poco oxigenadas o los ácidos húmicos provenientes de la mineralización de la materia orgánica. El aporte alcalino puede provenir de la disolución de rocas y minerales alcalinos y alcalinotérreos (Marín Galvín, 2003).

La temperatura es un factor que incide en el pH del agua. Cuando la temperatura aumenta, las moléculas que se encuentran en el agua tienden a disiparse por ende la molécula (H_2O) se disocia en los compuestos iniciales: hidrógeno y oxígeno, lo que genera cambios en el pH debido a que aumentan los iones H^+. Sin embargo, se debe aclarar que la temperatura no afecta el pH de manera significativa (Audesirk & Audesirk, 2003).

Otro factor que puede afectar el pH son las precipitaciones, ya que la lluvia cumple una función de lavado donde lleva al cuerpo de agua material que puede dar alcalinidad lo que puede aumentar el pH.

El pH según Marín Galvín (2003), permite el desarrollo de diferentes actividades químicas y la solubilidad de varias sustancias orgánicas e inorgánicas en el agua, este es determinante para la vida biológica en el cuerpo de agua. Este factor regula los diferentes procesos biológicos como la fotosíntesis y la respiración, la disponibilidad de macronutrientes que permiten el crecimiento de microorganismos en determinados ecosistemas y el movimiento de metales pesados como el cobre que pueden ser tóxicos para el crecimiento microbiano.

Un impacto medio ambiental significativo son los efectos sinérgicos lo cual comprende la adición de dos o más sustancias que pueden alterar significativamente el pH de las aguas superficiales, como lo pueden ser vertimientos de tipo agrícola, industrial o doméstico (Sanchez, Herzig, Márquez, Zambrano, & Peters, 2007).

En la tabla 3, se muestran los criterios de calidad admisibles, establecidos en el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud sobre usos del agua y residuos líquidos para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna.

Tabla 3. Criterios de calidad admisibles para pH.

Referencia	Expresado como	Agua Fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y estuarina
pH	Unidades de pH	6.5 - 9.0	4.5 - 9.0	6.5 - 8.5

Fuente: Decreto 1594 de 1984 (1984).

Es importante tener en cuenta y según lo que se puede observar en la normatividad el rango de pH en la mayor parte de los cuerpos de agua dulce no contaminados oscila entre 5.0 y 9.0. Por lo general, "este rango en el pH permite controlar sus efectos en los comportamientos de otros componentes del agua" (De Vargas, 2004). Esto puede ser a nivel físico, biológico, y/o químico por ejemplo, con el comportamiento de los iones como los bicarbonatos.

La determinación del pH se basa en el método 4500-$\boldsymbol{H}^{+}$B, Método Electrométrico, del Standard Methods (1992). El principio básico de la determinación electrométrica del pH es la medida de la actividad de los iones hidrógeno por mediciones potenciométricas utilizando un electrodo de vidrio combinado.

5.1.6 Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto es la cantidad de gas soluble presente en los cuerpos de agua. Este se presenta en cantidades variables y bajas debido a su poca afinidad con el agua; su contenido depende de la concentración y estabilidad del material orgánico presente y de la temperatura. Es, por ello, un factor muy importante en la auto purificación de los ríos (Romero Rojas, 2005).

La incorporación de oxígeno disuelto en los ríos está relacionada con la fotosíntesis, con la precipitación pluvial, el contacto del cuerpo de agua con la atmosfera y con los resaltos hidráulicos. Por el contrario, la disminución de oxígeno depende de las sustancias orgánicas o inorgánicas que requieren de este gas para su degradación y/o descomposición y otras reacciones

químicas. Además como afirma Goyenola (2007), la concentración total de oxígeno disuelto (OD) dependerá del balance entre todos estos fenómenos.

Según Roldan Pérez & Ramírez R (2008), las principales fuentes de agotamiento del oxígeno disuelto en el agua son:

1. Respiración de plantas y animales.
2. Las demandas bioquímicas solubles y finas/ particulada y suspendida.
3. Química y bentónica del oxígeno.
4. Los afluentes.
5. La agitación excesiva (induce pérdidas de oxígeno y otros gases).
6. La extensión del periodo de estratificación térmica y el sedimento.
7. Oxidación de materia orgánica por respiración a causa de microorganismos descomponedores (bacterias heterotróficas aerobias).
8. Oxidación química de materia orgánica.

Un cuerpo de agua se puede ver afectado a causa de la poca presencia de oxígeno y por la anoxia, que significa el agotamiento total del gas en el agua. Las principales consecuencias de la falta de oxígeno disuelto en el agua son, la disminución de la capacidad de autodepuración y la alteración de la biota.

Los procesos naturales con capacidad para eliminar sólidos en suspensión y materia orgánica, y en general, contaminantes de los sistemas naturales como los ríos y la capacidad de modificar la composición del agua que reciben, y eliminar contaminantes se conoce como capacidad de autodepuración (Rueda Valdivia).

La calidad fisicoquímica de los ríos varía dependiendo su altitud. Generalmente el agua de la cuenca alta de los cuerpos de agua es de buena calidad porque son pocos o nulos los vertimientos, además sus aguas rápidas permiten que haya buena oxigenación.

En este orden de ideas, a medida que desciende un río los contaminantes van aumentando, por consiguiente su velocidad y el oxígeno disminuyen; además la capacidad de autodepuración se ve reducida.

La materia orgánica de origen biológico se expresa químicamente como un hidrato de carbono (CH_2O), cuando esta entra en contacto con el oxígeno es oxidada. La reacción se representa en la ecuación 1:

$$\boldsymbol{CH_2O + O_2 = CO_2 + H_2O}$$

Ecuación 1. Reacción de oxidación de la materia orgánica
Fuente: Mota Ávila (2001).

Al no degradarse la materia orgánica esta empieza a abundar y por ende hay consumo excesivo de oxígeno, lo cual genera olores y gustos desagradables. En la tabla 4, se exponen los valores asignados de oxígeno disuelto en el decreto 1594 de 1984 para agua con uso de preservación de flora y fauna.

Tabla 4. Valor mínimo de Oxígeno disuelto para preservación de flora y fauna.

Referencia	Expresado como	Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y estuarina
Oxígeno Disuelto	-	5.0	4.0	4.0

Fuente: Ministerio de Agricultura (1984).

Adicionalmente, en la tabla 5 se presenta la clasificación de la calidad del agua basada en los artículos de Goyenola (2007) y Rodríguez (2011).

Tabla 5. Calidad del agua según el oxígeno disuelto.

Nivel de Oxígeno Disuelto (ppm)	Calidad del agua
0.0 - 2.0	Mala: grandes mortalidades
2.1- 4.9	Regular: la vida acuática corre peligro
5.0 - 7.9	Aceptable
8.0 o más	Buena

Fuente: Autoras.

La determinación del oxígeno disuelto está basada en el método 4500-0 G, método del electrodo de membrana del Standard Methods.

Este método se fundamenta, "en la tasa de difusión del oxígeno molecular a través de una membrana plástica permeable al oxígeno, que recubre el elemento sensible de un electrodo y actúa a la vez como una barrera de difusión contra las impurezas" (IDEAM, 2007).

5.1.7 Sólidos Disueltos Totales (TDS).

La composición química de las aguas refleja la naturaleza química del terreno que las contiene. Entre los factores que afectan la naturaleza química del terreno están el clima, la topografía, la geografía, la actividad biológica y antrópica.

Los elementos químicos no se encuentran aislados en el medio natural, sino combinados, formando ácidos, sales y bases, los cuales se disocian en iones cuando se disuelven en el agua. Al disolverse las sustancias químicas en el agua, estas se disocian en cationes o iones positivos y aniones o iones negativos.

Según Roldan Pérez y Ramírez (2008), los aniones más importantes son los que se encuentran en las aguas naturales; los carbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos. Ellos se encuentran en combinación con cationes como el calcio, el sodio, el potasio, el magnesio y el hierro, formando sales ionizables. A causa de la solubilidad del ácido carbónico en el agua, los carbonatos son, a menudo, las sales más abundantes en las aguas dulces.

Los TDS son minerales que están compuestos por sales inorgánicas principalmente por calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos y algunas pequeñas cantidades de materia orgánica.

Como dice Murphy (2007), la geología y los suelos de la ronda del cuerpo de agua aportan TDS. Por ejemplo, si el agua ácida fluye sobre rocas que contienen carbonato de calcio ($\boldsymbol{CaCO_3}$), los iones de calcio ($\boldsymbol{Ca^{2+}}$)y carbonato ($\boldsymbol{CO_3^{2-}}$)se disolverán en el agua. Por lo tanto, los TDS aumentarán. Sin embargo, algunas rocas, como la de granito, ricas en cuarzo son muy resistentes a la disolución, y no se disuelven fácilmente en el agua.

Adicionalmente, durante las tormentas, los contaminantes tales como las sales de calles, o los fertilizantes de césped aportan TDS porque son fáciles de disolver y pueden llegar a la superficie del agua y otros materiales pueden ser arrastrados e incorporados en los arroyos y ríos.

Debido a la gran cantidad de pavimento en las zonas urbanas, las zonas de sedimentación natural han sido eliminadas, y los sólidos disueltos se llevan a través de los desagües pluviales a los cuerpos de agua (Murphy, 2007).

Según Campos Gómez (2000), las consecuencias más evidentes de los TDS sobre la calidad del agua son las propiedades cancerígenas o tóxicas de algunos de ellos, debido a que iones como el cobre, el plomo, los nitratos, el arsénico y el aluminio hacen parte del grupo.

Cuando la concentración de los TDS es alta, Romero Rojas (1996), afirma que estos pueden causar:

- El agua sea corrosiva.
- De sabor salado o más salobre y de lugar a la formación de incrustaciones en tuberías.

Por la gran cantidad de TDS las partículas en el agua pueden impedir la penetración de la luz en el cuerpo de agua, lo que puede afectar los diferentes procesos que se dan con la luz solar como lo es la fotosíntesis. Los TDS cuando se encuentran en grandes cantidades actúan como una barrera impidiendo el ingreso de la luz solar, cuando la fotosíntesis se ve afectada esta también interfiere en otros parámetros como lo es el oxígeno disuelto, ya que gracias a esta actividad biológica se generan las condiciones para la incorporación de oxígeno.

La medición de la cantidad de sólidos presentes en el cuerpo de agua, se realiza directamente, y está basada en la medida en campo de los TDS, utilizando un equipo como el conductidímetro.

5.1.8 Sólidos Sedimentables

Los sedimentos son una combinación de barro, cieno, arena, materia orgánica y diversos minerales de diferentes tamaños. Los sólidos sedimentables se caracterizan por tener una densidad mayor a la del agua, estos se mantienen en constante movimiento gracias a las fuerzas

de arrastre y a la velocidad del flujo del agua. Sin embargo, cuando la turbulencia y estas fuerzas disminuyen por efecto de la gravedad empiezan precipitar.

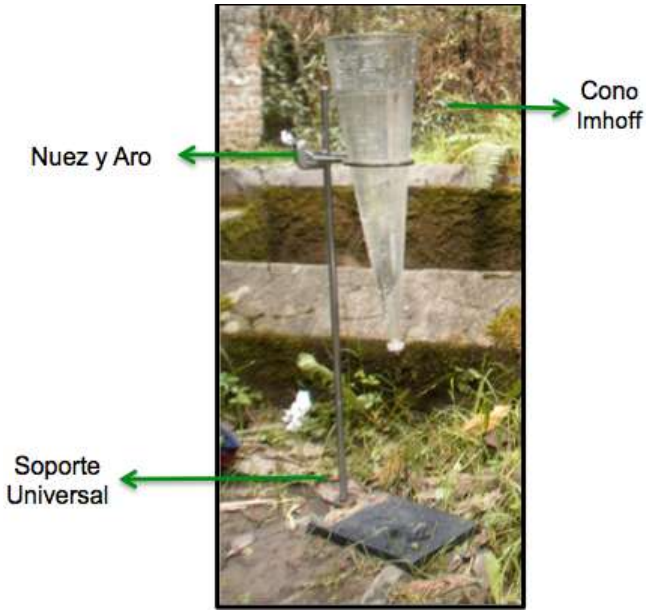
Los sedimentos proceden en gran parte de la rápida erosión de las sub-cuencas como consecuencia de prácticas agrícolas poco acertadas (FAO, 1997).

Así mismo, muchos de los contaminantes que se encuentran en la cuenca como, bioacumulados y tóxicos, especialmente los compuestos clorados incluidos en muchos plaguicidas se incorporan con los sedimentos, en especial con el carbono orgánico transportado en la masa de los sedimentos hacia los ríos (FAO, 1997).

Los altos niveles de sedimentación en los ríos pueden generar reducción de la profundidad y baja capacidad del río para evitar inundaciones. Adicional a esto también puede aumentar la turbidez de la columna de agua (Contreras Lopez & Molero Meneses, 2011).

Los sólidos sedimentables se determinan a través de una prueba volumétrica. El método correspondiente es el 2540 F consignado en el Standard Methods (1992). Para realizar la prueba, se requiere un cono Imhoff, un soporte universal, una nuez y un aro metálico. El cono Imhoff es un recipiente cónico, de un litro de capacidad y tiene graduación de 0.1 a 1000 ml. El soporte universal es una pieza donde se sujeta la nuez y permite montar aparatos de destilación y otros equipos similares. Los aros son de metal, de estructura circular y se adaptan al soporte universal y sirven como soporte de otros materiales como lo son los vasos de precipitados, conos

Imhoff, embudos de separación, entre otros. En la figura 1, se muestra el montaje necesario para la medición de sólidos sedimentables.



Fuente: Autoras.
Figura 1. Montaje para determinar sólidos sedimentables

5.1.9 Turbidez

La turbidez es la propiedad óptica que tiene un cuerpo de agua de dispersar o absorber los rayos solares que llegan a este, es decir dificulta la penetración de la luz por toda la columna de agua. Como lo menciona De Vargas (2004), las sustancias responsables de la turbiedad del agua son las partículas en suspensión tales como arcillas, minerales, sedimentos, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plancton, bacterias y otros microorganismos. Estas partículas causantes de la turbiedad pueden ser coloidales o materia insoluble de mayor tamaño. La turbiedad también influye en el color aparente del agua.

El material coloidal impide la transmisión de la luz, porque la absorbe o dispersa. La mayor turbidez está asociada con el tamaño de partículas; a menor tamaño de partículas se tendrá mayor turbidez del agua (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

La turbidez aumenta a causa de la erosión de las orillas, por el crecimiento excesivo de algas, con los cambios en el flujo de los ríos y por la re suspensión de sedimentos generada por turbulencia. Además, como dice Marín Galvín (2003), los aportes de aguas de escorrentía producto de las épocas de lluvias ricas en materias minerales causan aumentos de turbidez.

Según Manahan (2006), este parámetro tiene varios efectos sobre el agua, porque las sustancias que generan turbidez impactan la calidad del agua, la vida acuática, y causan contaminación visual. Es por esto que la turbidez influye en la estética de un cuerpo de agua.

La turbidez en el agua puede disminuir severamente la fotosíntesis reduciendo así la actividad primaria necesaria para sostener las cadenas de alimentos de los ecosistemas acuáticos. El resultado es un aumento de la mortandad de organismos y un empobrecimiento de la flora y fauna acuáticas (Manahan, 2006).

Para complementar lo dicho anteriormente, las partículas suspendidas bloquean y absorben la luz solar por lo que la temperatura del agua aumenta; esto a la vez incide en el oxígeno disuelto dado que a mayor temperatura, menor oxígeno disuelto (el O_2 es una molécula apolar pura, su solubilidad en agua es baja y es muy volátil). Además, la disminución en el

proceso de la fotosíntesis también influye en las bajas concentraciones de O_2 (Roldan Perez & Ramirez R, 2008)

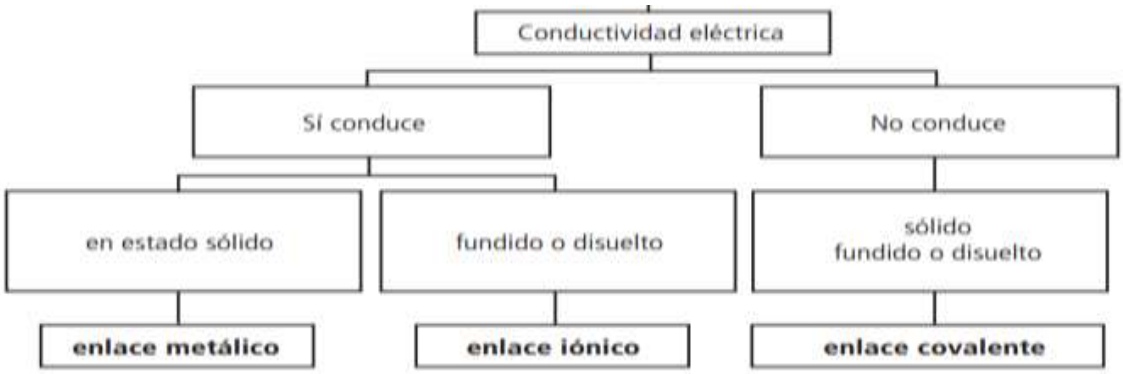
La determinación de turbidez se apoya en el método 2130 B, Método Nefelométrico. El principio del método está basado "en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas y la dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. Cuanto mayor es la intensidad de la luz dispersada a 90 grados de la vía de la luz incidente más intensa es la turbidez" (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

5.1.10 Conductividad Eléctrica

La conductividad es la capacidad del agua de conducir la corriente eléctrica. Esta dada por la cantidad de iones disueltos en el agua, a mayor cantidad de iones mayor conductividad (Villarreal Morales, 2000).

Son los minerales que se disuelven en el agua, los que aumentan la capacidad de conducción. Los sólidos en el momento que se disuelven se separan en cationes (positivos) y aniones (negativos). Los iones positivos y negativos son los que se encargan de conducir la corriente.

En la Figura 2, se puede observar cómo se diferencian algunas sustancias y la naturaleza de sus enlaces, en este caso los componentes inorgánicos que son los que presentan enlace metálico y enlace iónico y los compuestos orgánicos que son los que presenta enlaces covalentes.



Fuente: Garritz Ruiz (2005).
Figura 2. Enlaces químicos son buenos conductores de la corriente eléctrica

La mayoría de los metales en estado sólido son los que conducen electricidad. Las interacciones que conservan unidos los átomos de metales son características principales de los metales, por ende su facilidad de transportar la electricidad, este comportamiento se conoce como enlace metálico.

"El enlace metálico ocurre entre dos átomos de metales. En este enlace todos los átomos envueltos pierden electrones de sus capas externas, que se trasladan libremente entre ellos formado una nube electrónica" (Gonzalez, 2010).

Según Garritz Ruiz (2005), los iones cargados quedan separados y libres para moverse, lo cual permite el paso de la corriente eléctrica. Este es el modelo del enlace iónico, con el que se explica la conductividad eléctrica, al interpretarla mediante la desaparición de las interacciones multidireccionales que existen entre los iones que constituyen los llamados sólidos iónicos. Para

el caso del enlace covalente las moléculas se separan de sus compañeras creando así una interrupción de la corriente, por lo tanto no es posible conducir electricidad.

Como buenos conductores se pueden nombrar los aniones de cloruro, nitrato, sulfato y fosfato, que son compuestos inorgánicos. Según Hepler (1968), las disoluciones de ácidos, bases y sales son mejores conductoras que el agua pura, ya que estos solutos suministran iones que puedan actuar como agentes de transporte de la corriente. Además que son solubles en agua y en disolventes polares, esto les permite interactuar más fácil y reaccionar más rápido.

En el caso contrario, los compuestos orgánicos no son tan buen conductores, ejemplo de estos son los aceites y grasas, fenoles, alcoholes y azúcares. En los cuerpos de agua dulce, la conductividad está influenciada por la geología del área donde transita su cauce. Por ejemplo, el aporte de sustratos graníticos tiene menos conductividad ya que está compuesto por materiales que no ionizan.

Según Goyenola (2007), el aumento de la conductividad se puede dar también por la descarga de aguas residuales, estas por lo general aumentan la concentración de cloruros, nitratos y sulfuros u otros iones. Cuando la descarga es por ejemplo de compuestos orgánicos no alteran mayormente la conductividad.

En la tabla 6 se puede observar el valor de conductividad eléctrica según su contenido iónico (Roldan Perez & Ramirez R, 2008).

Tabla 6. Contenido Iónico en aguas superficiales

Bajo contenido Iónico	Alto contenido iónico
50 $\boldsymbol{\mu Scm^{-1}}$	500 $\boldsymbol{\mu Scm^{-1}}$ hasta 2000 $\boldsymbol{\mu Scm^{-1}}$

Fuente: Autoras

La conductividad está relacionada con el potencial hidronio dado que "en aguas pobres y con pH menor que 5, el ion $\boldsymbol{H^{+}}$es el principal responsable de los valores altos de conductividad; en aguas básicas con pH mayor que 9, es el $\boldsymbol{OH^{-}}$quien más contribuye a los altos valores de conductividad (Roldan Perez & Ramirez R, 2008).

El equipo que se utiliza para determinar la conductividad eléctrica es el conductidímetro. Este es un equipo formado por dos placas de un material especial (platino, titanio, níquel recubierto con oro, grafito, entre otros), una fuente alimentadora de corriente y un sector o escala de medición. Con los valores del voltaje aplicado y con la intensidad eléctrica de la corriente que pasa por las placas (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

5.1.11 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es la medida de la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente la materia orgánica e inorgánica presente en una muestra de agua. "Específicamente, representa el contenido orgánico total de la muestra, oxidable por dicromato de potasio en una solución ácida" (Romero Rojas, 2005).

LA DQO es una medida de la calidad química del agua. Es decir, es un indicador de cuan contaminado está un cuerpo de agua ya que entre más alta la DQO, se infiere que hay niveles altos de vertimientos y bajos niveles de O_2. En la tabla 8, se expone la clasificación de la calidad del agua expuesta por Sánchez, Herzig, Eduardo, Márquez, & Zambrano (2007).

Tabla 7. Escala de clasificación de la Calidad del Agua según la DQO.

DQO	Criterio	Descripción
Menor o igual a 10 mg/L	Excelente	No contaminada
Mayor a 10 mg/L y menor o igual a 20 mg/L	Buena Calidad	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable
Mayor a 20 mg/L y menor o igual a 40 mg/L	Aceptable	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente
Mayor de 40 mg/L y menor o igual a 200 mg/L	Contaminada	Aguas superficiales con descargas de aguas crudas, principalmente de origen municipal
Mayor a 200 mg/L	Fuertemente Contaminada	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales

Fuente: Sanchez, Herzig, Eduardo, Márquez, & Zambrano (2007).

El método utilizado en esta investigación para determinar la demanda química de oxígeno (DQO), fue el 5220 C reflujo cerrado, método titulométrico del Standard Methods. El principio de la técnica analítica, es que la mayor parte de la materia orgánica resulta oxidada por una mezcla a ebullición de los ácidos crómico y sulfúrico. Se somete a reflujo una muestra en una solución ácida fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio ($\boldsymbol{K_2\ Cr_2O_7}$). Después de la digestión, el $\boldsymbol{K_2\ Cr_2O_7}$ no reducido que quede se determina con sulfato ferroso amoniacal

(FAS) para determinar la cantidad de $\boldsymbol{K_2\ Cr_2O_7}$ consumido y calcular la materia orgánica oxidable en términos equivalente de oxígeno.

5.1.12 Dureza Total

El termino dureza se refiere a la concentración total de iones alcalinotérreos que hay en el agua. Como la concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+}. La dureza se expresa por lo general por el número equivalente de $CaCO_3$ por litro (Harris, 2007).

Específicamente la dureza total, es la suma de los iones calcio y magnesio presentes en el agua. Frecuentemente, en lo que respecta a componentes activos del agua, la concentración relativa de los iones más importantes, en orden decreciente, es la siguiente (Neira Gutierrez, 2006):

$$\boldsymbol{Ca^{2+} > Na^{+} > Mg^{2+} > K^{+}}\ \textit{para los cationes}$$

$$\boldsymbol{HCO_3^{-} > SO_4^{2-} > Cl^{-}}\ \textit{para los aniones}$$

Los anteriores iones se pueden encontrar en concentraciones de 1 a 250 mg/L. Los iones de calcio y magnesio son los que constituyen el 95% de la dureza del agua.

Se debe aclarar que no solo el calcio y el magnesio son los únicos causantes de la dureza, también contribuyen estroncio, hierro, manganeso, bario y otros iones polivalentes, los cuales se combinan con aniones como los nitratos y bicarbonatos (Neira Gutierrez, 2006).

Debido a que el calcio y el magnesio son los principales iones causantes de la dureza en el agua, es pertinente conocer cuáles son las fuentes de estos. Como lo menciona Cabildo (2013), entre los minerales que constituyen la fuente primaria del ion calcio en el agua, está el yeso, la anhidrita, la dolomita, la calcita y la aragonita.

Según Mikkelsen (2010), el magnesio se localiza dentro de los minerales arcillosos del suelo; arcillas como la clorita, la vermiculita contienen magnesio como parte de su estructura interna. Así mismo, en las aguas naturales, "el Mg procede de la disolución de rocas carbonatadas (dolomías y calizas magnesianas), evaporitas y de la alteración de silicatos ferromagnesianos.

Las principales fuentes que aportan a la dureza total provienen de la naturaleza del entorno del cual está rodeado el cuerpo de agua, del suelo, de las percolaciones y la escorrentía que incorpora minerales y nutrientes a los ríos (Mikkelsen, 2010).

Sin embargo las acciones antrópicas también juegan un papel muy importante, pues las industrias en general, las curtiembres y diferentes sectores económicos que hacen vertimientos sin ningún tipo de tratamiento, pueden aumentar considerablemente la dureza en el agua por los compuestos químicos que contienen calcio o los fertilizantes que tienen magnesio (Mikkelsen, 2010).

Cuando los niveles de dureza total son altos, se dice que las aguas son duras; pero cuando

sus niveles son bajos se denominan aguas blandas. Las aguas duras se caracterizan por generar incrustaciones en los sistemas públicos de distribución de agua, aumentando la resistencia del flujo normal del agua disminuyendo su capacidad además, requieren demasiado jabón para la formación de espuma; por el contrario el agua que contiene pocas sales es decir, aguas blandas, intensifican la acción de los jabones y detergentes (IDEAM, 2007).

La tabla 8, muestra los valores de calidad del agua para este parámetro según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), por sus siglas en ingles.

Tabla 8. Clasificación de la dureza en aguas

Clasificación	Valores expresados como $\frac{mg}{L} CaCO_3$
Suave	Hasta 50
Moderadamente suave	51-100
Poco dura	101-150
Moderadamente Dura	151-250
Dura	251-350
Excesivamente Dura	Más de 350

Fuente: Agencia de Proteccion Ambiental de Los Estados Unidos (2001).

5.1.13. Estado del Arte.

Los estudios relacionados sobre calidad del agua superficial utilizando indicadores fisicoquímicos aplicados para analizar cuencas hidrológicas, quebradas y ríos sirvieron como cimiento científico para la investigación realizada, lo estudios se exponen a continuación.

En el año 2006, **Arango, Álvarez, Arango, Torres y Monsalve** con el fin de evaluar la calidad el agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda (las fuentes que abastecen el acueducto del área urbana del municipio de San Luis, Antioquia) y de generar un mapa de calidad de agua que sirviera como base de comparación de la evolución de las quebradas y así justificar la inversión ante el municipio para mejorar los tramos más críticos, utilizaron indicadores físico-químicos y biológicos como temperatura, conductividad, oxígeno, pH, coliformes y macro invertebrados acuáticos. Además, como criterio normativo utilizaron los límites expresados en el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura de Colombia. En esta investigación se realizaron dos muestreos compuesto de 9 puntos, en el año 2006 y uno correspondió al período seco (febrero) y otro al período lluvioso (abril).

Como parte de los resultados y sus respectivos análisis obtuvieron que las quebradas estaban afectadas por escorrentías provenientes de los cultivos y vertimientos de aguas residuales domésticas y pecuarias y que valores correspondientes al pH en todas las estaciones fueron cercanos al neutro (7,07-6,83 unidades), lo que indico que eran aguas favorables para la biota acuática y que no eran limitantes para ningún uso y para el caso del oxígeno disuelto concluyeron que el agua estuvo bien oxigenada gracias a la pendiente de ambas quebradas y a su lecho rocoso que generó alta turbulencia. A groso modo, ellos concluyeron que los tramos más críticos para la calidad del agua en estas quebradas son los que se sitúan entre el punto 8 y el punto 10, que corresponde al tramo de La Risaralda adyacente al área urbana del municipio donde debe hacerse un trabajo de protección del curso de agua para preservarlo de los vertidos y escorrentías de aguas residuales, ya que la población utiliza el agua de la quebrada para usos

agropecuarios, recreativos y domésticos, lo cual es peligroso por la alta contaminación fecal de las aguas y por ello puede transmitir parasitosis y enfermedades digestivas y de la piel (Arango, Álvarez, Arango, Torres, & Monsalve, 2008).

Posada G, Roldán Pérez & Ramírez R (2000), realizaron un estudio con la intención de elaborar un mapa de calidad del agua de la cuenca de la quebrada del Parque Piedras Blancas (Antioquia) considerando criterios físicos, químicos y biológicos. El área de estudio está ubicada dentro del Parque Piedras Blancas entre los 2200 y 2600 msnm sobre la cordillera central, al extremo oriente del municipio de Medellín en el Departamento de Antioquia, Colombia. El estudio fue realizado en la cuenca alta y establecieron 35 estaciones de muestreo que recogían ecosistemas perturbados y no perturbados. Los muestreos los llevaron a cabo en tres períodos que incluyeron la época húmeda (de abril a mayo y de septiembre a noviembre) y seca (de diciembre a febrero y de junio a agosto). El primer muestreo lo hicieron durante los meses de abril y mayo, el segundo en agosto y septiembre y el tercero en octubre y diciembre de 1996.

Como parámetros fisicoquímicos tuvieron en cuenta, la temperatura del agua, la conductividad, la turbidez, los sólidos totales, el oxígeno disuelto, dióxido de carbono, pH, alcalinidad total, dureza, amonio, nitritos, nitratos, ortofosfatos, fosforo total y sulfatos. Como conclusión, determinaron que la dispersión en la mayoría de variables fisicoquímicas medidas en el Parque de Piedras Blancas reflejaron que la naturaleza química del agua fue uniforme para los puntos de muestreo; y basados en la poca variación de los factores ambientales analizados a lo largo del estudio y por los valores medios bajos y acordes con los rangos normales citados en

Roldán (1992) para aguas naturales, afirmaron que las aguas del Parque Piedras Blancas se encontró en buen estado y se ajustó a la clasificación oligo-mesotróficas.

Patiño O. y Osorio I. (2011), realizaron un estudio físico-químico de la quebrada Padre de Jesús ubicado en los cerros orientales de la ciudad de Bogotá, este estudio lo llevaron a cabo con el fin de definir sus características particulares como consecuencia de la intervención y ocupación antrópica. Por lo anteriormente dicho, también realizaron la caracterización biótica y abiótica del cauce de la quebrada Padre de Jesús para estudiar el estado ambiental de la microcuenca. La investigación se llevó a cabo durante un periodo consecutivo de doce semanas, la toma de muestras de agua fue en el nacimiento de la quebrada y en la parte baja de la misma, sobre la avenida Circunvalar, antes de su canalización.

La metodología implementada para el desarrollo de la investigación se dividió en cuatro fases: la primera fase, fue el reconocimiento de la zona en donde se investigaron y diagnosticaron los elementos para tener en cuenta en el momento de la caracterización. La fase dos fue la consulta y selección de fuentes secundarias, después se realizaron los diferentes aforos de caudal mediante el método volumétrico, finalmente en la fase 4 se hizo una caracterización abiótica donde se tuvo en cuenta el clima, la precipitación, temperatura, humedad relativa, brillo solar, velocidad del viento, zonas de vida, suelo y agua. Los parámetros físico-químicos medidos fueron: pH, oxígeno disuelto, DBO_5, DQO, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, grasas y aceites, sólidos totales, zinc y cobre.

Según los resultados obtenidos, el único parámetro que estuvo ligeramente por encima del límite establecido en el decreto 1594 de 1984 fue el zinc ya que la norma establece que debe estar máximo en 0.01 mg/L y en el estudio se obtuvo una concentración de 0.02 mg/L. La quebrada muestra contaminación y disminución en su cauce por la presencia de residuos orgánicos provenientes de los predios, derivados de las actividades productivas y habitacionales que se desarrollan en la zona. Dicha contaminación es originada por el inadecuado o inexistente tratamiento de las aguas servidas, por la baba animal, las heces y la orina que se vierten al drenaje.

Milán Valoyes, Caicedo Quintero & Aguirre Ramírez (2011), realizaron un estudio de calidad de agua llamado: Quebrada La Popala, un análisis de calidad del agua desde algunas variables fisicoquímicas, microbiológicas y los macroinvertebrados acuáticos. Esta quebrada abastece de agua a los habitantes del corregimiento de Bolombo y nace al noroeste del casco urbano de este corregimiento, ubicado en el municipio de Venecia, departamento de Antioquia y desemboca en el río Cauca, Colombia. A través de este trabajo se evaluó de una manera espacial la calidad del agua a partir del análisis fisicoquímico, microbiológico, de la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y del índice biótico BMWP modificado para Antioquia.

Los muestreos se llevaron a cabo en noviembre 14 y 28 de 2009, y se hicieron cuatro estaciones de muestreo. La estación 1, se localizó en el nacimiento de la quebrada a 794 m.s.n.m. En este sector, predomina un lecho conformado por hojarasca, y en parte, por grava y

arena. La estación 2 se caracterizó por presentar un sustrato constituido principalmente por grava y, en menor proporción, por arena y hojarasca. La tercera estación de muestreo, tiene un sustrato constituido por rocas, grava y arena. La estación 4, se ubicó en la zona urbana del corregimiento de Bolombolo, cerca de la desembocadura de la quebrada al río Cauca.

Las parámetros fisicoquímicos evaluados "in situ" fueron: temperatura del agua, pH, dióxido de carbono, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno. Y los parámetros analizados en el laboratorio fueron: alcalinidad total, turbiedad, ortofosfatos, Dureza cálcica, Sólidos totales, Sólidos disueltos, Sólidos suspendidos, Nitratos, Reducción con cadmio, Nitritos, Amonio además, se tomaron muestras para el análisis de coliformes totales y fecales.

En este estudio, Milán Valoyes, Caicedo Quintero & Aguirre Ramírez (2011), obtuvieron como resultados fisicoquímicos que la conductividad eléctrica, alcalinidad total, pH, turbiedad, dureza cálcica y los nutrientes asociados al nitrógeno $(NO_3^- \ y \ NO_2^-)$ registraron poca variación entre estaciones (ver anexo 5).

En el muestreo realizado el 28 de noviembre de 2009, el oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación presentaron una disminución en la cuarta estación de muestreo. La disminución de este gas estuvo relacionada con un valor muy alto (17,6 mg/l) del CO_2, situación que se asume como un deterioro de la calidad del agua debido a las descargas directas de aguas residuales de origen doméstico. Así mismo, en la estación 4, se registraron valores altos en los sólidos totales

(454 mg/l) en la toma de muestras realizada el 14 de noviembre y de los ortofosfatos (2.85 mg/l) en el muestreo de noviembre 28.

Adicionalmente, los resultados registrados para coliformes totales y fecales mostraron valores altos desde la estación 1 hasta la 4, con lo cual se evidenció contaminación de las aguas de la quebrada La Popala en todo su recorrido. Sin embargo, las muestras analizadas directamente de la red de distribución de agua potable indicaron que el agua que se suministra a los habitantes del corregimiento de Bolombolo, es apta para el consumo humano.

Finalmente, según lo obtenido en la mayoría de las variables fisicoquímicas, las características y la distribución espacial de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y los valores obtenidos por el índice biótico BMWP infieren que la estación 2, presentó las mejores condiciones ambientales y la estación 4 evidenció contaminación del cuerpo de agua.

5.1.14 Buenas Prácticas de Muestreo y Buenas Prácticas de Laboratorio.

Las Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL) según él Ministerio de Salud y Protección Social (2013), son un conjunto de reglas y procedimiento operativos que garantizan que los datos generados sean reproducibles y representativos, asegurando así la validez y confiabilidad de los resultados a ofrecer.

Las Buenas Prácticas de Muestreo (BPM), son los diferentes procedimientos que garantizan la confiabilidad de las muestras siendo estas representativas, fáciles de movilizar y suficientes para analizar, evitando y minimizando los riesgos de que estas sean contaminadas o alteradas. Estas también garantizan que los riesgos para el muestreador sean mínimos (Instituto Nacional de Salud, 2011)

"El objetivo de la toma de muestras es la obtención de una porción de material cuyo volumen sea lo suficientemente pequeño como para que pueda ser transportado con facilidad y manipulado en el laboratorio sin que por ello deje de presentar con exactitud al material de donde procede." (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

Las reglas generales para una buena toma de muestras según la organización panamericana de la salud (1988) son:

La muestra no debe deteriorarse o contaminarse antes de llegar al laboratorio. El envase el cual servirá para llevar la muestra, deberá ser lavado dos o tres veces con el agua que se va a transportar. En el caso que contenga algún preservarte no se debe lavar.

En el momento de la recolección se debe hacer un registro de manera individual de cada muestra, así mismo identificando cada envase con una etiqueta. En la etiqueta debe consignarse la información suficiente, para que se pueda ubicar sin problema y su caracterización sea ágil.

Para que la etiqueta sea una herramienta útil debe tener la ubicación del lugar donde se toma la muestra, la fecha, la hora, temperatura del agua y cualquier dato que el muestreador considere relevante.

Según los (APHA, AWWA, WPCF, 1992), toda la información pertinente a la toma de muestras y al trabajo en campo, se debe registrar en un libro que contemple los aspectos que a continuación se mencionan:

- Objeto de la toma.
- Localización de punto de muestreo.
- Nombre del muestreador.
- Tipo de muestra.
- Espacio para las observaciones.

Dado que las situaciones de toma de muestra son muy variadas, no pueden darse reglas generales acerca de la información que debe registrarse en el libro, pero en cualquier caso conviene incluir la información suficiente como para que pueda reconstruirse la toma de muestra para no depender de la memoria del que ha obtenido la muestra.

5.1.14.1 Recepción y Almacenamiento de la Muestra

En el laboratorio, la persona encargada debe recibir la muestra e inspeccionar su estado y sello, comprobar la información de la etiqueta con el fin de hacer el respectivo registro de la

cadena de vigilancia, así se asigna un número de laboratorio. Se registra la entrada al laboratorio y un lugar para el almacenamiento. (APHA, AWWA, WPCF, 1992)

5.1.14.2 Seguridad para la Toma de Muestras

La persona o las personas que realicen los muestreos, previamente deben recibir una capacitación de cómo manejar los equipos en campo, de cómo reaccionar en el momento de una emergencia. Con el fin de desarrollar la capacidad de resolver o mantener bajo control los inconvenientes, mientras llega la ayuda adecuada. Adicional a esto se debe advertir para que sector o territorio se dirige para que esté preparado. (APHA, AWWA, WPCF, 1992)

Antes de salir a campo, se recomienda que hacer un recorrido previo para reconocer el terreno y así desenvolverse mejor en él, para cuando se esté realizando el trabajo en campo reducir al mínimo los riesgos.

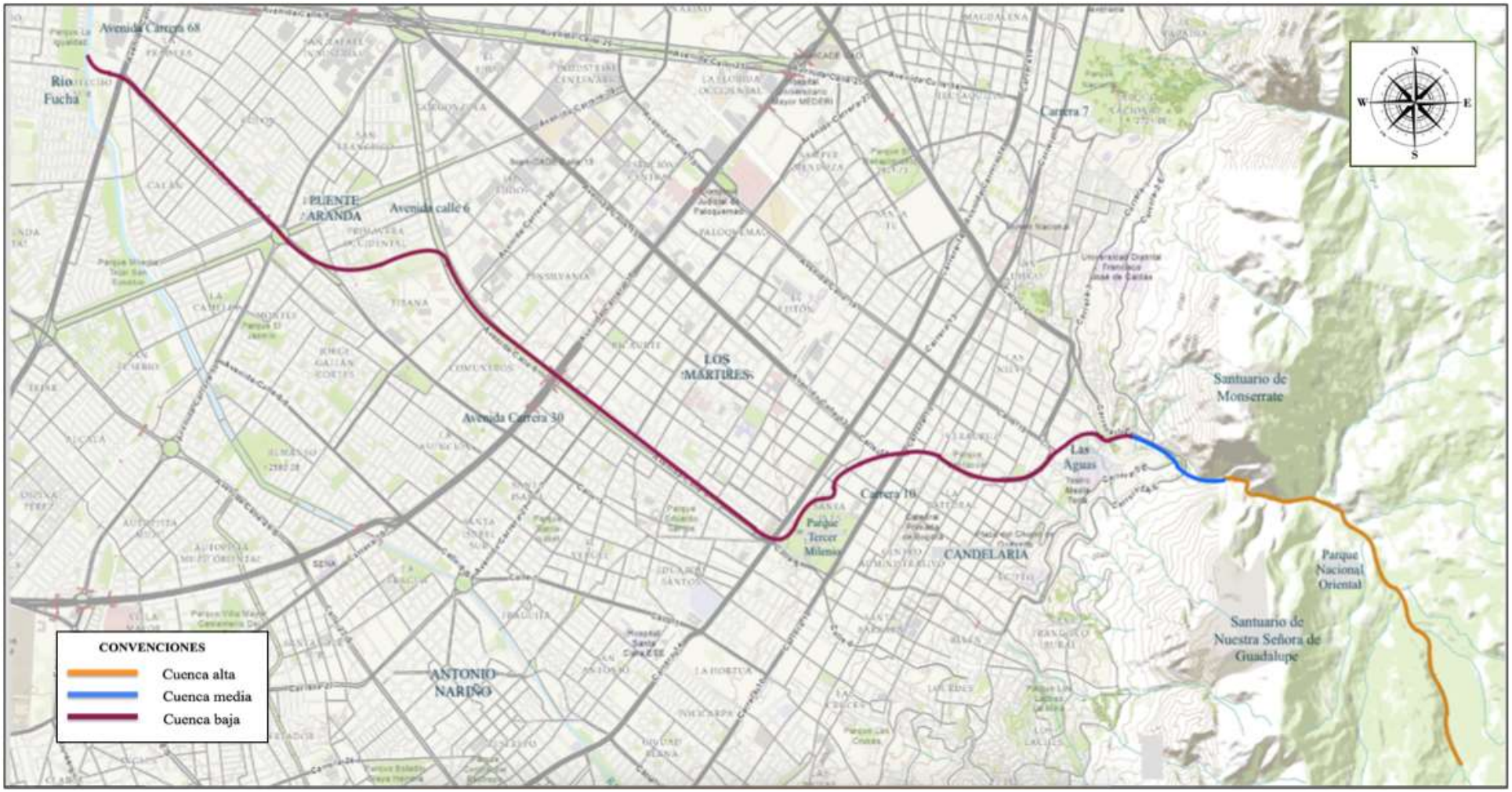
5.2. MARCO GEOGRÁFICO

Andrés Lombana Martínez (Empresa De Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, Colombia, entrevista, 2014), señaló que actualmente no hay un estudio o diagnóstico oficial que zonifique el río San Francisco, por esto los funcionarios de la empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, EAAB-ESP según sus experiencias hicieron una pequeña zonificación.

- **Cuenca Alta.** Comprendida entre su nacimiento y el sector conocido como la Toma o predio el Molino de propiedad de la EAAB-ESP.
- **Cuenca Media**. Comprendida entre el sector conocido como la Toma hasta la Quinta de Bolívar, lugar donde el río fue canalizado.
- **Cuenca Baja.** Comprendida entre la Quinta de Bolívar y su entrega al río Fucha.

El río San Francisco nace en el páramo Cruz Verde, el cual hace parte del complejo Cruz Verde- Sumapaz del Distrito de páramos de Cundinamarca y está ubicado en los cerros orientales de Bogotá. El río se forma a partir de la confluencia de la quebrada El Salitre y Santa Ana.

La ubicación del río en un plano general y la zonificación de este según la parte de la cuenca por donde pasa, se puede observar en la Figura 3.



Fuente: (Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital, 2013) *modificado por las Autoras.*

Figura 3. Ubicación del río San Francisco en Bogotá.

El río desciende por medio de los cerros de Monserrate y Guadalupe. En su mayoría, el cuerpo de agua no es visible debido a la topografía y vegetación tupida de la zona pero hay ciertos lugares donde se puede apreciar (ver figura 4).



Fuente: Autoras.
Figura 4. Predio el Boquerón Km 11 vía Choachí

Continuando el recorrido, el río llega al predio el Molino, allí está ubicado lo que era el antiguo acueducto de la ciudad llamado Agua Nueva, que conducía las aguas del río San Francisco a Bogotá. En la figura 5, se puede apreciar el paso del río por este predio. Este terreno es propiedad de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y es zona de reserva forestal.



Fuente: Autoras.
Figura 5. Río san Francisco y el Antiguo Acueducto de Bogotá.

Como lo menciona Atuesta Ortiz (2010), el cuerpo de agua continúa su cauce, por debajo de la avenida circunvalar sentido norte-sur pasando por el lado de la Fundación Universidad América y cerca de la Casa Quinta de bolívar y es allí donde fue canalizado en la etapa comprendida entre 1917 a 1948.

Posteriormente el río continúa ya canalizado, por la avenida Jiménez o calle 13, una parte va subterránea y la otra alimenta el eje ambiental, inaugurado en el año 2000. El eje sacó a la superficie parte del río con el fin de embellecer el centro de la ciudad.

El eje ambiental termina en la calle 13 con carrera décima, por esta razón el río continúa completamente subterráneo por la avenida Jiménez atravesando la plazoleta de la mariposa en San Victorino entre la carrera décima y la avenida Caracas o carrera 14 hasta llegar a la calle sexta. Sigue por la misma calle y en la avenida caracas con sexta recibe el caudal de las quebradas San Bruno y Guadalupe y del río San Agustín.

Sigue canalizado y subterráneo por toda la avenida de Los Comuneros (calle Sexta). Es visible en la carrera 24. Se desvía a la avenida calle Tercera entre las carreras Treinta y siete y Treinta y nueve. Recibe las aguas servidas de los barrios Primavera, Jazmín, Galán, San Rafael y Pradera. Atraviesa la localidad de Puente Aranda y la avenida carrera 68 para unirse a la altura de la calle Cuarta al río Fucha.

5. 3. MARCO LEGAL

La conservación y protección del recurso hídrico es vital y de gran importancia para el crecimiento de cualquier comunidad, además del desarrollo de cada uno de los individuos que la constituye. Para que el cuidado del recurso natural sea una realidad, se deben diseñar e implementar una serie de normas que establezcan los parámetros y las formas correctas de usar y preservar el agua. A continuación se exponen las diferentes normas y en específico los artículos pertinentes al tema objeto de estudio.

La Constitución Nacional de la República de Colombia de 1991, en el **artículo 8**, establece que "es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación".

Así mismo, el **artículo 79**, instituye que "todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines".

En el **artículo 80**, se menciona que "el Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las

sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas".

En el **artículo 95**, expresa que es deber de toda persona y ciudadano proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano.

El Decreto 3930 de 2010, establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.

Y el **artículo 9** de este decreto presenta los usos del agua y dice lo siguiente: Para los efectos del presente decreto se tendrán en cuenta los siguientes usos del agua:

1. Consumo humano y doméstico
2. Preservación de flora y fauna.
3. Agrícola.
4. Pecuario.
5. Recreativo.
6. Industrial.
7. Estético.
8. Pesca, Maricultura y Acuicultura.
9. Navegación y Transporte Acuático.

Para esta investigación, el río San Francisco tiene un uso de preservación de flora y fauna y uso estético. Por esta razón, también son pertinentes los siguientes artículos:

El Artículo 11. Uso para la preservación de flora y fauna. Se entiende por uso del agua para preservación de flora y fauna, su utilización en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos.

Artículo 18. Uso estético. Se entenderá por uso estético el uso del agua para la armonización y embellecimiento del paisaje.

Aunque el Decreto 1594 de 1984 está derogado por el Decreto 3930 de 2010, de este se toman los criterios de calidad para los diferentes usos, hasta tanto se establezcan por la entidad correspondiente los nuevos límites permisibles de vertimientos y criterios de calidad para los diferentes usos de recurso hídrico.

Específicamente el **artículo 44**. Que establece: Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso estético son los siguientes:

1. Ausencia de material flotante y de espumas, provenientes de actividad humana.

2. Ausencia de grasas y aceites que formen película visible.

3. Ausencia de sustancias que produzcan olor.

Y el **artículo 45**. Que instaura: los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna, en aguas dulces, frías o cálidas y en aguas marinas o estuarinas.

Además, se tiene en cuenta el Parágrafo de este artículo que dice lo siguiente: “Como criterios adicionales de calidad para los usos de que trata el presente artículo, no deben presentarse sustancias que impartan olor o sabor a los tejidos de los organismos acuáticos, ni turbiedad o color que interfieran con la actividad foto-sintética.”

6. METODOLOGÍA

Antes de desarrollar el trabajo en campo, se realizaron tres recorridos en la zona de estudio, con el fin de reconocer el río y su ronda hidráulica y establecer los puntos de muestreo.

El primer recorrido se hizo en parte de la cuenca baja del río San Francisco, comprendida entre la Quinta de Bolívar y la Calle 13 con Carrera 10. El segundo recorrido se realizó en el inicio de la cuenca alta, más exactamente desde el Páramo Cruz Verde hasta el predio Boquerón, kilómetro 11 vía Choachí. En esta zona se encuentra el nacimiento del río. El tercer recorrido abarcó el descenso por el predio el Boquerón hasta el sector conocido como Viejo Acueducto cerca al predio el Molino, propiedad de la EAAB-ESP. Y la cuenca media entendida entre el sector conocido como el Molino hasta la Quinta de Bolívar.

Criterios para la asignación de los puntos de muestreo:

- Fácil acceso: Poder ingresar a los puntos de muestreo sin inconvenientes, para lo cual se solicitaron los permisos pertinentes a los entes reguladores. Además, que el lugar de muestreo cumpliera con las condiciones de seguridad para los muestreadores.

- Indicadores de intervención antrópica. A simple vista debe evidenciarse las consecuencias de una acción antrópica como los residuos sólidos en el cuerpo de agua arrojados por los transeúntes.

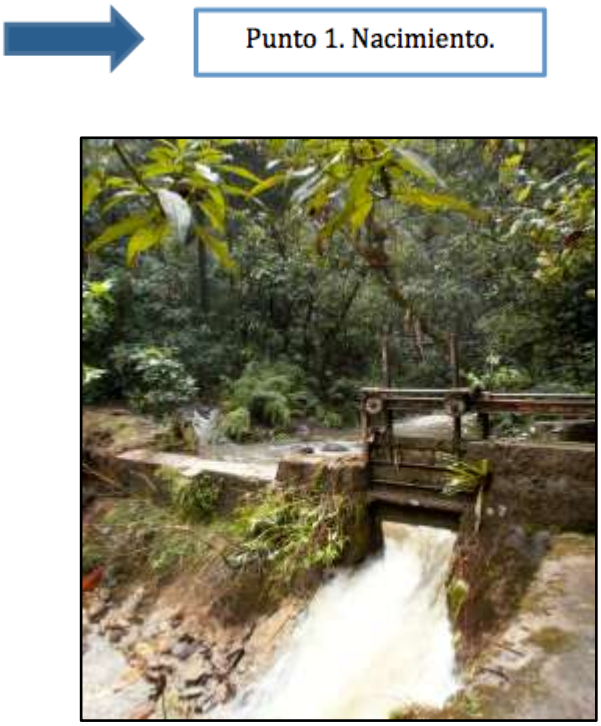
- Representatividad. Son todas las variables (distancia entre puntos, flujo de personas por el lugar, constante flujo de agua, el antes y después de cada sección de todo el cuerpo de agua) que hacían que el lugar fuera el indicado para recolectar las muestras de forma que estas fueran representativas.

- Normatividad. Los puntos de muestreo se eligieron teniendo en cuenta el uso del agua según su destino, para este caso preservación de flora y fauna y uso estético.

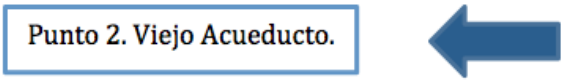
Las figuras 6 a la 12 indican los puntos de muestreo establecidos con sus respectivos nombres.



Fuente: Autoras.
Figura 6. Primer punto de muestreo



Fuente: Autoras.
Figura 7. Segundo punto de muestreo.





Punto 3. Inicio Eje Ambiental

Fuente: Autoras.

Figura 8. Tercer punto de muestreo



Fuente: Autoras.

Figura 9. Cuarto punto de muestreo

Punto 4. Librería

Punto 5. Iglesia de las Aguas



Fuente: Autoras.

Figura 10. Quinto punto de muestreo.

Punto 6. Museo del Oro



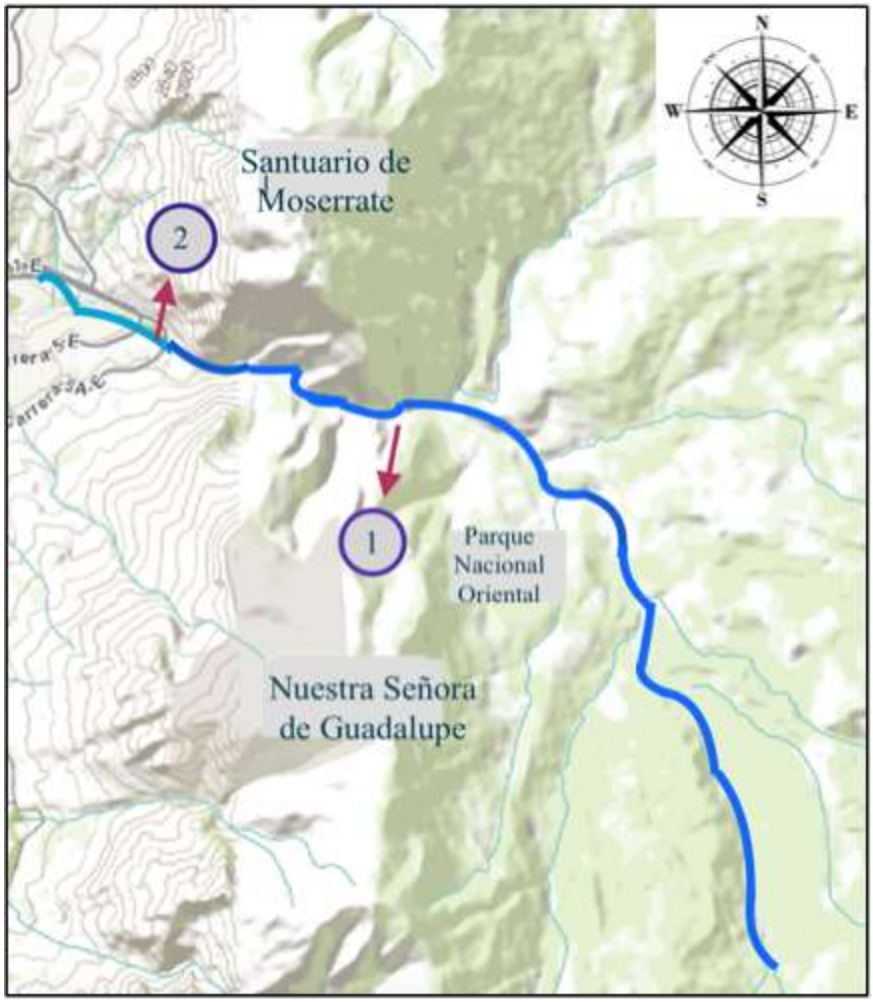
Fuente: Autoras.
Figura 11. Sexto punto de muestreo.



Punto 7. Ministerios.

Fuente: Autoras.
Figura 12. Séptimo punto de muestreo.

En la Figura 13 se muestra la ubicación en un mapa de los puntos de muestreo 1 y 2. Es necesario recordar que el punto 1, está ubicado en la cuenca alta (línea azul oscuro) y el punto 2, en la cuenca media (línea azul celeste); y en la figura 14, se ilustra la ubicación en un mapa de los punto de muestreo 3 al 7.



Fuente: Autoras.
Figura 13. Puntos de muestreo 1 y 2.



Fuente: (Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital, 2013) *modificado por las Autoras.*

Figura 14. Puntos 3 al 7 en plano general.

Posteriormente, se definieron cuáles fueron los parámetros fisicoquímicos pertinentes objeto de análisis en campo y en laboratorio. Para elegir estos parámetros se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Parámetros establecidos en la normativa según el uso correspondiente del recurso.
- Pertinencia de los parámetros con respecto a los objetivos del proyecto.

Con el fin de llevar a cabo los muestreos cumpliendo con los requerimientos establecidos, se aplicaron las buenas prácticas de muestreo y de laboratorio, en la tabla 9, se presentan los requerimientos aplicados en el trabajo de campo para la recolección y conservación de las muestras.

Tabla 9. Requerimiento especiales para toma de muestras y conservación de las mismas.

Determinación	Envase	Tamaño mínimo de la muestra ml	Conservación	Tiempo máximo de Conservación recomendado/obligado
Aceite y grasas	Vidrio boca ancha	1000	Añadir $\mathbf{H_2SO_4}$, hasta pH< 2, refrigerar	28d/28d
Durezas	Plástico o Vidrio	100	Añadir $\mathbf{HNO_3}$ hasta pH<2	6 meses/6meses
Demanda Química de Oxígeno	Plástico o Vidrio	100	Analizar lo antes posible, o añadir $\mathbf{H_2SO_4}$ hasta pH<2	7 d/ 28d.

Fuente: APHA, AWWA, WPCF. Op. cit., p. 1-42.

Cabe aclarar que para efectos del desarrollo de esta investigación se denominó campaña a los muestreos quincenales en cada punto. Se hicieron 4 muestreos cada quince días durante los meses de Noviembre y Diciembre de 2014. Se recolectaron 84 muestras en total durante las 4 campañas, 21 por cada muestreo, es decir 3 por cada punto.

Algunas de las herramientas que permitieron organizar la información para posteriormente procesarla fueron los registros de campo (ver anexos) y bases de datos. Para ahondar en el tema ver el numeral 5.1.13. En la tabla 10 se expone el cronograma de los muestreos "in situ".

Tabla 10. Cronograma de Muestreos "IN SITU"

CRONOGRAMA DE MUESTREOS IN-SITU								
Punto	**Fechas Campañas**							
	07/11/2014		**21/11/2014**		**05/12/2014**		**19/12/2014**	
	Hora Inicio	**Hora Finalización**	**Hora Inicio**	**Hora Finalización**	**Hora Inicio**	**Hora Finalización**	**Hora Inicio**	**Hora Finalización**
1. Nacimiento	07:30	08:30	07:26	08:30	07:02	08:00	07:40	08:40
2. Viejo Acueducto	08:51	09:50	09:46	10:30	09:21	10:15	10:15	11:20
3. Inicio Eje Ambiental	10:00	11:00	10:54	11:25	10:30	11:05	12:00	12:30
4. Librería Uniandes	11:10	11:45	11:30	11:50	11:11	11:35	12:37	13:05
5. Iglesia de las Aguas	11:51	12:25	11:55	12:45	11:40	12:20	13:16	14:04
6. Museo del Oro	12:37	13:15	13:48	14:40	13:19	14:10	15:05	16:00
7. Ministerios	15:06	16:00	14:50	15:50	15:20	16:20	16:20	17:26

Fuente: Autoras.

6.1 PARÁMETROS "in situ".

6.1.1. Color aparente.

Se hizo una valoración cualitativa a través de la percepción organoléptica y se tomó como referencia, la técnica 2120, registrada en el Standard Methods (1992). Se tomó una muestra del cuerpo de agua en el cono Imhoff procurando que esta quedara paralela a una superficie blanca. En la Figura 15 se representa la forma de valorar el color.



Fuente: Autoras.
Figura 15. Apreciación del color aparente.

6.1.2. Olor.

Es un parámetro que se determinó de forma sensorial y se aplicó lo registrado en el Standard Methods (1992), sección 2150. Se percibió acercando la muestra a la nariz, y se dejó una distancia prudente entre el muestreador y la muestra y se abanicó con la mano para percibir el olor.

6.1.3. Turbidez.

La determinación de turbidez estuvo apoyada en el método 2130 B, del Standard Methods (1992). La medición se hizo con un turbidímetro, el cual contiene una celda fotométrica. Previamente, esta se lavó con agua desionizada. Posteriormente se purgó la celda con la muestra a analizar y luego se tomó una nueva alícuota. Esta se secó exteriormente y se llevó al porta celdas del turbidímetro, se accionó el comando para hacer la respectiva medición, girando

manualmente y lentamente la celda fotométrica para que el equipo realizara la lectura completa de la muestra. Los datos se obtuvieron en unidades nefelométricas de turbidez, (NTU).

6.1.4. Temperatura del agua.

La determinación de este parámetro se basó en el método 2550-0 B, métodos de laboratorio y de campo (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

Se midió utilizando el pH-metro, ya que el electrodo tiene un sensor de temperatura incluido. En un beaker se tomó una alícuota objeto de análisis, en esta se introdujo el electrodo procurando que no tocara las paredes ni el fondo del beaker y que este quedara de forma vertical. El equipo tiene dos comandos, los cuales permitieron que se realizará la medición y posterior lectura. Para este proceso, en primer lugar, se oprimió el comando de AR y enseguida ENTER.

Fue necesario que el muestreador se fijará en el momento anterior a la lectura ya que en la pantalla se debía evidenciar la intermitencia en la parte inferior derecha de un pequeño cuadro, el cual indicaba que se estaba llevando a cabo la medición, cuando el cuadro quedó fijo se pudo registrar el dato expuesto en el monitor del pH-metro.

Al terminar el proceso, el electrodo se lavó con abundante agua desionizada y secó con papel absorbente. Este debe permanecer siempre húmedo para asegurar su hidratación, por ende debe estar en una solución de KCL 3.0 M.

6.1.5. Temperatura ambiente.

Se realizó el mismo procedimiento del numeral 6.1.4. Es necesario aclarar que el electrodo se expuso al ambiente y no en la muestra de agua.

6.1.6. Conductividad Eléctrica y Sólidos Totales Disueltos.

La determinación de este parámetro estuvo basada en el método 2510, del Standard Methods (1992).

Inicialmente, se conectó el electrodo al equipo y después se oprimió el comando de encendido, y se verificó que el monitor hiciera la lectura. Se tomó una muestra y se introdujo el electrodo y mediante el comando de medición de conductividad se colocó la lectura del monitor en posición "conductividad" y en el caso de los sólidos totales disueltos, se seleccionó "TDS" y se esperó aproximadamente dos minutos hasta que la lectura estabilizó. La conductividad eléctrica se reportó en $\boldsymbol{\mu S/_{cm}}$ y los TDS en **ppm** $\left(\frac{mg}{L}\right)$**.**

Finalmente, se apagó el conductímetro y se desconectó el electrodo. Además se lavó el electrodo con abundante agua destilada y se secó con papel absorbente evitando así que quedara algún tipo de residuo.

6.1.7. Sólidos sedimentables.

El método utilizado fue el 2540 F consignado en el Standard Methods (1992). Para determinar los sólidos sedimentables se hizo el siguiente proceso. Se llenó un cono Imhoff con un litro de muestra. El cono se colocó en el soporte universal y se agitó cada 15 minutos para darle movimiento a la muestra. Seguidamente, al cabo de una hora se registró el material sedimentado en el cono (Romero Rojas, 2005). El resultado se reportó en $\frac{ml}{L}$. En la figura 16, se observa el montaje de sólidos sedimentables.



Fuente: Autoras.
Figura 16. Montaje sólidos sedimentables.

6.1.8. pH.

La determinación del pH se basó en el método 4500-$\boldsymbol{H^+}$B, Método Electrométrico, del Standard Methods (1992). Se midió utilizando un pH-metro. En un beaker se tomó una alícuota objeto de análisis, en esta se introdujo el electrodo procurando que no tocara las paredes ni el

fondo del beaker y que este quedara de forma vertical. El equipo tiene dos comandos, los cuales permitieron que se realizará la medición y posterior lectura. Para este proceso, en primer lugar, se oprimió el comando AR y enseguida ENTER.

Fue necesario que el muestreador se fijará en el momento anterior a la lectura ya que en la pantalla se debía evidenciar la intermitencia en la parte inferior derecha de un pequeño cuadro, el cual indicaba que se estaba llevando a cabo la medición, cuando el cuadro quedó fijo se pudo registrar el dato expuesto en el monitor del pH-metro. En la figura 17, se muestra como se midió el pH.



Fuente: Autoras.
Figura 17. Medición de pH

6.1.9. Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto se midió utilizando el oxímetro, un equipo específico para este parámetro y está basado en el método 4500-0 G, método del electrodo de membrana del Standard Methods (1992).

Para la medición se realizó mediante el siguiente procedimiento:

- Se prendió el oximétro, seguidamente y de forma automática este se polarizó. El proceso duró 12 minutos.

- Seguidamente se introdujo el electrodo del oxímetro a la muestra y se esperó hasta que la flecha que aparecía en la pantalla se estabilizara, posteriormente se hizo la lectura del valor de oxígeno disuelto para el punto correspondiente.

- El valor reportado por el equipo corresponde a la concentración de oxígeno disuelto en la muestra expresado en miligramos por litro (ppm).

En la Figura 18, se ilustra la medición de oxígeno disuelto en campo.



Fuente: Autoras.
Figura 18. Medición de Oxígeno Disuelto.

6.2 PARÁMETROS DE LABORATORIO

6.2.1. Dureza Total.

El método utilizado fue el 2340 C, método titulométrico de EDTA consignado en el Standard Methods. Para determinar la dureza total, se midieron 10 mililitros de muestra en un erlenmeyer de 100 mililitros, posteriormente se agregaron 3 ml de solución tampón buffer pH 10 y se homogenizaron mediante agitación. Luego, se agregaron aproximadamente 0.1 gramos del reactivo Negro Eriocromo- T (NET), por lo que dio una tonalidad final de apariencia rojiza, y se titularon con Ácido Etilendiaminotetraacético sal sódica (EDTA) de concentración de 0,01 molar, hasta que la muestra viró a un color azul oscuro. Finalmente, se realizó el cálculo necesario para hallar la dureza total, por ende se aplicó la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Cálculo para hallar la Dureza Total.

$$\boldsymbol{Dureza\ Total}\frac{\boldsymbol{mg}}{\boldsymbol{L}}\boldsymbol{CaCO_3} = \frac{\boldsymbol{Vt} \times (\boldsymbol{Ct}\frac{\boldsymbol{n}}{\boldsymbol{L}} \times \frac{\boldsymbol{100\ g}}{\boldsymbol{1\ n}} \times \frac{\boldsymbol{10^3 mg}}{\boldsymbol{g}})}{\boldsymbol{Vm}}$$

Dónde:

$\boldsymbol{Vt} =$ Volumen gastado titulante

$\boldsymbol{Ct} =$ Concentración del titulante en moles que para el EDTA es 0.01 M.

$\boldsymbol{Vm} =$ Volumen de la muestra.

100 g Corresponden al peso molecular del $CaCO_3$.

$\boldsymbol{10^3 mg}$ Corresponden a la equivalencia de 1 gramo.

En la Figura 19, se expone el montaje usado para determinar la dureza total de las muestras.



Fuente: Autoras.
Figura 19. Montaje Dureza Total.

La determinación de la Dureza Total, se fundamentó en el método 2340 C método titulométrico de EDTA, del (APHA, AWWA, WPCF, 1992). Como dice Romero Rojas (2005), el principio de dicho método es que el colorante negro eriocromo - T (NET), sirve para indicar cuando todos los iones calcio y magnesio han formado complejo con el ácido etilendiaminotetraacético sal sódica (EDTA). Al agregar el indicador NET, este se combina con algunos iones $\boldsymbol{Ca}^{++}$y $\boldsymbol{Mg}^{++}$, para formar un completo débil de color vino tinto.

Durante la titulación con el EDTA, todos los iones, $\boldsymbol{Ca}^{++}$y $\boldsymbol{Mg}^{++}$ libres forman complejos; Finalmente, el EDTA descompone el complejo débil para formar un complejo más estable con los iones que causan dureza. Esta acción libera el Indicador de Negro Eriocromo- T, por lo que la solución, pasa de color vino tinto a azul, así se concluye la titulación. Este parámetro se determinó en el laboratorio.

Además se usó:

- Solución tampón buffer pH 10
- Reactivo en polvo seco de Negro Eriocromo- T (NET), indicador del punto final de la titulación.
- Titulante: Ácido Etilendiaminotetraacético sal sódica (EDTA)

6.2.2. Demanda Química de Oxígeno.

El método utilizado para determinar la (DQO), fue el 5220 C reflujo cerrado, método titulométrico del Standard Methods. Para desarrollar la DQO de digestión cerrada, se activó el

termo reactor para generar las condiciones óptimas de temperatura (150°C), para el calentamiento de las muestras contenidas en los tubos de digestión.

Luego, se agregó a los respectivos tubos de digestión 3 ml de muestra, 3 ml de la disolución catalizadora y 3 ml de disolución digestora. Es necesario aclarar, que se hicieron 2 blancos que contenían 3 ml de agua desionizada cada uno en vez de muestra, más los volúmenes respectivos de disolución catalizadora y de disolución digestora. Posteriormente, se cerraron los tubos de digestión y se verificó que estuvieran bien sellados para que no hubiera pérdidas de la mezcla de reactivos y muestra, además se evitó la presencia de vapores ácidos en el ambiente del laboratorio, la corrosión de los reactivos al bloque de calentamiento y sobre todo así se procuró mantener la confiabilidad del procedimiento realizado. El tiempo de digestión fue de 120 minutos. En la Figura 20 se presenta el termo reactor y las muestras a procesar.



Fuente: Autoras.
Figura 20. Termo reactor y muestras a procesar.

Pasado el tiempo establecido de digestión, se dejaron enfriar las muestras de los tubos de digestión en la gradilla a temperatura ambiente, y luego se dispuso el contenido de los tubos en los respectivos erlenmeyers. A cada erlenmeyer se le agregaron de 6 a 7 gotas de indicador Ferroina mostrando un color verde característico. Por último, se tituló cada muestra con sulfato ferroso amoniacal hexahidratado (FAS) de concentración 0,05 N, hasta que la muestra viro a rojo ladrillo. Finalmente, para los cálculos se aplicó la ecuación 3.

Ecuación 3. Demanda Química de Oxígeno DQO.

$$\boldsymbol{DQO\,\frac{mg}{L}\,O_2} = \frac{(\boldsymbol{V_b - V_{m1}}) \times \boldsymbol{Ct}\ \frac{\boldsymbol{Eq - gO_2}}{\boldsymbol{L}} * \frac{\frac{\boldsymbol{16}}{\boldsymbol{2}}\boldsymbol{g}}{\boldsymbol{1\ Eq - g}} \times \frac{\boldsymbol{10^3 mg}}{\boldsymbol{1\ g}}}{\boldsymbol{V_m}}$$

Dónde:

$\boldsymbol{V_b}$= Volumen gastado del blanco.

$\boldsymbol{V_{m1}}$= Volumen gastado de muestra.

Ct= Concentración del titulante que para el FAS es 0.05 N.

$\boldsymbol{V_m}$ = Volumen de la muestra.

$\frac{\boldsymbol{16}}{\boldsymbol{2}}\boldsymbol{g}$ Corresponden al peso molecular de 2 moléculas de oxígeno.

$\boldsymbol{10^3 mg}$ Corresponden a la equivalencia de 1 gramo.

6.2.3. Grasas y Aceites.

El método utilizado para determinar este parámetro fue el 5220 B, método de partición-gravimetría del Standard Methods. El proceso realizado se describe a continuación.

1. Previamente se recolectó un litro de muestra en un recipiente de vidrio color ámbar boca ancha por cada punto evaluado.

2. Se realizó el montaje de los soportes universales. Cada soporte debió llevar dos nueces y dos aros metálicos, ya que el aro superior fue el sostén del embudo de separación o decantación y el inferior fue la base del embudo de filtración. Nota: se pesó el balón de fondo plano en una balanza analítica antes de empezar y se tuvo en cuenta su valor.

3. Se dispuso la muestra en el embudo de decantación, se acidifico con ácido sulfúrico concentrado ($\boldsymbol{H_2SO_4}$), se tapó el embudo y se agitó vigorosamente con el fin homogenizar la muestra.

4. Luego, se agregaron 30 ml de cloroformo grado analítico, se agitó fuertemente para que el solvente orgánico entrara en contacto con la muestra, y se tuvo la precaución de abrir la llave para que los vapores generados en la mezcla pudieran salir, de esta manera se evitó la expulsión del tapón por exceso de presión.

5. El cloroformo por su naturaleza apolar, no tiene la capacidad de disolverse en el agua, sin embargo por agitación las grasas y aceites de la muestras como si son afines con el cloroformo, este las extrae de la muestra y las precipita ya que es más denso que el agua. Por tal razón, se evidenció la formación de dos fases, la decantada correspondió a lo que

tiene afinidad con el solvente orgánico y lo que quedó en la parte superior, fue la muestra más las sustancias que no fueron arrastradas por el cloroformo.

6. Se esperaron treinta minutos, dado que se debía generar la separación de fases las cuales tenían que ser evidentes a simple vista.

7. Posteriormente, se recuperó el extracto orgánico obtenido formado en el fondo del embudo de decantación, y se abrió lentamente la llave de manera que el extracto orgánico pasó a través del embudo de filtración que contenía un filtro con aproximadamente diez gramos de sulfato de sodio anhidro, el cual retenía la humedad y solo permitía el paso del extracto orgánico hasta llegar al balón de fondo plano.

8. El sulfato de sodio anhidro cuando se satura de humedad, se compacta y por ende se endurece, por tal razón debió ser cambiado cada vez que se analizó una nueva muestra. Se repitió dos veces el paso 3, 4 y 5.

9. El extracto orgánico filtrado se roto-evaporó con el propósito de realizar la separación de los aceites y grasas del cloroformo. El cloroformo es reutilizable.

10. A continuación se retiró el balón del rota evaporador y se secó en el horno a 110° C aproximadamente por 20 minutos para que cualquier rastro de humedad fuera eliminado.

11. Se retiró el balón del horno y se llevó al desecador para que se enfriara sin ganar humedad.

12. Finalmente, se pesó el balón en la balanza analítica.

Para obtener la concentración de aceites y grasas en las muestras evaluadas, se realizaron los respectivos cálculos a través de la ecuación 4.

Ecuación 4. Cálculo de grasas y aceites

$$\boldsymbol{AyG}\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{(\boldsymbol{W_2} - \boldsymbol{W_1}) \times \frac{\boldsymbol{10^3 mg}}{\boldsymbol{1g}}}{\boldsymbol{Vm}}$$

Dónde:

$\boldsymbol{W_2}$= Peso final del balón expresado en gramos.

$\boldsymbol{W_1}$= Peso inicial del balón expresado en gramos.

Vm = Volumen de la muestra expresado en litros.

$\boldsymbol{10^3 mg}$ Corresponden a la equivalencia de 1 gramo en mg.

En la Figura 21 se puede ver el montaje realizado para la determinación de aceites y grasas y en la figura 22, el rota-evaporador utilizado.



Fuente: Autoras.
Figura 21. Montaje para Aceites y Grasas



Fuente: Autoras.
Figura 22. Rota evaporador.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Según lo planteado en la metodología y lo aplicado en campo y en el laboratorio, se obtuvo la información correspondiente a las mediciones realizadas en el río San Francisco, desde su nacimiento hasta el final de la canalización superficial del Eje Ambiental.

Los meses en los cuales se desarrolló el trabajo de campo, presentaron particularidades en el comportamiento climatológico. Las mañanas se caracterizaron por ser despejadas y soleadas, sin embargo la sensación térmica era fría. Hacia el mediodía, se percibió un aumento en la sensación térmica y un cielo despejado. Cayendo la tarde alrededor de las 3 p.m. e iniciando las horas de la noche, llovió de manera fluctuante en horario y en intensidad, generalmente en las horas de la noche se presentaron las lluvias más fuertes.

7.1 PARÁMETROS “in situ”

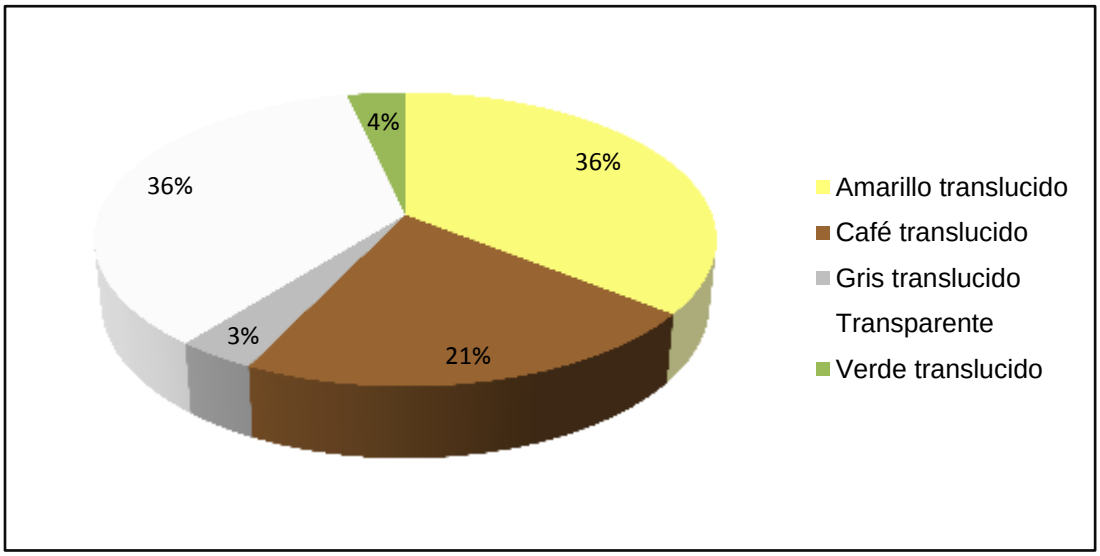
7.1.1. Color Aparente.

En la gráfica 1, se presentan los resultados de todas las campañas realizadas, y se muestran a través de porcentajes, los colores del agua observados en el trabajo de campo.

Del 100% de las muestras tomadas, el 36% presentó un color amarillo translúcido, un 36% fue de color transparente, siendo estos los colores predominantes. El café translúcido,

representó el 21% del total de las muestras y el 7% restante, está comprendido por los colores menos frecuentes.

Gráfica 1. Colores obtenidos por porcentaje para el total de las campañas.



Fuente: Autoras.

Según lo observado en el momento de la toma de muestras no se evidenció ningún tipo de vertimiento de tipo industrial o doméstico, por lo que se pudo asociar la presencia de color a elementos propios del lugar, ya que según Romero Rojas (2005) y Campos Gómez (2000), el color se puede dar por desechos orgánicos, hojas, madera, raíces; en diferentes estados de descomposición, también por presencia de óxidos de hierro, óxidos de manganeso, taninos y ácidos húmicos.

En la tabla 11, se presentan de forma específica los colores percibidos por cada punto de muestreo para cada una de las campañas realizadas.

Tabla 11. Resultado cualitativo del color aparente.

	COLOR APARENTE			
	CAMPAÑA 1	CAMPAÑA 2.	CAMPAÑA 3	CAMPAÑA 4
1. Nacimiento	Amarillo translucido	Amarillo translucido	Transparente	Amarillo translucido
2. Viejo acueducto	Amarillo translucido	Transparente	Transparente	Amarillo translucido
3. Inicio Eje Ambiental	Café translucido	Amarillo translucido	Transparente	Café translucido
4. Librerías	Amarillo translucido	Amarillo verde translucido	Transparente	Transparente
5. Iglesia de las Aguas	Café translucido	Amarillo translucido	Verde translucido	Transparente
6. Museo del Oro	Amarillo translucido	Amarillo translucido	Transparente	Gris Translucido
7.Ministerios	Transparente	Café translucido	Café translucido	Café translucido

Fuente: Autoras.

El decreto 1594 de 1984 menciona para el uso de flora y fauna, que el color no debe interferir en la actividad fotosintética, esto se relacionó con el punto de Nacimiento y Viejo Acueducto. Por lo observado en estos puntos (ver tabla 11), y según Snoeyink & Jenkins (2003), los colores percibidos son los colores propios de las aguas naturales y son causados por sustancias húmicas producidas por especies vegetales y especies animales; además, en soluciones acuosas diluidas el color característico de estas sustancias (café o negro) se transforma en (amarillo-pardo) típico del agua natural lo que indicó que no existe ninguna interferencia en la actividad fotosintética que allí pueda existir. Para este caso el color percibido cumplió con lo estipulado en la normativa en el uso del recurso para preservación de flora y fauna. Y el color transparente es una característica de las aguas naturales, tal como lo menciona Félez Santafé

(2009), por ende el punto de Nacimiento y viejo acueducto en todas las campañas cumplieron con el criterio establecido en el decreto 1594 de 1984.

En la campaña 1, predominaron los colores amarillo y café translucido. Probablemente, estos colores son el resultados de los matices generados por el arrastre de sólidos y material propio del lugar dado que la noche anterior se presentaron lluvias intensas y por la turbidez generada. Según Miralles Bellver, Costa Perez, Muñoz, Guijaro, & Rodriguez (2005), la tonalidad amarilla y café generalmente es causada por presencia de sustancias húmicas.

Cabe resaltar que la campaña 1 presentó una condición diferente en el punto de Ministerios con respecto a los demás puntos, esto pudo darse por la poca turbidez registrada en ese punto, por las lluvia que se presentaron en ese punto de muestreo (ver anexo 1) y que pudieron diluir el cuerpo del agua y a la sedimentación de parte de los sólidos arrastrados.

Los colores café y amarillo en los puntos correspondientes a la canalización superficial, se relacionaron también con la contaminación por acciones antrópicas debido a que las personas que transitan cerca al eje generalmente arrojan basuras o residuos líquidos, también por sustancias o materiales orgánicos o inorgánicos que llegaron a las canaletas del eje ambiental, bien sea por contacto de la parte superficial del eje con la atmósfera o por actividades que se desarrollan cerca a la canalización. Asimismo, la falta de mantenimiento al eje ambiental por parte de los entes encargados influyó en el color, porque como no se hizo la limpieza respectiva,

al paso de los días se evidenció la acumulación de residuos, la formación de lama en las paredes de la estructura y sobre el agua, lo que incidió en el color.

La tendencia en la campaña 2 refleja que en la mayoría de los puntos de muestreo predominó el color amarillo translúcido, sin embargo, el punto de Viejo Acueducto fue un color transparente. Este resultado está relacionado con las fuertes lluvias que se presentaron en la noche y madrugada anterior al día de muestreo, como resultado de esas lluvias hubo un incremento considerable del flujo de agua y como en este punto se observó que el ancho del río es mayor que en el punto de nacimiento, esto permitió una mayor dilución de sustancias y más transparencia del cuerpo de agua.

En la campaña 3, se observó que la transparencia del río estuvo influenciada por la remoción de residuos sólidos realizada en algunos puntos del eje ambiental, por parte de Leyer, grupo ambiental. Específicamente esto se evidenció en el punto de muestreo de Iglesia de las Aguas, tal y como se registró en el formato de campo de este punto (ver anexo 3), esto incidió en el color transparente porque a las secciones anteriores del punto de muestreo de Iglesia de las Aguas ya se les había retirado los residuos sólidos.

En el punto de Ministerios, el color café translúcido de la campaña 2, 3 y 4, es el resultado de la falta de mantenimiento y cuidado, adicional a esto, también hubo arrastre de sólidos de las secciones anteriores del eje ambiental, lo que influyó en este color. Además, el

color café según Roldán (2003), pudo darse por el resultado de la acción de la luz sobre los materiales particulados y factores como el tipo de fondo o reflexión del cielo.

El color verde registrado en la tabla 11, es una característica de los cuerpos de aguas oligotróficos (Roldan, 2003), es decir pobres en nutrientes; lo dicho anteriormente es importante, dado que si hay pocos nutrientes, la producción orgánica es baja y por ende los niveles de oxígeno disuelto no se verán afectados significativamente. Sin embargo, este color solo se apreció en el punto de Iglesia de las Aguas de la campaña 3, por lo que probablemente el color apreciado estuvo influenciado por acciones antrópicas como el vertido de alguna sustancia que le añadiera este color al río.

Finalmente, el río San Francisco en el punto de Nacimiento y Viejo Acueducto tiene las condiciones usuales de color que caracterizan a un cuerpo de agua natural y que no interfieren en los procesos biológicos y fisicoquímicos propios de un cuerpo de agua para preservación de flora y fauna. Con respecto al eje ambiental, el color es aceptable para el uso que según el decreto 1594 de 1984 tiene el eje, que es estético debido a que un río superficial generalmente es de color claro.

7.1.2. Olor.

En todas las campañas sobresalieron las muestras inodoras, según Romero (2005) gracias a la ausencia de sustancias como materia orgánica en descomposición, de compuestos como

sulfuro de hidrógeno, fenoles y diferentes especies de algas, hongos, entre otros. En la tabla 12, se presentan los resultados de cada punto de muestreo para las 4 campañas realizadas.

Tabla 12. Resultado cualitativo de Olor por cada campaña.

	OLOR			
	CAMPAÑA 1	CAMPAÑA 2.	CAMPAÑA 3.	CAMPAÑA 4.
1. Nacimiento	Tierra húmeda	Tierra	Inodoro	Inodoro
2. Viejo acueducto	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Tierra húmeda
3. Inicio Eje Ambiental	Inodoro	Tierra húmeda	Inodoro	Inodoro
4. Librerías	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro
5. Iglesia de las Aguas	Inodoro	Inodoro	Tierra	Inodoro
6. Museo del Oro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro
7.Ministerios	Inodoro	Tierra húmeda	Tierra húmeda	Tierra húmeda

Fuente: Autoras.

Las condiciones del clima intervinieron en la no percepción de olor, por ejemplo la precipitación permitió que hubiera mayor dilución de las sustancias en el agua por lo que el olor no se percibió; por el contrario la temperatura ambiente y del agua estimulan la percepción de olores, ya que afectan la sensibilidad e incluso pueden aumentar la intensidad de los olores (Berenguer Subils, 1998).

Sin embargo, se debe tener en cuenta que antes y durante los meses de muestreo, se presentaron lluvias, cielo parcialmente nublado y sensación térmica fría, lo cual impidió la apreciación significativa de olores.

El olor a tierra húmeda para el caso de los puntos de Nacimiento y Viejo Acueducto está relacionado con las condiciones propias del lugar; debido a que esta parte del río pasa por su lecho natural, cubierto y cercado por la flora y fauna, además que es una zona de reserva y la intervención del ser humano es nula según lo observado en los recorridos previos realizados a los muestreos.

También influyeron las sustancias de origen vegetal o animal que por escorrentía y/o infiltración se incorporaron, por ejemplo el humus; y por el descenso que hace el cuerpo de agua desde el páramo por una pendiente pronunciada hasta el punto de Nacimiento y Viejo Acueducto lo que facilitó su disolución y posible emanación a tierra húmeda. Es necesario recordar que el olor es un parámetro subjetivo, por esta razón, el estar cerca de especies vegetales de diferente clase que generan olor pudo incidir en la apreciación de este parámetro.

En el caso de los puntos de Ministerios, en las campañas 2, 3 y 4 el olor a tierra húmeda se relacionó con las condiciones en las que se encontró esta sección del eje ambiental, factores como la falta de mantenimiento, la baja dinámica del cuerpo de agua y la incorporación de material vegetal producto de las especies vegetales aledañas, incidieron en el olor percibido.

Para culminar, el decreto 1594 de 1984 menciona con respecto al agua para preservación de flora y fauna, que no deben presentarse sustancias que impartan olor a los tejidos de los organismos acuáticos, por lo que de forma cualitativa se concluyó que no hay olores perjudiciales porque según lo menciona De Vargas (2004), el olor a tierra es causado por arcillas húmedas y este tipo de suelo es característico de la zona estudiada.

Para el caso del río en el eje ambiental que tiene uso estético, el decreto establece que no deben haber sustancias que produzcan olor, esto se cumplió en el 99,2 % de los puntos correspondientes al eje ambiental, lo que significó que la campaña 2 en su punto de Inicio Eje Ambiental, y la campaña 2, 3 y 4 para el punto de Ministerios influyeron negativamente en el eje puesto que afectaron la armonización y embellecimiento del paisaje.

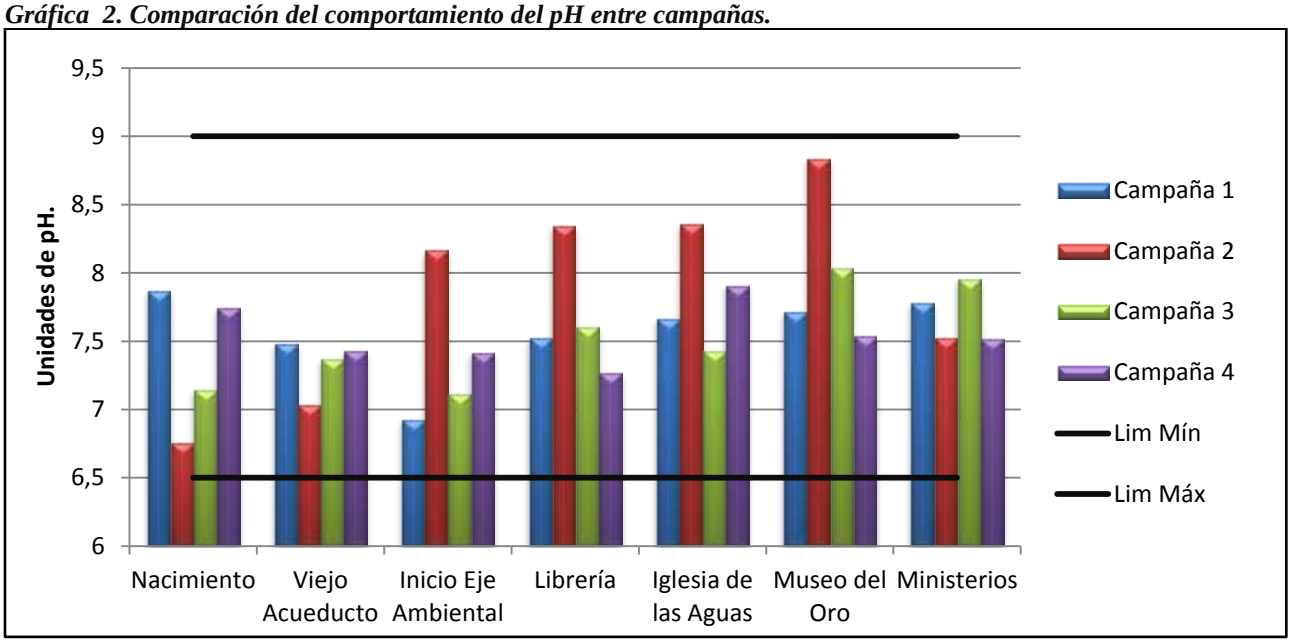
7.1.3. pH. Potencial de Hidrógeno

En la gráfica 2 se registró el comportamiento del pH en las campañas desarrolladas entre los meses de noviembre y diciembre del año 2014 para todos los puntos de muestreo realizados.

Los resultados obtenidos se encontraron en un rango entre 6.76 y 8.84 unidades de pH, (ver gráfica 2), lo cual indica que se cumple con lo establecido en el decreto 1594 de 1984 para uso del recurso para preservación de flora y fauna dado que este rango está dentro de los limites mínimo y máximo permisibles.

Debido a que no hay criterios de calidad admisibles para el agua de uso estético se utilizó como referente a De Vargas (2004), el cual menciona que el pH en la mayor parte de los cuerpos de agua dulce no contaminados oscila entre 5.0 y 9.0. Por lo que también el río tiene una buena calidad para uso estético.

Gráfica 2. Comparación del comportamiento del pH entre campañas.



Fuente: Autoras.

Según los resultados obtenidos (ver gráfica 2), las campañas 1, 3 y 4, mostraron un comportamiento similar en comparación a la campaña 2, la cual es diferente desde los puntos de Inicio Eje Ambiental hasta el Museo del Oro porque su pH aumentó acercándose a valores con tendencia débilmente alcalina.

Cuando se observan detenidamente los resultados de las campañas 1, 3 y 4 se puede apreciar que los resultados estuvieron en un rango de 6,93 a 8,04 unidades de pH, esto se

atribuye a diversos factores como la lluvia, ya que según Zamora Rodríguez (2009), el pH del agua lluvia es de 5.6, por lo que las lluvias fuertes podrían modificar el pH del río; la temperatura también pudo influir en las variaciones de este parámetro dado que la temperatura puede afectar el equilibrio químico (Ramos Olmos, Sepúlveda, & Villalobos, 2003), es decir, la constante de equilibrio disminuye al aumentar la temperatura, lo cual provoca un aumento en la concentración de CO_2 y $CaHCO_3$ y a su vez esto repercute en un ligero aumento del valor del pH a temperaturas de más de 10º C de diferencia (Instituto Geológico y Minero de España, 2001).

Además, parámetros como la dureza total pudieron influir en el pH. Por ejemplo la dureza total aporta iones calcio y magnesio, los cuales aumentan el pH debido a que son minerales de naturaleza alcalina, asimismo, factores extrínsecos como la composición de los suelos adyacentes y lecho rocoso posiblemente afectaron este parámetro porque tienen compuestos como ácido carbónico, carbonatos, bicarbonatos, entre otros que al disociarse aumentan el pH (Neira Gutierrez, 2006).

Lo dicho anteriormente, no se evidenció en los resultados de esta investigación, porque al comparar los resultados de pH con los de dureza total, se observó que las concentraciones de la dureza total no influenciaron en el parámetro de pH; por ejemplo, el pH registrado en el punto de Inicio Eje Ambiental de la campaña 2 fue de 8,17 pero la dureza total para este mismo punto y campaña fue de 26 mg/L de $CaCO_3$, una de las concentraciones más bajas en comparación a todos los puntos muestreados en todas las campañas determinadas sobre dureza total, lo que

permitió concluir que el aumento en la concentración de dureza total no siempre implica aumento en el pH.

Los valores de pH de la campaña 2 reflejaron un comportamiento inusual (ver gráfica 2) con respecto a lo que se obtuvo en las demás campañas, esto se dio posiblemente porque el páramo Cruz Verde es el inicio del río, a una altitud de más de 3200 m.s.n.m. este desciende con gran velocidad, permitiendo incorporar compuestos procedentes de las rocas características del lugar y del lecho del río y disolver sedimentos. Las rocas, el lecho del río y los sedimentos tienen entre sus componentes bicarbonatos, carbonatos y arcillas, los cuales pudieron influir en el pH debido a que aguas con tendencia alcalina generalmente tienen gran cantidad de este tipo de sustancias (Escolástico León, Cabildo Miranda, Claramunt Vallespí, & Claramunt Vallespí, 2013). Además, según Valencia Islas (2009), las arcillas silicatadas tienen propiedades de ácidos débiles es decir se disocian parcialmente pero como están dispersos en medio alcalino actúan como una base y por ende aumentan el pH.

Adicionalmente, el aumento del pH desde el punto de muestreo Inicio Eje Ambiental hasta el punto el Museo del Oro pudo estar relacionado con los efectos mecánicos causados por la temperatura, ya que al momento de hacer la medición, el electrodo necesitó tiempo para conseguir el equilibrio térmico, lo que produjo un desplazamiento del pH (Ramos Olmos, Sepúlveda, & Villalobos, 2003).

Finalmente, en cuanto al pH el cuerpo de agua está dentro del rango óptimo (6,5 – 9,0)

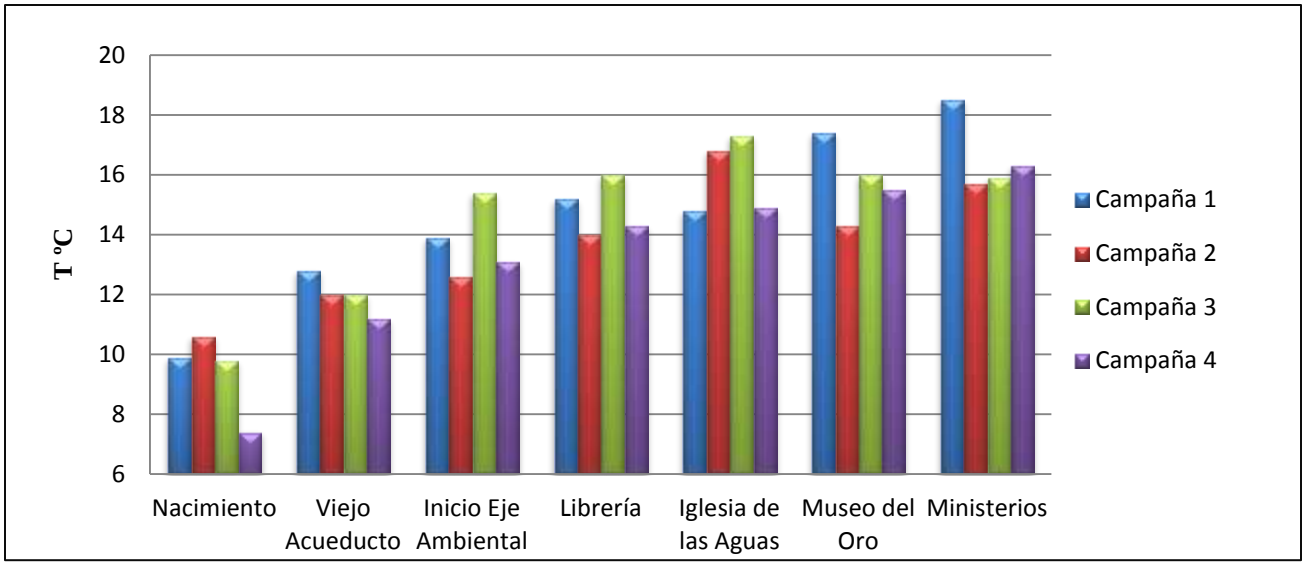
establecido por el decreto 1594 de 1984 para uso de preservación de flora y fauna, lo que significa que es un buen indicador de la calidad del agua del río San Francisco y que no hay restricción para su empleo en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados.

Además, en cuanto al uso estético, la calidad fisicoquímica en lo que respecta a este parámetro fue un indicativo de que el cuerpo de agua es bueno y no tiene restricción para el uso asignado que es la armonización y embellecimiento del paisaje.

7.1.4 Temperatura del Agua y del Ambiente.

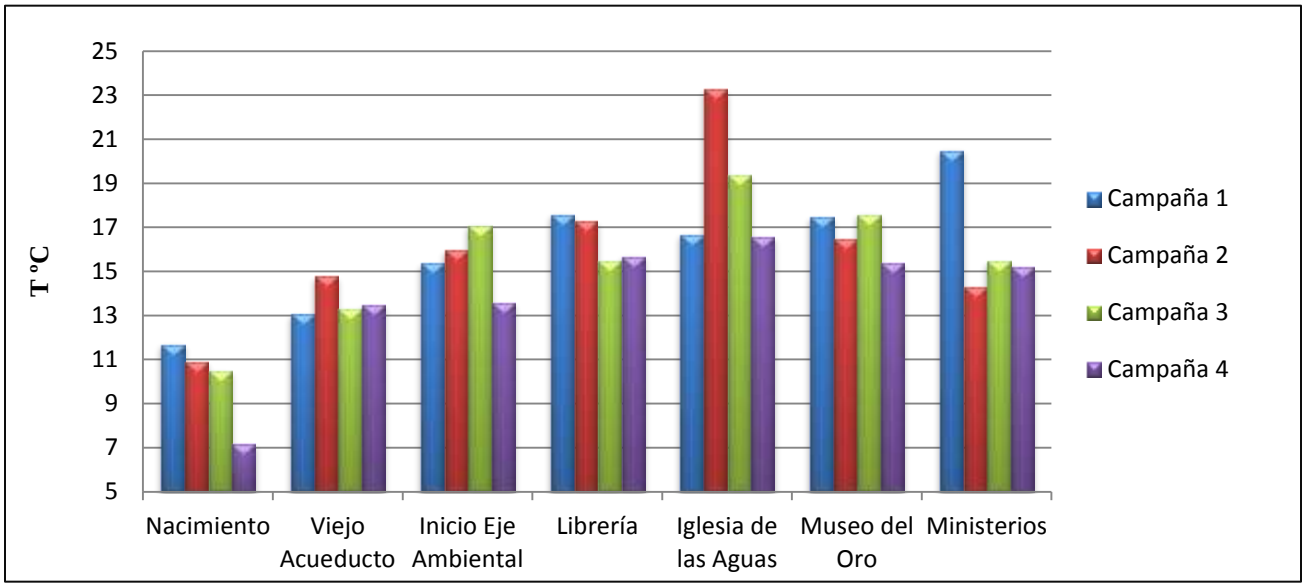
En la gráfica 3 y en la gráfica 4 se muestra la comparación del comportamiento de la temperatura del agua y la temperatura ambiente entre todas las campañas respectivamente

Gráfica 3. Comparación de la temperatura del agua entre campañas.



Fuente: Autoras.

Gráfica 4. Comparación de la temperatura ambiente entre campañas.



Fuente: Autoras

A partir de los resultados obtenidos y como se observa en la gráfica 3, la temperatura del agua en los diferentes días de muestreo fue similar, porque al comparar los valores de cada punto entre las 4 campañas realizadas se evidenció que todos estuvieron en el mismo rango, por ejemplo para el punto de Librería los valores estuvieron entre 14.3 ºC y 16 ºC, asimismo los resultados obtenidos en el punto de Viejo Acueducto fluctuaron entre 11,2 ºC y 12,8 ºC. Cabe destacar que la campaña 4 en el punto de Nacimiento presentó el valor más bajo de todos los puntos (7,4 ºC) y el punto de Ministerios de la campaña 1, el valor más alto (18,5 ºC).

Este tipo de comportamiento dentro de los rangos, se evidenció también en la temperatura ambiente (ver grafica 4), porque también en todas las campañas por punto se observó lo dicho anteriormente, por ejemplo los valores correspondientes al punto de Inicio Eje Ambiental estuvieron en un rango de (13,6 ºC a 17,1 ºC) o el punto de Museo del Oro que estuvo entre 15,4

ºC y 17,6 ºC. Así como en el caso de la temperatura del agua, la temperatura ambiente en la campaña 4 presentó el valor más bajo en el punto de Nacimiento de todos los puntos muestreados (7,2 ºC) y el punto de Iglesia de las Aguas el valor más alto (23,3 ºC).

A partir de lo mencionado anteriormente y de los resultados obtenidos, se llegó a la conclusión que posiblemente existe una relación entre la temperatura ambiente y del agua, porque cuando la temperatura ambiente subió la del agua también y cuando la del ambiente bajó la del agua presentó el mismo comportamiento.

Analizando los resultados obtenidos (ver gráficas 3 y 4), se comprobó que tanto los valores de la temperatura ambiente como los del agua tuvieron variaciones en un rango de ±6 ºC. Sin embargo, diferencias de seis o por encima de seis grados fueron pocas ya que la mayoría de los puntos tuvieron diferencias de 1ºC o 2 ºC.

Comparando los valores de temperatura ambiente primero entre los puntos de cada campaña y posteriormente entre campañas, se evidenció que los puntos Iglesia de las Aguas y Museo del Oro de la campaña 2, tuvieron una diferencia de 6,8 ºC y el punto de Nacimiento y Viejo Acueducto de la campaña 4, presentaron una diferencia de 6,3 ºC. Y solo la campaña 1 y 2, en el punto de Ministerios mostraron una diferencia de 6,2 ºC.

En el caso de la temperatura del agua, se determinó que el comportamiento de este parámetro fue mucho menos fluctuante que la temperatura ambiente ya que al comparar los

puntos por campaña y entre campañas ningún valor tuvo una diferencia mayor a 6 ºC, por el contrario todos tuvieron diferencias por debajo de 4 ºC.

Las variaciones antes mencionadas, posiblemente tuvieron lugar porque los muestreo cada día se empezaron a las 7 de la mañana y continuaron hasta las horas de la tarde, lo que implicó el aumento de la radiación solar a medida que pasaba el día. Esto sucede debido a que la superficie terrestre guarda el calor absorbido durante el día pero como en la noche, no hay radiación solar, sólo queda el calor absorbido y en consecuencia la superficie se enfría, dicho enfriamiento continúa hasta la salida del sol. Por lo tanto la temperatura mínima ocurre generalmente poco antes de la salida del sol y va ascendiendo entrada la mañana (Heuveldop, Pardo Tasies, Quirós Conejo, & Espinoza Prieto, 1986).

Además, los resultados obtenidos de la temperatura ambiente indican una relación inversamente proporcional entre este parámetro y la altitud del sitio de muestreo, esto aplica para los puntos de muestreo ubicados en la zona de reserva forestal (Nacimiento y Viejo Acueducto).

Esta relación es causada por el contenido de humedad del aire, a la presencia de viento frío en la altura y al gradiente térmico, que es la variación que tiene este parámetro con respecto a la altitud dado que la atmosfera se divide verticalmente en capas lo que incide en la variación de la temperatura ambiente (Villarrubia López, 2012).

Resulta oportuno mencionar que la temperatura "tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos procesos que en el cuerpo de agua se realizan, de forma que un aumento de la temperatura modifica la solubilidad de las sustancias, aumentando la de los sólidos disueltos y disminuyendo la de los gases" (Jiménez, 2000). Por lo anteriormente dicho, este parámetro incide en el oxígeno disuelto y en los TDS, porque en el caso del oxígeno disuelto que es un gas, cuando aumenta la temperatura se favorece el movimiento de las moléculas en solución y con ello su rápida difusión es decir su volatilización. Y para el caso de los sólidos disueltos totales, como lo menciona Trujillo Santacoloma (2004), cuando hay incremento de la temperatura hay un ligero aumento en la solubilidad dado que el proceso de solubilización de la mayoría de sólidos es endotérmico, lo que permite que cuando hay más calor se disuelvan más sustancias sólidas.

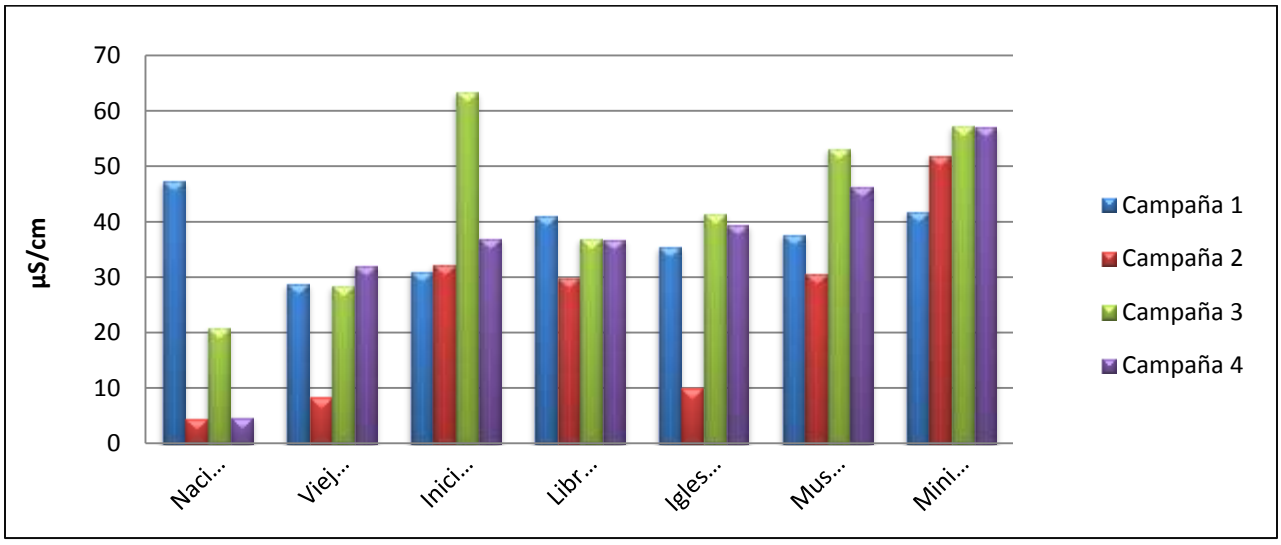
Sin embargo, en esta investigación debido a que los datos de temperatura fueron tan cercanos entre si, es decir la variación entre un punto y otro fue pequeña, difícilmente se da la relación anteriormente mencionada ya que según Raven, Evert & Eichhorn (1992), la tasa de evaporación del agua se duplica por cada aumento de 10 ºC en la temperatura, lo que permitió deducir que los procesos fisicoquímicos y biológicos que se llevan a cabo en un cuerpo de agua se ven alterados con deltas de temperatura de $\geq$10ºC, lo que no se vio en esta investigación ya que máximo hubo deltas de temperatura de $\pm$6ºC. Además, porque los resultados del oxígeno disuelto evidenciaron lo dicho anteriormente ya que en general los puntos muestreados tuvieron concentraciones aceptables según Goyenola (2007) y Rodríguez (2011), dado que en su gran mayoría en todas las campañas el OD fue mayor a 5 $\frac{mg}{L}$.

7.1.5. Conductividad Eléctrica

Analizando los resultados obtenidos (ver gráfica 5), en la campaña 2 los puntos Viejo Acueducto e Iglesia de las Aguas y en la campaña 1 el punto Nacimiento presentaron los valores más bajos y por ende más alejados del rango en el que se movió este parámetro durante las distintas campañas, que fue de 20,9 $\mu S/cm$. a 57,4 $\mu S/cm$. Igualmente el punto llamado Inicio Eje Ambiental de la campaña 3, se alejó un poco del rango mencionado anteriormente porque fue el valor más alto (63,5 $\mu S/cm$) en comparación con los demás puntos muestreados.

Los resultados obtenidos permitieron comprobar que la conductividad eléctrica en todos los puntos de muestreo fue baja, lo que indicó que el agua tiene poco contenido iónico ya que según Roldan Pérez & Ramírez R (2008), aguas con 500 $\mu S/cm$ hasta 2000 $\mu S/cm$ tienen alto contenido iónico.

Gráfica 5. *Comparación de la conductividad eléctrica entre campañas.*



Fuente: Autoras.

Como se mencionó anteriormente, el río presentó bajo contenido iónico lo que significa que la presencia de aniones como cloruros, nitratos, sulfatos y fosfatos entre otros, fue reducida, lo cual influye en los valores bajos de este parámetro, porque los aniones antes mencionados son de origen inorgánico y conducen muy bien la corriente eléctrica debido a su tipo de enlace iónico y a su alta polaridad (disolución y disociación de estos compuestos en el agua) (Hepler, 1968).

Se debe tener en cuenta las características geológicas del cauce del río dado que como lo menciona Van Der Hammen (1998), el área de estudio se caracteriza por la predominancia de gravas, arenas, limos y depósitos de arcillas. En condiciones naturales, las rocas finamente dispersas, en particular las arcillas, conducen normalmente mejor la electricidad que la roca de grano grueso. (De la Vega Ortega, 2001).

Además, las gravas, arenas, limos y depósitos de arcillas influyen en la conductividad eléctrica porque en el caso de las arcillas, estas están compuestas en su mayor parte por silicatos de aluminio hidratados y/o aluminio-silicatos de sodio y calcio o aluminio-silicatos de potasio, magnesio y hierro. Asimismo, las arenas, limos y gravas, entre sus componentes tienen compuestos como el carbonato de calcio, sílice, bicarbonato de calcio, y silicatos (Zambrano Solarte, 2003), los cuales al ser iónicos, es decir al tener iones con cargas eléctricas negativas y positivas tienen la capacidad de conducir la corriente eléctrica.

De lo dicho anteriormente, se dedujo que esas características geológicas influyeron en los resultados obtenidos porque son una mezcla de sustancias de carácter inorgánico, además en los

días anteriores a cada campaña de muestreo fueron típicas las lluvias fuertes y las lloviznas, especialmente en horas de la noche lo que explica esas fluctuaciones a lo largo de todos los puntos de muestreo puesto que la lluvia tiene dos efectos sobre un cuerpo de agua, concentra o diluye.

En el caso del primer efecto, las precipitaciones fuertes que por escorrentía lavaron el suelo, pudieron arrastrar "partículas y fluidos presentes en las superficies expuestas, es decir: hollín, polvo de ladrillo y cemento, esporas y polvo orgánico e inorgánico; partículas sólidas, polvo, hidrocarburos de la vías públicas; restos de vegetales y animales y partículas sólidas de los parques y zonas verdes" (Calvo Seoanez, 1999), lo que posiblemente aumentó la capacidad del río para conducir la corriente eléctrica. Sin embargo, se evidenció que cuando las lluvias no fueron fuertes, estas no impactaron con fuerza la zona aledaña ni el cauce del cuerpo de agua, por lo tanto, la capacidad de acarreo de la corriente se hizo menor, y la escorrentía producto de la lluvia transportó y agregó al cuerpo de agua menos minerales pero más agua.

El rango en el que fluctuó este parámetro fue de 20,9 $\mu S/cm$ a 57,4 $\mu S/cm$ (ver gráfica 5), estos valores estuvieron influenciados por lo dicho anteriormente y por la temperatura del agua, porque el aumento de la temperatura reduce la viscosidad del agua por lo que aumenta la solubilidad de las sales, es decir, los iones se mueven más rápido y pueden conducir más la electricidad (Bureau Veritas, 2008).

Además, la variación de la temperatura modifica notablemente la conductividad. Para disoluciones diluidas se estima que el aumento de la temperatura en 1°C se traduce en el aumento de alrededor 2% en la conductividad (Instituto Geologico y Minero de España, 2009).

La conductividad eléctrica en el punto de Inicio del Eje Ambiental de la campaña 3, aumentó comparado con el punto inmediatamente anterior y posterior, posiblemente por el aumento de la concentración de parámetros como los sólidos disueltos totales (TDS) y la la temperatura ambiente y la temperatura del agua.

Y la disminución de este parámetro en el punto de Museo del Oro de la campaña 3, pudo darse a causa de la remoción de residuos sólidos realizada en el punto de muestreo por parte de una operaria de un grupo ambiental, llamado Leyer (ver anexo 3). Lo dicho anteriormente es importante porque dentro de esos residuos retirados podían haber compuestos iónicos.

Este parámetro tuvo un comportamiento diferente en el punto de Nacimiento de las campañas 1, 2 y 4, también en el punto de Viejo Acueducto para la misma campaña 2, con respecto al rango en el que se movió la mayoría de los puntos muestreados. Esto paso porque antes de las campañas llovió, siendo el día anterior al muestreo de la campaña 1 el que presentó las precipitaciones más fuertes y la temperatura más alta, caso contrario sucedió en las campañas 2 y 4 ya que hubo poca precipitación.

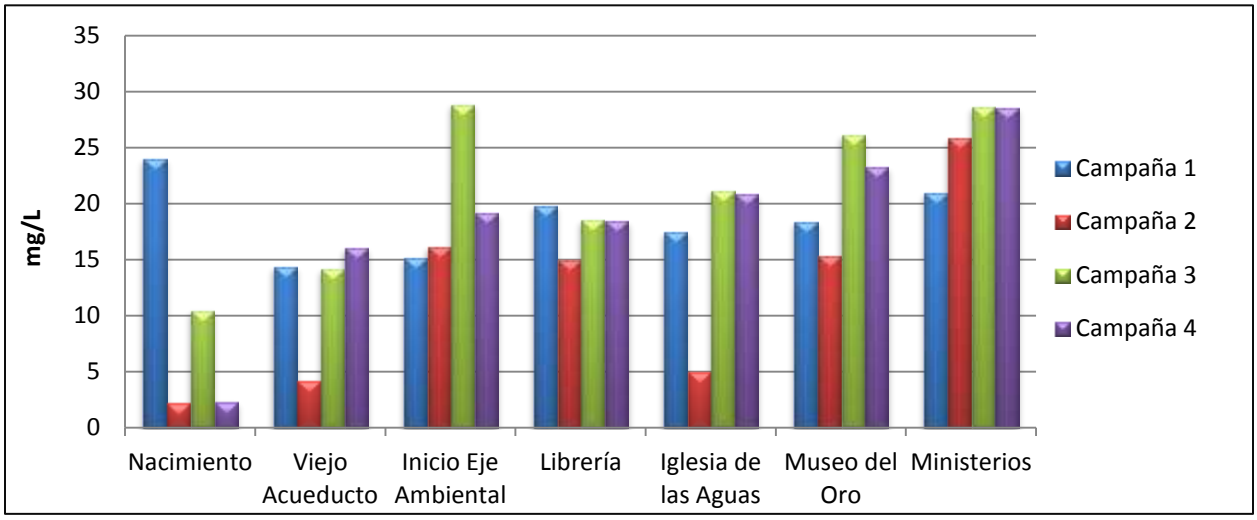
La conductividad eléctrica también se vio influenciada por los TDS, debido a que estos son sales inorgánicas principalmente compuestas por calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos (Roldan Perez & Ramirez R, 2008). Y por la dureza total, porque presentó valores bajos lo que indicó que el agua es de carácter blando y por lo tanto la concentración de iones como el Mg y el Cl^- fueron bajos; todos los iones antes mencionados conducen la corriente eléctrica.

Finalmente, el río San Francisco en cuanto a este parámetro está dentro de los rangos normales y como lo dice Arango, Álvarez, Arango, Torres & Monsalve (2008), la conductividad eléctrica que se determinó en este cuerpo de agua no es limitante para los usos a los cuales está destinado.

7.1.6 Sólidos Disueltos Totales

Según los resultados obtenidos (ver gráfica 6), la concentración de los sólidos disueltos totales en el cuerpo de agua en los meses de estudio están dentro de las concentraciones usuales según Jiménez Cisneros (2001), menores de 30 $^{mg}/_{l}$. Sin embargo, el punto de Nacimiento, Viejo Acueducto e Iglesia de las Aguas de la campaña 2 y también el punto de Nacimiento de la campaña 4 presentaron valores inferiores a los datos de los demás puntos muestreados.

Gráfica 6. Comparación del comportamiento de los TDS entre campañas.



Fuente: Autoras

El punto de muestreo 3, llamado Inicio Eje Ambiental de la campaña 3 evidenció un valor de 28.9 ppm, el más alto comparado con todos los puntos de las demás campañas. Esto sucedió por el arrastre que traía el cuerpo de agua de los puntos anteriores, como el punto de muestreo 3 es el inicio del eje ambiental, este recibió toda la carga de sólidos disueltos producto del lavado del lecho que hizo el agua a medida que descendió de la zona de reserva forestal. Además, en los días anteriores al muestreo de la campaña 3 no hubo fuertes lluvias y en consecuencia la dilución de los sólidos disueltos fue menor, por lo que aumentó la concentración de los TDS.

Como se mencionó anteriormente, la campaña 2 en sus puntos de Nacimiento y Viejo Acueducto tuvo los valores más bajos debido a que la noche anterior al muestreo hubo precipitaciones fuertes, esto causó el aumento del flujo de agua y la dilución de los sólidos disueltos. Esto se comprobó en las observaciones realizadas en campo ya que los respectivos

puntos tuvieron un flujo de agua muy elevado en comparación con la anterior y posterior campaña.

El punto de Iglesia de las Aguas también reflejó un valor bajo comparado con el punto de Librerías. Esto fue la consecuencia de la evidente disminución de la cantidad de agua en esta sección del eje ambiental, porque se evidenció que la entrada de agua a la pileta de este punto era inferior a las otras secciones del eje y su salida de agua era constante, por tanto salía mayor cantidad de agua, es decir, mayor cantidad de TDS y entraba menor volumen por lo que la concentración de TDS disminuyó.

Los TDS se relacionan con la turbidez, porque las sustancias que influyen en la turbidez también influyen en los TDS y como lo expone De Vargas (2004), partículas tales como arcilla, minerales, sedimentos, materia orgánica e inorgánica finamente dividida afectan la concentración de estos dos parámetros. En esta investigación lo dicho anteriormente se corroboró con las concentraciones bajas registradas en los dos parámetros indicando entonces que la concentración de sólidos disueltos totales no representa riesgos para el cuerpo de agua.

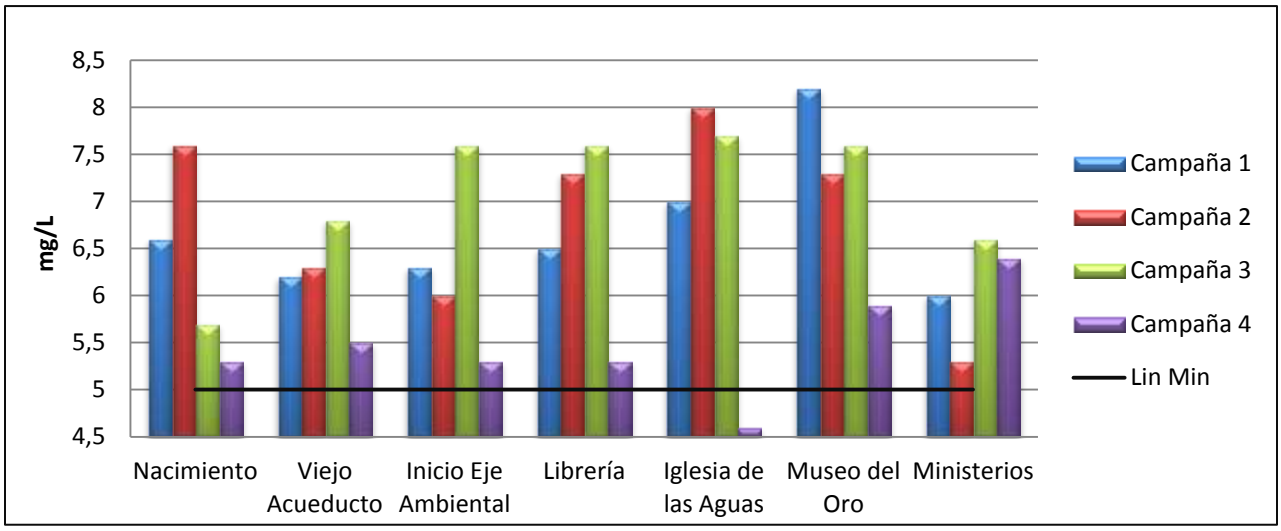
Para finalizar, las concentraciones de sólidos disueltos totales (TDS) en las 4 campañas tuvieron un comportamiento normal de un cuerpo de agua ya que estos son dinámicos y como la concentración de este parámetro según el referente es usual, entonces el agua del río San Francisco con respecto a los TDS está en condiciones óptimas.

Por lo observado en las campañas los TDS no impiden la penetración de la luz en el cuerpo de agua por lo que no afecta los diferentes procesos que se dan con la luz solar como lo es la fotosíntesis (Campos Gomez, 2000). Por lo tanto no hay inconvenientes para que el cuerpo de agua cumpla con el objetivo de los usos establecidos en el decreto 1594 de 1984: mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos, y la armonización y embellecimiento del paisaje.

7.1.7 Oxígeno Disuelto.

En la gráfica 7, se ilustran los resultados obtenidos en las cuatro campañas realizadas y el rango en el que fluctuó este parámetro (4,6 $\frac{mg}{L}$ a 8,2 $\frac{mg}{L}$). También en esta gráfica se observa el límite mínimo establecido de oxígeno disuelto para el agua con uso de preservación de flora y fauna por el decreto 1594 de 1984, sin embargo también se tomó como referente para los puntos que están designados para uso estético debido a que en la normatividad no hay valores establecidos para este uso.

Gráfica 7. Comparación del comportamiento del OD entre campañas.



Fuente: Autoras.

El oxígeno disuelto en todas las campañas tuvo un comportamiento variable, esto fue normal a causa de lo dinámico que es el cuerpo de agua.

Cabe resaltar la poca afinidad que tiene el oxígeno disuelto con el agua debido a que el oxígeno es una molécula apolar pura. Las moléculas apolares poseen dos átomos en sus extremos iguales lo que hace que no se atraigan los átomos con fuerza, por lo tanto se repelen con los entornos polares (Jaramillo Sánchez, 2004). Lo dicho anteriormente, es importante porque pudo ser uno de los factores por los cuales el oxígeno disuelto fue fluctuante durante todos los muestreos (ver gráfica 7).

Los niveles de oxígeno disuelto para todos los puntos muestreados del río fueron superiores a la concentración de este gas en el punto Iglesia de las Aguas de la campaña 4; estas

concentraciones se dieron gracias al intercambio de oxígeno con la atmósfera por difusión o mezcla turbulenta, por el descenso que realiza el río desde los más de 3000 m.s.n.m. en el páramo Cruz Verde hasta llegar al eje ambiental (2600 m.s.n.m.), por las caídas naturales en el área de preservación de flora y fauna y por los resaltos hidráulicos que están distribuidos por las diferentes secciones del eje ambiental.

El agua destinada a uso de preservación de flora y fauna, en este caso los puntos de Nacimiento y Viejo Acueducto en las 4 campañas, cumplieron con lo establecido en la normativa para este uso, puesto que en todos los puntos se evidenciaron concentraciones por encima del límite mínimo establecido (5 $\frac{mg}{L}$).

Debido a que no existen valores normativos para el agua de uso estético, la calidad del esta para los puntos muestreados en el eje ambiental se analizó comparando las concentraciones obtenidas con la clasificación (ver tabla 5) basada en Goyenola (2007), la cual menciona que las concentraciones entre 2,1 y 4,9 $\frac{mg}{L}$ corresponden a una calidad de agua regular y las concentraciones entre 5,0 y 7,9 $\frac{mg}{L}$ a una calidad aceptable.

Según lo dicho anteriormente, la calidad del agua para el punto de Iglesia de las Aguas para la campaña 4 (ver gráfica 7) presentó una calidad de agua regular porque la concentración de oxígeno disuelto en este punto fue de 4,6 $^{mg}/_{L}$. Esto se dio porque según lo percibido el día del muestreo y lo consignado en el registro de campo correspondiente (ver anexo 4), la dinámica

del cuerpo de agua fue lenta, es decir la velocidad del flujo del agua fue más reducida que la velocidad en las secciones anteriores y posteriores al punto de Iglesia de las Aguas, lo que indicó que a medida que el agua se hizo lenta se volatilizó con mayor facilidad parte del oxígeno disuelto y como no hubo movimientos rápidos ni vientos fuertes en esta sección, la incorporación de oxígeno disuelto al agua por el contacto con la atmosfera disminuyó, y por tal razón también la concentración.

De la misma manera, todos los puntos correspondientes al eje ambiental con respecto a este parámetro presentaron una calidad de agua aceptable ya que la concentración de estos puntos fluctuó entre 5,3 y 7,7 $\frac{mg}{L}$; excepto el punto de Iglesia de las aguas y Museo del Oro de la campaña 2 y de la campaña 1 respectivamente, porque estos tuvieron concentraciones de 8 y 8, 2 $\frac{mg}{L}$, lo que significó según la clasificación antes mencionada una calidad de agua buena porque la concentración fue $\geq$ 8,0 $\frac{mg}{L}$.

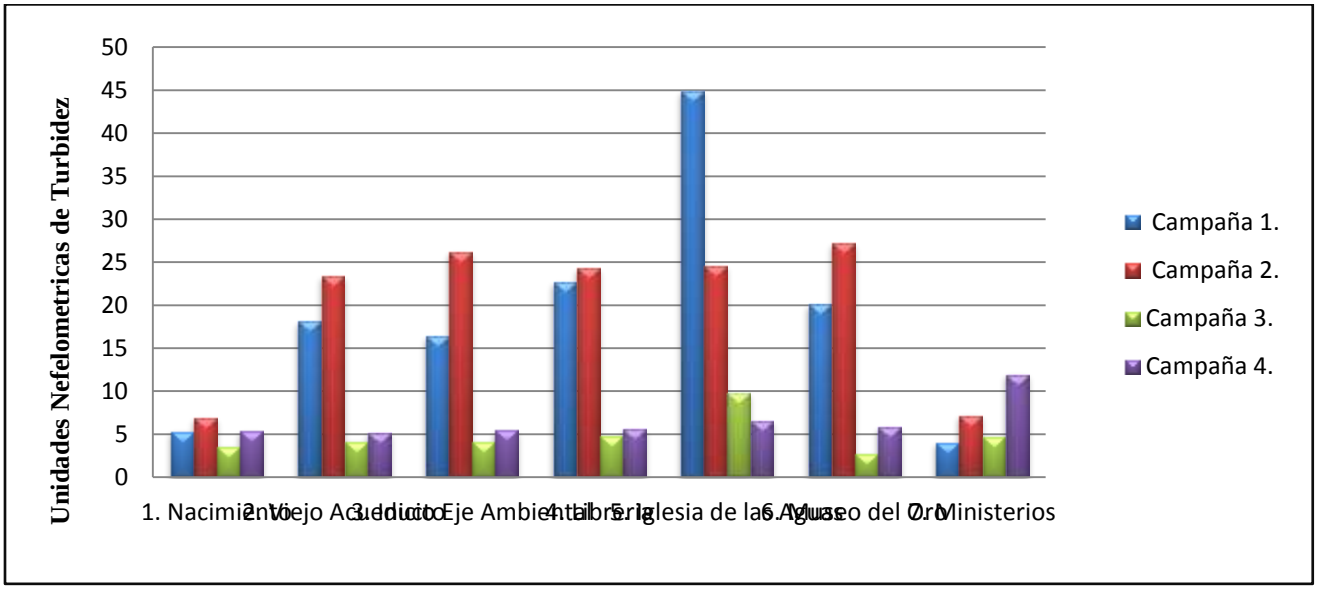
Para finalizar, el río para el caso del eje ambiental está en condiciones adecuadas para el uso asignado, porque tal y como lo menciona el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010), es optima para la armonización y embellecimiento del paisaje. Además, para reforzar lo planteado anteriormente, y sabiendo que para el uso de preservación de flora y fauna si hay un límite establecido, estos puntos también cumplieron con el valor mínimo para este uso del agua.

Y el agua del río San Francisco destinada a la preservación de la flora y fauna, específicamente los puntos de Nacimiento y Viejo Acueducto están en las condiciones adecuadas para mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

7.1.8 Turbidez

Los resultados obtenidos con respecto a este parámetro se ilustran en la gráfica 8, en donde se pueden observar concentraciones muy bajas correspondientes a las campañas 3 y 4, respecto a las campañas 1 y 2.

Gráfica 8. Comparación del comportamiento de la turbidez entre campañas.



Fuente: Autoras.

En las noches anteriores a los muestreos correspondientes a la campaña 1 y 2 hubo fuertes lluvias, lo que generó un arrastre de sólidos, materia orgánica, partículas en suspensión, coloides, entre otras sustancias responsables de que estas campañas tuvieran los valores mas altos de turbidez. Por el contrario, las noches anteriores a los muestreos de las campañas 3 y 4 no presentaron precipitaciones lo cual se reflejó en los resultados.

El punto de Ministerios de todas las campañas realizadas presentaron bajos niveles de turbidez respecto a los demás puntos, este comportamiento se debió a que el movimiento del agua fue muy lento y a veces nulo (ver anexos), por lo tanto permitió que las sustancias sedimentaran y las que no, quedaron en suspensión. Además, relacionando lo anterior con el color se confirmó esta afirmación, ya que el resultado general del color para los puntos muestreados se caracterizó por ser traslucido lo que indicó que efectivamente hubo sólidos en suspensión y disueltos pero no los suficientes para obstaculizar la visión. Y para complementar, en la parte inferior de la pileta se observaron sólidos sedimentados, por lo tanto los valores de turbidez fueron bajos.

Por sus condiciones naturales el agua correspondiente al primer punto de muestreo presentó niveles muy bajos de turbiedad en todas las campañas. Por su ubicación el arrastre de sustancias que aporten turbidez fue mínimo por ende las concentraciones también.

En el punto de Iglesia de las Aguas de la campaña 1, el valor de turbidez fue el más alto de las muestras analizadas debido a que el agua entró a las piletas de este punto con alto flujo, lo

que ocasionó que en esta sección se generara turbulencia y por ende aumentara la concentración de este parámetro. A causa de la turbulencia el material que venía de las piletas anteriores no sedimentó al contrario se mantuvo incorporado en la columna de agua por dicha fuerza, lo que generó aumento de la turbidez.

Para concluir, el río San Francisco con respecto a este parámetro en la zona de preservación de flora y fauna está con una condición desfavorable para la campaña 1, en los puntos de Librería e Iglesia de las Aguas y en la campaña 2 desde el punto de Viejo Acueducto hasta Museo del Oro porque según Villarreal Morales (2000), la concentración debe ser de 20 UNT y estos puntos están en un rango entre 22.78 y 44.94 UNT.

Y con respecto al agua del río para uso estético, se consideró que como el agua es para embellecer el paisaje y la norma no establece criterios para este uso, y al relacionar este parámetro con el color aparente, la apariencia de este fue muy clara entonces se deduce que el cuerpo de agua está en óptimas condiciones para el uso estético.

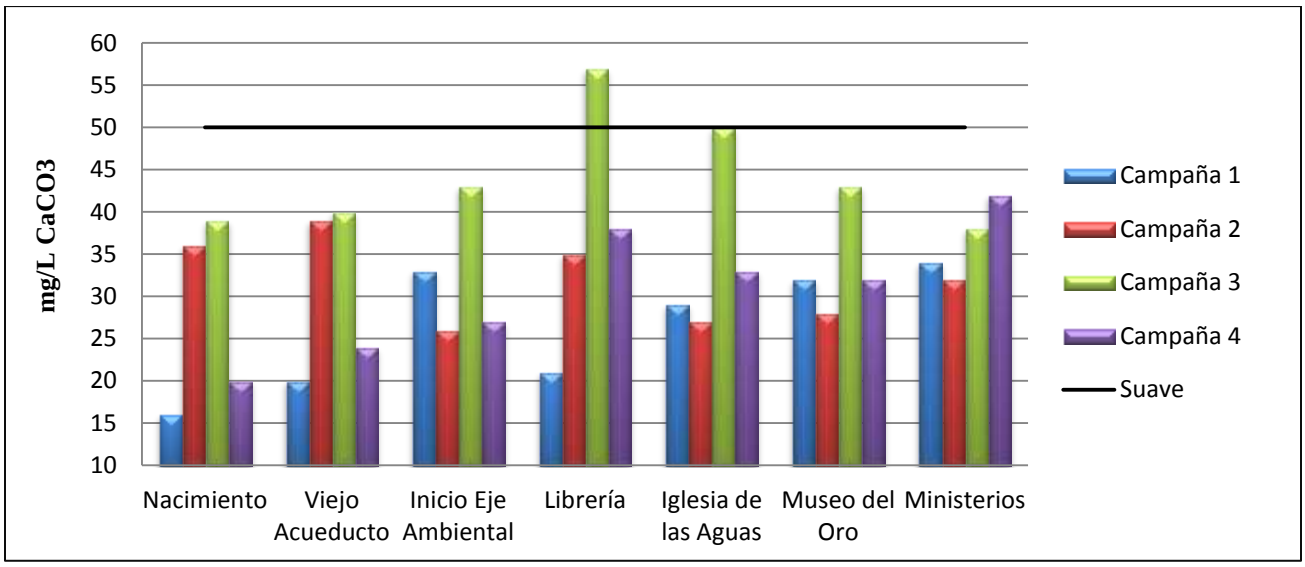
7.2 PARÁMETROS DE LABORATORIO.

7.2.1 Dureza Total

Según los resultados obtenidos (ver gráfica 9), las concentraciones de dureza total fluctuaron entre 16 $\frac{mg}{L}\ CaCO_3$ y 57 $\frac{mg}{L}\ CaCO_3$, siendo la campaña 3 en los puntos de Librería e

Iglesia de las Aguas la que tuvo la concentración más alta con respecto a los mismos puntos de las otras campañas.

Gráfica 9. Comparación del comportamiento de la dureza total entre campañas.



Fuente: Autoras

Según la clasificación establecida por la Agencia de Proteccion Ambiental de los Estados Unidos (2001), un agua suave tiene hasta 50 $\frac{mg}{L} CaCO_3$ y un agua moderadamente suave está entre 51-100 $\frac{mg}{L}\ CaCO_3$, asi el río San Francisco presentó dureza total moderadamente suave para el punto de Librerías de la campaña 3 porque su concentración fue de 57 $\frac{mg}{L}\ CaCO_3$.

Esta concentración de dureza se pudo generar porque hubo un fuerte movimiento en el agua lo cual pudo aportar material rico en Ca^+ y Mg^+, este material seguramente estaba en sedimentación o adherido a las paredes de las piletas de agua del eje ambiental y con los fuertes movimientos de reincorporaron al cuerpo de agua y por esto influyo en la dureza total.

El resto de puntos muestreados de todas las campañas se clasificaron como agua suave dado que ninguno supero los 50 $\frac{mg}{L}$ $CaCO_3$ (Agencia de Proteccion Ambiental de Los Estados Unidos , 2001). La baja concentración de dureza total, estuvo influenciada por la poca adición de magnesio, calcio, sodio, cloruros, sulfatos, entre otros; ya que como lo menciona Neira Gutiérrez (2006) son los principales contribuyentes al aumento de la dureza. Además, en el caso del eje ambiental, la estructura está compuesta de granito y como lo menciona Murphy (2007), algunas rocas, como la de granito, ricas en cuarzo son muy resistentes a la disolución, y no se disuelven fácilmente en el agua.

Es necesario tener en cuenta que solo una parte del río San Francisco alimenta el eje ambiental y que a medida que el río desciende y por las lluvias que se presentaron en noviembre y diciembre la dilución de los compuestos fue mayor, por lo que la concentración general para este parámetro fue baja.

La dureza total se vio influenciada por los TDS pero en una pequeña medida porque la concentración de TDS fue menor a 30 $\frac{mg}{L}$ y según Jiménez Cisneros (2001), esto es un valor usual y bajo, lo que indicó que iones que aportan a los TDS y a la dureza total como el calcio y el magnesio estaban en poca cantidad por ende la concentración de este parámetro también fue bajo.

De manera semejante, la dureza total tuvo relación con el pH, ya que como la dureza total es la sumatoria de los iones calcio y magnesio y otros más que aportan características

alcalinas, influye en este parámetro. Por lo dicho anteriormente, el pH en las campañas realizadas tuvo valores entre 6, 76 y 8, 84, lo que indicó que el cuerpo de agua se acercó a la neutralidad pero a la vez tuvo tendencia débilmente alcalina.

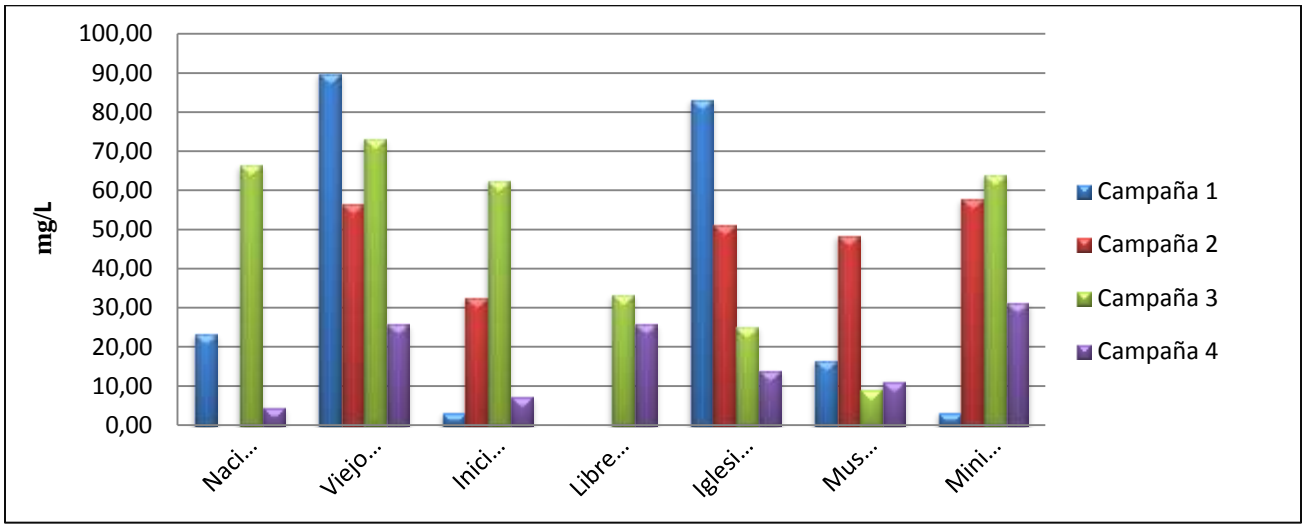
Según la clasificación de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2001), el área analizada del río San Francisco fue en general agua blanda, por lo que su condición es óptima, lo que beneficia la estructura del eje ambiental porque así no se generan incrustaciones en las tuberías que conectan cada sección del eje y que aumentarían la resistencia del flujo normal del agua disminuyendo su capacidad.

7.2.2 Demanda Química de Oxígeno

El comportamiento fluctuante de la Demanda Química de Oxígeno en todos los puntos muestreados de todas las campañas se puede ver en la gráfica 10.

Como lo menciona Sanchez, Herzig, Eduardo, Márquez, & Zambrano (2007), según la DQO el río se puede clasificar en excelente, de buena calidad, aceptable, contaminada y fuertemente contaminada dependiendo de los resultados obtenidos en los muestreos realizados.

Gráfica 10. Comparación del comportamiento de la DQO entre campañas.



Fuente: Autoras.

Para este caso, y según los resultados obtenidos (ver gráfica 10) el punto de Nacimiento de la campaña 2 y 4, se clasifica dentro del rango de buena calidad lo cual corresponde a la situación geográfica y al entorno del punto muestreado, ya que el río se encuentra en su mayoría de forma subterránea y a que está muy cerca de su nacimiento en el páramo Cruz Verde, además no tiene intervención antrópica y su ronda hidráulica está cubierta de flora y fauna propia del área. Sin embargo la calidad del agua que presentó el mismo punto en la campaña 1 fue aceptable y en la campaña 3 contaminada.

Los resultados de este punto para las campañas anteriormente mencionadas posiblemente se dieron por acciones antrópicas dado que aunque ese terreno es de reserva forestal y de protección ambiental se evidenció ingreso ilegal de algunos habitantes aledaños a desarrollar labores domésticas, característica que pudo influir en la concentración de DQO.

Para la campaña 1 según la clasificación, el punto de Nacimiento tiene algunos indicios de contaminación, sin embargo el río tiene la capacidad de auto depurarse, entonces estas concentraciones pudieron bajar; dado que la autodepuración es un proceso natural de limpieza del agua en el que es necesario que el oxígeno disuelto esté en suficiente cantidad. Como el río San Francisco tuvo un nivel de oxígeno favorable, seguramente se produjo la autodepuración; y también influyó la turbulencia puesto que favoreció el paso de oxígeno del aire al agua (Instituto Geologico y Minero de España, 2009).

En cuenca media se encuentra ubicado el punto Viejo Acueducto, para el caso de la campaña 4, esta sección del cuerpo de agua se clasificó como aceptable y la calidad del agua para el mismo punto de muestreo de la campaña 1, 2 y 3 fue contaminada.

El aumento de los niveles de DQO pudo darse por el arrastre de sólidos, sustancias que en su mayoría son orgánicas y en menor proporción inorgánicas de origen natural desde el nacimiento del río hasta el punto de Viejo Acueducto, se debe tener en cuenta que las noches anteriores a los muestreos de todas las campañas llovió fuertemente y esto pudo contribuir al aumento de la concentración de la DQO por la escorrentía generada y por la carga contaminante incorporada.

La concentración de la DQO a lo largo del punto de muestreo Inicio Eje Ambiental (ver grafica 10) evidenció variaciones con tendencia al aumento desde la campaña 1 hasta la campaña 3 y una disminución fuerte de este parámetro en la campaña 4.

Como lo expone la clasificación realizada por Sanchez, Herzig, Eduardo, Márquez, & Zambrano (2007), la calidad fisicoquímica del río en la campaña 2, fue aceptable, esta situación se pudo haber generado por las fuertes lluvias que se presentaron la noche anterior y teniendo en cuenta que el río al llegar a este punto ya ha descendido mas o menos 600 m.s.n.m. arrastró material susceptible a ser oxidado por vía química, lo que provoco aumento en la DQO. Para el caso de la campaña 1 y 4 la calidad del agua fue excelente, esto tiene mucho sentido ya que se relaciona con la sedimentación evidenciada en la pileta del punto analizado (Inicio Eje Ambiental) y con la reducción de la velocidad del agua respecto a los puntos anteriores. En la campaña 3, el punto de muestreo Inicio Eje Ambiental según la calificación de calidad de agua fue catalogado como contaminado, esto seguramente se dio porque hubo aporte de materia orgánica en el punto por agentes externos como animales o seres humanos, además la falta de mantenimiento permitió concentrar sustancias que estaban sedimentadas pero por las lluvias y perros que agitan el agua reincorporaron estas sustancias que afectaron la concentración de la demanda química de oxígeno.

En el punto de librerías, la calidad del agua de la campaña 1 y 2 fue excelente según la calificación que hace Sanchez, Herzig, Eduardo, Márquez, & Zambrano (2007). Posiblemente influyó que el flujo de agua no fue constante, el movimiento de la misma tampoco y por ende se facilitó la sedimentación de la materia orgánica e inorgánica existente. La calidad fisicoquímica del río en las campañas 3 y 4 fue aceptable, esto se presentó porque hubo vertimientos por parte de algunas personas como habitantes de calle que lavan su ropa y transeúntes que desechan

diferentes sustancias. La calidad de agua aceptable implica que el río tiene indicios de contaminación pero aun así, este todavía tiene la posibilidad de auto depurarse.

En el punto de Iglesia de las aguas (ver gráfica 10), la calidad del río en la campaña 1 y 2 fue contaminada según la clasificación expuesta por Sanchez, Herzig, Eduardo, Márquez, & Zambrano (2007), esto se pudo dar por la incorporación al agua de la polución del lugar, debido a que este punto de muestreo está rodeado por un flujo vehicular constante, lo que posiblemente contribuyó en la concentración de DQO.

Para el caso de la campaña 3, la concentración de DQO disminuyó con respecto a las campañas 1 y 2 (ver grafica 10) lo que permitió que la calidad del agua mejorara un poco y fuera clasificada como aceptable, influyó que en esta sección del eje hubo mucha sedimentación y además en el momento del muestreo del punto en cuestión, una persona le hizo un barrido para retirar residuos sólidos, lo que posiblemente incidió en los resultados obtenidos, ver registros de campo (anexo 3).

Según lo consignado en los registros de campo (ver anexo 4), la concentración de DQO en la campaña 4 disminuyó considerablemente en comparación con los resultados obtenidos en la campaña 1. La acumulación de sedimentos y la reducción de la velocidad del agua seguramente contribuyeron a que la DQO bajara, por lo tanto la calidad fisicoquímica en esta campaña según la clasificación antes mencionada mejoró ya que se encontró dentro de los rangos de agua de buena calidad (mayor o igual a 10 mg/L y menor o igual a 20 mg/L).

Según lo expuesto por Sanchez, Herzig, Eduardo, Márquez, & Zambrano (2007) en la clasificación de calidad de agua según la DQO, el punto de Museo del Oro, en la campaña 1, 3 y 4 fue de buena calidad y para el caso de la campaña 2, se clasificó en agua contaminada. El comportamiento de la DQO en la campaña 2 pudo presentarse por transeúntes que arrojan residuos líquidos y sólidos y que aportan carga contaminante, además el nivel del agua disminuyó y no fue constante lo que favoreció el aumento de la DQO.

En el punto de Ministerios la calidad del agua según la DQO para la campaña 1 se clasificó en excelente. Analizando los datos obtenidos y lo observado en campo, esto probablemente se dio porque hubo sedimentación en la pileta y porque la velocidad del agua disminuyó, por ende la materia orgánica e inorgánica sensible a ser oxidada químicamente sedimentó lo que permitió que el punto de Ministerios tuviera la clasificación antes mencionada.

La concentración más alta de DQO la presentó la campaña 2 y 3, por lo que sus aguas fueron clasificadas como contaminadas, esto es producto de la acumulación de todo tipo de contaminante por la falta de mantenimiento ya que siendo estas las últimas campañas, se evidenciaron con más frecuencia muchos residuos sólidos, incorporación de jabones, y las paredes de esta sección del eje ambiental tenían lama y sus aguas eran más viscosas, todo esto seguramente causó el aumento de la DQO.

Es necesario aclarar que las variaciones en la Demanda Química de Oxígeno, también están influenciadas por factores como el aporte de materia orgánica por parte de especies

animales (perros y palomas) que rondan el eje ambiental para bañarse, tomar agua y hacer sus necesidades fisiológicas; asimismo por acciones antrópicas como botar basura como plásticos, latas, botellas, palos, residuos de cervezas, gaseosas, café, lavar ropa, verter aguas residuales, la falta de mantenimiento y recorrido intermitente del flujo de agua condicionan el agua para que haya cambios en la DQO. Además, no se debe olvidar que debido a que el río es un sistema dinámico, es normal que presente fluctuaciones en los parámetros medidos.

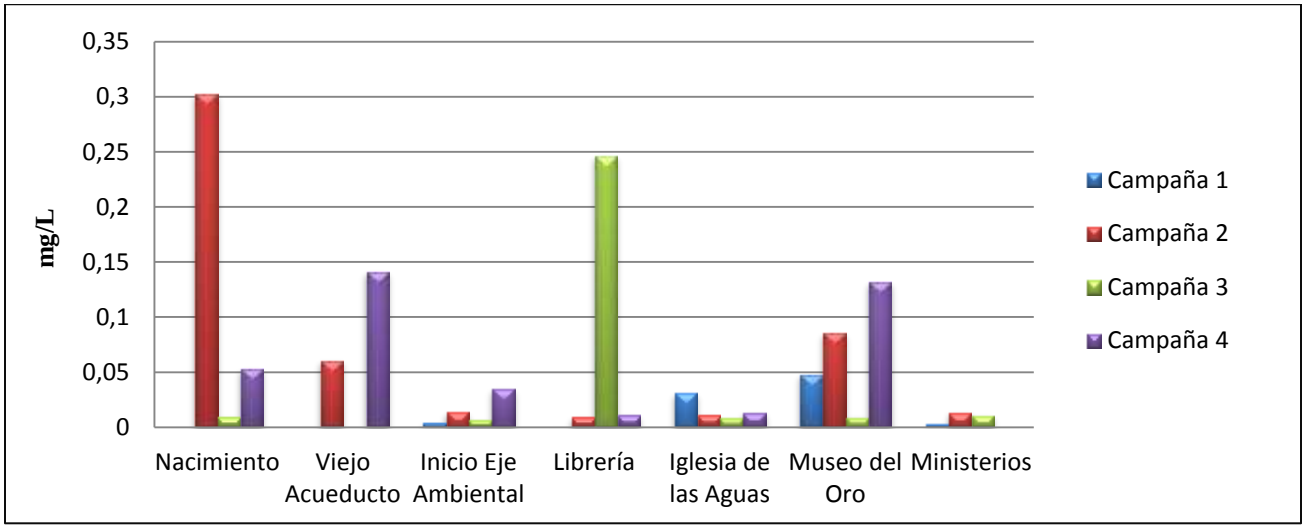
Adicionalmente, en esta investigación la relación de oxígeno disuelto y demanda química de oxígeno no fue evidente porque no hubo influencia directa de la DQO sobre el OD, esto se evidenció en los valores de oxígeno disuelto relativamente altos para los puntos donde la demanda química de oxígeno aumentó, lo que permitió concluir que otros factores como la lluvia y los resaltos hidráulicos incidieron en las concentraciones de oxígeno disuelto y probablemente por esto la relación con la DQO no fue directa.

Para concluir, la calidad de agua del río San Francisco en la cuenca alta, es decir, en el primer punto de muestreo Nacimiento, fue excelente, para el caso de cuenca media, su calidad según la clasificación fue contaminada. Finalmente todos los puntos de muestreo localizados en el eje ambiental y que corresponden a la cuenca baja del río presentan contaminación siendo el punto de Inicio del Eje Ambiental, Iglesia de las Aguas y Ministerios los que presentan los mayores concentraciones de DQO.

7.2.3 Aceites y Grasas.

La gráfica 11 muestra los resultados de aceites y grasas obtenidos en las cuatro campañas realizadas. Donde el rango de resultados está entre 0 mg/L y 0.30 mg/L, lo que permitió inferir que hubo poca variación entre los puntos muestreados.

Gráfica 11. Comparación del comportamiento de los aceites y grasas entre campañas.



Fuente: Autoras.

Las concentraciones más altas y que por tal razón sobresalen, se presentaron en los puntos de Nacimiento y Librerías de la campaña 2 y 3, (ver gráfica 11). El resultado obtenido en el punto de Nacimiento de la campaña 2, se pudo dar por algún componente de origen natural (animal o vegetal) que se haya incorporado al río por acción de la escorrentía dado que en la noche anterior a los muestreos llovió fuerte. Un ejemplo de aceites y grasas pudieron incidir fueron los ácidos grasos poliinsaturados que están presentes en las semillas de plantas como la

soja; o las ceras que forman una capa impermeable en las hojas y los frutos de las plantas (Ege, 2000).

La concentración para el punto de Librerías de la campaña 3, posiblemente tuvo ese aumento por la incidencia de factores antrópicos, aunque en el momento de la recolección de las muestras no se evidenciaron personas que estuvieran utilizando el agua de este punto de muestreo, se infiere que previamente en este punto personas lavaron ropa o utensilios; también pudo influir la presencia de caninos que allí se hayan bañado y según lo registrado en el formato de campo de este punto (ver anexo 3) también hubo muchas aves (palomas) lo que quizás incidió en la concentración de este parámetro.

El comportamiento de los demás puntos radica en que el cuerpo de agua es dinámico y por ende los resultados varían, además que durante el tiempo de muestreos no se evidenció película iridiscente, lo que también explica el por qué de los resultados obtenidos.

Las grasas y aceites pueden influir en el oxígeno disuelto, porque estas pueden interferir entre el agua y la atmosfera al formar películas. Sin embargo por los niveles bajos de menos de 0,31 mg/L obtenidos en esta investigación, no hubo alteración alguna por parte de este parámetro sobre el parámetros ante mencionado.

Los aceites y grasas no tienen influencia negativa en el río ya que sus concentraciones están por debajo de lo que, para el caso del agua residual doméstica se exige, que es de 20 mg/L,

según el artículo 8 de la resolución 631 de 2015.

Vale la pena aclarar que la intención al hacer esta relación no es comparar ya que son usos diferentes, sin embargo este valor establecido en la resolución 631 de 2015 “sobre los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimiento puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público” da una idea de cuál es el rango en la concentración de los aceites y las grasas en los cuerpos de agua.

Finalmente, el río en cuanto a este parámetro está en condiciones óptimas para el uso de preservación de flora y fauna y para el uso estético, porque como lo menciona el Decreto 1594 de 1984, no hubo presencia de película visible de aceites y grasas en ninguno de los puntos muestreados.

8. CONCLUSIONES

- Se caracterizó el agua del río San Francisco y con respecto a los parámetros de temperatura del agua y ambiente, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, olor y color aparente, en las cuatro campañas realizadas la calidad del agua fue óptima, ya que las concentraciones de estos no representan peligro y están dentro de los límites establecidos por la normatividad pertinente.

- Por medio de los parámetros fisicoquímicos cuantificables escogidos, se determinó que efectivamente estos, si son indicadores de contaminación porque mostraron el estado en cuanto a la calidad del agua y la dinámica actual del río.

- Se evaluó el estado de la calidad del agua del río San Francisco, desde el nacimiento hasta la canalización superficial en el eje ambiental, permitiendo concluir que el cuerpo de agua está en condiciones adecuadas para mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos, y puede armonizar y embellecer el paisaje. Tal y como lo establece el decreto 1594 de 1984.

- El comportamiento fluctuante de los parámetros analizados, permite ver la susceptibilidad y la dinámica de los cuerpos de agua frente a factores propios del río como sus características químicas o del entorno, como factores antrópicos o climáticos.

- Aunque en algunos tramos el cuerpo de agua presenta contaminación, este aún tiene la posibilidad de auto depurarse.

9. RECOMENDACIONES

- Es necesario continuar y profundizar con la investigación sobre el río San Francisco, por lo que se sugiere tener en cuenta épocas de lluvia y de sequía con el fin de determinar su comportamiento y dinámica y a su vez tener claro los criterios de cómo tratarlo y poder establecer medidas para preservarlo y mejorar su calidad fisicoquímica.

- Para que el cuerpo de agua en el eje ambiental tenga una mejor calidad, se recomienda mantenimientos periódicos de este y de la estructura, como el lavado de las piletas y remoción de residuos sólidos por las entidades correspondientes.

- Se recomienda a las entidades encargadas del eje y del río, hacer partícipes a la comunidad para que la calidad del cuerpo de agua sea adecuada para el uso estético y de preservación de flora y fauna, además que la comunidad misma desarrolle sentido de pertenencia y procure su cuidado.

- Se sugiere, definir la entidad responsable del cuidado del río San Francisco y del mantenimiento del eje ambiental para que su cuidado sea integral, desde su nacimiento hasta su canalización.

- Para próximas investigaciones sobre este cuerpo de agua, es pertinente que se contemple realizar un diagnóstico para así incluir todos los factores sociales, químicos, físicos, termodinámicos, microbiológicos y demás que inciden en la calidad del agua del río San

Francisco.

- Se debe modificar, actualizar y completar la normatividad que regula los cuerpos de agua de uso estético y de preservación de flora y fauna.

- Sería pertinente, censar la población aledaña al cuerpo de agua para conocer las diferentes acciones antrópicas que puedan estar afectando al río, y así, tomar las medidas necesarias para la protección y cuidado del mismo.

10. BIBLIOGRAFÍA

Agencia de Protección Ambiental de Los Estados Unidos. (2001). US Envarionmental Protection Agency EPA . From http://espanol.epa.gov/

Álvarez, J., Panta, J., Ayala, C., & Acosta, E. (2008). Calidad Integral del Agua Superficial en la Cuenca Hidrológica del Río Amajac. Información Tecnológica , 19 (6), 21-32.

APHA, AWWA, WPCF. (1992). Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid.

Arango, M. C., Álvarez, L. F., Arango, G. A., Torres, O. E., & Monsalve, A. (2008). Calidad Del Agua De Las Quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia . Revista EIA (9), 121-141.

Arce, A., Tomasini, A., & Calderon, C. (2001). Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua. Mexico D. F.

Atuesta Ortiz, M. (2010). La ciudad que paso por el Río. La canalizacion del rio San francisco y la construcción de la Avenida Jimenez en Bogotá a principios del siglo XX. Bogota: Universidad del Rosario.

Audesirk, T., & Audesirk, G. (2003). Biología: La vida en la tierra. Massachutses.

Brand. (n.d.). Catalogo general 900. From Su socio en el laboratorio.

Berenguer Subils, M. J. (1998). Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo. Retrieved 4 de Enero de 2016 from http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_358.pdf

Bureau Veritas. (2008). Manual para la formación en medio ambiente (1ª edición ed.). Valladolid, España: Lex Nova.

Cabildo, M. d. (2013). Dureza del agua. Bases Quimicas del medio ambiente. Madrid: UNED.

Calvo Seoanez, M. (1999). Aguas Residuales Urbanas. Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. (Mundi-Prensa, Ed.) Madrid: Ilustrada.

Campos Gomez, I. (2000). Saneamiento Ambiental. San José: Universidad Estatal a Distancia.

Chica, A. (2015). Procesos de biotrasnformacion de la materia organizca. Ingenieria yaspectos tecnicos de la establilizacion aerobica. Madrid: Ediciones mundi-prensa.

Contreras Lopez, A., & Molero Meneses, M. (2011). Ciencia y Tecnologia del Medio Ambiente. Madrid, España: Universidad Nacional de Educacion a Distancia.

De la Vega Ortega, M. (2001). Problemas de la ingeniería de puesta a tierra. Ciudad de Mexico D.F: Limusa.

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. (N. Durán Antequera, Ed.) Cochabamba, Bolivia.

De Vargas, L. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtracion rápida. Manual 1: Teoría. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería y Ciencias del Ambiente.

Ege, S. (2000). Química Orgánica. Estructura y Reactividad. (Vol. l). Barcelona, España: Editorial Reverté S.A.(n.d.).

Escolástico León, C., Cabildo Miranda, M., Claramunt Vallespí, R., & Claramunt Vallespí, T. (2013). Ecología I: Introduccion. Organismos y Poblaciones. Madrid, España: Publicaciones UNED.

FAO. (1997). Lucha contra la contaminación agricola de los recursos hidricos. Burlington, Canada: Organización de las naciones unidas para la alimentacion y la agricultura.

Félez Santafé, M. (2009). Situación actual de la depuración biológica. Explicacion de los métodos y sus fundamentos. Barcelona, España: Universitat Politécnica de Catalunya.

Fundacion Alma; Alcaldía local de Candelaria; Colectivo encuentro universidad crítica. (2013). De Vicachá a San Francisco. Nuestro Centro es el Agua . Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

Garritz Ruiz, A. (2005). El enlace y los compuestos químicos. In A. Garritz Ruiz, Manifestaciones de la materia (p. 103).

Gonzalez, M. (1 de Abril de 2010). La guia Quimica 2000. Retrieved 19 de Julio de 2015 from http://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/enlace-metalico

Goyenola, G. (2007). Red de monitoreo ambiental participativode sistemas acuaticos (RED MAPSA). Retrieved 19 de Julio de 2015 from Guia para utilizacion de las valijas viajeras: http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/Conductividad.pdf

Goyenola, G. (2007). Red de Monitoreo Ambiental participativo de sistemas acuáticos (Red Mapsa): Oxígeno Disuelto. Retrieved 19 de Abril de 2015 from Guía para la utilización de las Valijas Viajeras : imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/OD.pdf

Harris, D. C. (2007). Análisis químico cuantitativo (6ª edición ed.). Barcelona, España: Editorial Reverte S.A.

Hepler, L. (1968). Principios de Quimica: Introduccion a los conceptos teóricos. Nueva York: Editorial Reverté.

Heuveldop, J., Pardo Tasies, J., Quirós Conejo, S., & Espinoza Prieto, L. (1986). Agroclimarología Tropical. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.

IDEAM. (4 de Octubre de 2007). Dureza Total en Agua con Edta oor Volumetría. Retrieved 26 de Diciembre de 2015 from Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Dureza+total+en+agua+con+EDTA+por+volumetr%C3%ADa.pdf/44525f65-31ff-482e-bbf6-130f5f9ce7c3

IDEAM. (22 de Noviembre de 2007). Oxígeno Disuelto por Electrodo de Membrana. Retrieved 5 de Septiembre de 2015 from IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Ox%C3%ADgeno+Disuelto+por+Electrometr%C3%ADa.pdf/9d532efc-805a-4561-94db-a82649af5f91

Instituto Geológico y Minero de España. (2009). Composición química de las aguas subterráneas naturales. Madrid: Mnisterio de Economia y competitividad.

Instituto Geológico y Minero de España. (2001). Las caras del agua subterránea (Vol. 1). (A. Medina, J. Carrera, & L. Vives, Eds.) Barcelona, España: Publicaciones Instituto Geológico y Minero de España.

Instituto Nacional de Salud. (2011). Programa de Vigilancia por Laboratorio de la Calidad de Agua para Consumo Humano. Retrieved 8 de Enero de 2016 from Instituto Nacional de Salud: http://www.ins.gov.co/sivicap/Normatividad/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf?Mobile=1&Source=%2Fsivicap%2F_layouts%2Fmobile%2Fview.aspx%3FList%3Ddc462e4b-5de8-4a2f-be3a-08ad1c837db7%26View%3D0ac5f5c5-4988-442d-bc0e-2c07af4f66a5%26CurrentPage%3D1

Jaramillo Sánchez, J. A. (2004). Quimica para el acceso a ciclos formativos de grado superior. Seviilla: MAD.

Jiménez, A. A. (2000). Determinación de los Parámetros Fisico-químicos de Calidad de las Aguas. Gestión Ambiental , ll (23), 12-19.

Jiménez Cisneros, B. (2001). La Contaminación Ambiental en México: causas, efectos y tecnologia apropiada. Mexico: Limusa S,A.

Madriñan, M. E. (28 de Febrero de 2012). El Eje Ambiental que soñó Salmona era más ambicioso que el que se hizo. Retrieved 18 de Abril de 2015 from El Tiempo: http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-11235061

Malaver, C. (11 de Agosto de 2012). El olvido está acabando con el Eje Ambiental. Retrieved 19 de Abril de 2015 from El Tiempo: http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12116961

Manahan, S. (2006). Introduccion a la quimica ambiental. Ciudad de Mexico: Reverté, S.A.

Marín Galvin, R. (2003). Fisicoquímica y Mucrobiología de los Medios Acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. MAdrid, España: Díaz de Santos, S. A.

Mikkelsen, R. (2010). Fuentes del Magnesio. Retrieved 2015 de Julio de 2015 from <https://ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/0FF40EBB414EF2B10525777D0075087B/$file/3.+Fuentes+de+Magnesio.pdf>

Milán Valoyes, W. Y., Caicedo Quintero, O., & Aguirre Ramiréz, N. J. (2011). Quebrada La Popala: un análisis de calidad del agua desde algunas variables fisicoquímicas, microbiológicas y los macroinvertebrados acuáticos. Revista Gestión y Ambiente , 14 (1), 85-94.

Ministerio de Agricultura. (26 de Junio de 1984). Decreto 1594 de 1984. . Decreto 1594 de 1984. Bogotá, Cundinamarca, Colombia

Ministerio de Salud y Protección Social. (17 de Septiembre de 2013). Resolución 3619 de 2013. Resolución 3619 de 2013 . Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (25 de Octubre de 2010). Decreto 3930 de 2010. Bogotá, Colombia.

Miralles Bellver, L., Costa Perez, J. C., Muñoz, L. A., Guijaro, M. R., & Rodriguez, J. M. (2005). Agentes medio ambientales de la generalitat Valenciana. Valencia: MAD, s.l.

Murphy, S. (23 de Abril de 2007). General Infomation on Solids. Retrieved 19 de Julio de 2015 from http://bcn.boulder.co.us/basin/data/NEW/info/TDS.html

Neira Gutierrez, M. A. (2006). Dureza en aguas de consumo humano y uso industral, impactos y medidas de mitigación. Dureza en aguas de consumo humano y uso industral, impactos y medidas de mitigación. Estudio caso Chile . Santiago de Chile, Chile: Facultad de CIencias Fisicas y Matematicas.

Nemerow, N., & Dasgupta, A. (1998). Efectos de vertidos en los cuerpos de agua y en las plantas depuradoras deaguas residuales. tratamiento de vertidos industriales y preligrosos. Madrid: Diaz de Santos.

Odetti, H., & Bottani, E. (2006). Introduccion a la quimica inorgánica. Santa Fe: UNL.

Organización Panamericana de la Salud. (1988). Guias para la calidad del agua potable (Vol. 3). Washington, Estados Unidos de America.

Pancarbo, F. (2011). Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación. Barcelona, España: Marcombo Ediciones Tecnicas.

Patiño Silva, O. F., & Osorio Baquero, I. (2011). Estudio Fisico-quimico de la quebrada padre Jesús, desde la vereda Fátima hasta su canalización en la avenida Circunvalar en la ciudad de Bogota. UD y la Geomática , 103-114.

Posada G, J. A., Roldán Perez, G., & Ramírez R, J. J. (2000). Caracterización Fisicoquímica y biológica de la calidad de las aguas d ela cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. REVISTA DE BIOLOGÍA TROPICAL , 48 (1), 59-70.

Ramos Olmos, R., Sepúlveda, R., & Villalobos, F. (2003). El agua en el medio ambiente: muetsreo y análisis (1ª Edición ed.). México D.F., México: Plaza y Valdés Editores.

Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (1992). BIOLOGÍA DE LAS PLANTAS (Vol. 2). (Reverte, Ed.) Barcelona, España: Ilustrada.

Reisancho, A. L. (2009). Implementacion de un sistema de validación de metodos fisico-quimicos para analisis de aceites y grasas, cloruros,fosforo total y nitratos en muestras de agua. Quito.

Rodriguez, P. (2011). Determinación del Oxígeno Disuelto en muestras de agua. puraquimica.files.

Roldan, G. (2003). Bioindicación de la Calidad del agua en Colombia. Medellin: Universidad de Antioquía.

Roldan Perez, G., & Ramirez R, J. j. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Antioquía, Colombia: Universidad de Antioquia.

Romero Rojas, J. A. (2005). Calidad de Agua. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Romero Rojas, J. A. (1996). Acuiquimica. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingenieria .

Rueda Valdivia, F. J. (n.d.). Universidad de Granada. Retrieved 21 de Noviembre de 2015 from Autodepuración y Vertidos de cursos fluviales: http://www.ugr.es/~iagua/LICOM_archivos/Tema_AD2DOC.pdf

Sanchez, O., Herzig, M., Márquez, R., Zambrano, L., & Peters, E. (2007). Perspectivas sobre la conservación de ecosistemas acuáticos en México (Ilustrada ed.). (O. Sánchez, M. Herzig, P. Eduardo, R. Márquez, & L. Zambrano, Eds.) Michoacan, Mexico.

Severiche Sierrra, C., Castillo, M., & Acevedo, R. (2013). Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de parámetros Fisicoquímicos Básicos en Aguas. Cartagena de Indias, Bolivar, Colombia.

Snoeyink, V., & Jenkins, D. (2003). Química del Agua. México D.F.: Limusa.

Trujillo Santacoloma, F. J. (2004). Soluciones Acuosas: Teoría y Aplicaciones. Medellin, Colombia: Editorial Universidad de Medellin.

Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital. (2013). Portal de mapas de Bogotá. Bogotá, Colombia.

Valencia Islas, C. E. (2009). AgricolaUNAM. Retrieved 11 de Septiembre de 2015 from http://www.agricolaunam.org.mx>

Van Der Hammen, T. (1998). Plan ambiental de la cuenca alta del río Bogotá. Análisis y orientaciones para el ordenamiento territorial . Bogotá: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca .

Villarreal Morales, J. (2000). CUCUNUBA: Modelo para un desarrollo sostenible (1ª edición ed.). (U. J. Lozano, Ed.) Bogotá, Colombia.

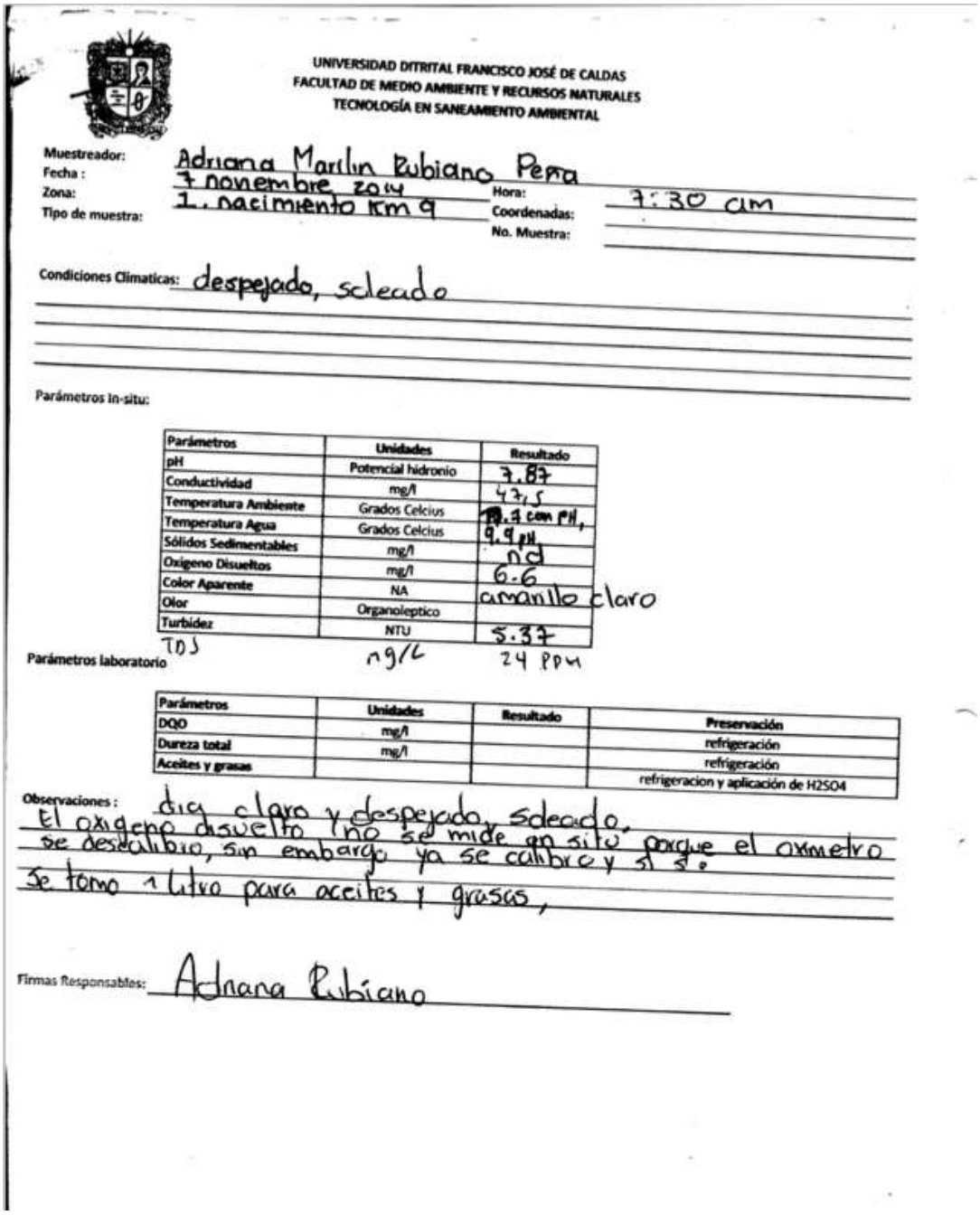
Villarrubia López, M. (2012). Ingeniería de la Energia Eólica (1ª edición ed.). Barcelona, España: Marcombo .

Zambrano Solarte, H. I. (2003). Introducción al estudio de las ciencis de la tierra (Geociencias). Neiva, huila, Colombia: Editorial Universidad Surcolombiana.

Zamora Rodríguez, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre del 2008 . Revista Pensmiento Actual , 9, 12-13.

11. ANEXOS

Anexo 1. Registros de campo de la campaña 1 realizada el 7 de noviembre de 2014.



UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Adriana Marlin Rubiano Pena
Fecha: 7 noviembre 2014 Hora: 7:30 am
Zona: 1. nacimiento km 9 Coordenadas:
Tipo de muestra: No. Muestra:

Condiciones Climaticas: despejado, soleado

Parámetros in-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	7.87
Conductividad	mg/l	47,5
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	19.1 con pH,
Temperatura Agua	Grados Celcius	9.9 pH
Sólidos Sedimentables	mg/l	nd
Oxigeno Disueltos	mg/l	6.6
Color Aparente	NA	amarillo claro
Olor	Organoleptico	
Turbidez	NTU	5.37

Parámetros laboratorio

TDS mg/L 24 PPM

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones: dia claro y despejado, soleado.
El oxigeno disuelto no se mide en situ porque el oxmetro se descalibro, sin embargo ya se calibro y si se.
Se tomo 1 litro para aceites y grasas.

Firmas Responsables: Adriana Rubiano

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Marlin. Rubiano.
Fecha : 7-Nov-2019 Hora: 8:51. am.
Zona: Viejo Acueducto. Coordenadas:
Tipo de muestra: Puntual. No. Muestra: 1.

Condiciones Climaticas: Dia despejado, ~~he~~ el lugar presenta bastante vegetación por lo tanto hay menos luz directa.

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	7,48
Conductividad	mg/l	28.8
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	
Temperatura Agua	Grados Celcius	12.8 °C
Sólidos Sedimentables	mg/l	20
Oxigeno Disueltos	mg/l	6.2
Color Aparente	NA	
Olor	Organoleptico	~~café o amarillo~~ Café amarillo claro inodoro
Turbidez	NTU	18,21
TDS	mg/L	14,4

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones : Como ~~ha~~ a llovido bastante, se nota que la fuente ~~es~~ presenta mas turbiedad, resolviendo ~~El lugar~~ e percibimos más frio en la zona, las etiqueta tienen la hora que no es. la hora de toma de muestras fue 8:51 am.

Firmas Responsables: Adriana Rubiano

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Sonia Sanchez
Fecha: 7-Nov-2014 Hora: 10:00 am.
Zona: U. Andes - Eje Ambiental. Coordenadas:
Tipo de muestra: No. Muestra: 1.

Condiciones Climaticas: Tiempo Seco, poco viento, soleado.

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	6,93.
Conductividad	mg/l	31,1
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	15.4
Temperatura Agua	Grados Celcius	13.9. ≈ *14,6.
Sólidos Sedimentables	mg/l	no
Oxigeno Disueltos	mg/l	6,3
Color Aparente	NA	Marron
Olor	Organoleptico	Metalico.
Turbidez	NTU	76,46

Parámetros laboratorio TDS 15.2 PPM.

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones: Paso mucha gente, comercio de comida, empanadas, pasa carro de Bosa?, ~~con~~ velocidad disminuye, buena luz, sin viento.
hay espuma y en el espejo de agua se aprecia una apariencia grasosa.

Firmas Responsables: Sonia Sanchez

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Sonia Sanchez
Fecha: ~~7~~ noviembre 2014 Hora: 11:10
Zona: 4. liberia ~~limit~~ unicandes Coordenadas:
Tipo de muestra: puntual No. Muestra: 1

Condiciones Climaticas: Sin lluvia, calido, en el tramo 1 del eje hay palomas. Comenzando el tramo de analisis se forma bastante espuma. presenta color amarillo claro.

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	~~8.753~~
Conductividad	mg/l	41.9
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	17.6.
Temperatura Agua	Grados Celcius	~~Hundi~~ 15.2
Sólidos Sedimentables	mg/l	N.D.
Oxigeno Disueltos	mg/l	6.5
Color Aparente	NA	amarillo claro
Olor	Organoleptico	inoloro
Turbidez	NTU	22.78

TDS: 19.8

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones: el lugar esta rodeado de tendas ambulantes, via, lo transitan bastantes personas, hay bastante movimiento, en el agua y presenta espuma. rodeado de palmas y arboles. el caudal se ve afectado porque hay más presión.

Firmas Responsables: Sonia Sanchez (1).

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Martin Rubiano
Fecha: 7-Nov-2014. Hora: 11:51.
Zona: 5. Iglesia. Aguas Coordenadas:
Tipo de muestra: No. Muestra: 1.

Condiciones Climaticas: Dia Despejado, poco viento, pero no soleado, mucho sol.

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	7,65.
Conductividad	mg/l	35,5. µs/cm.
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	16,7
Temperatura Agua	Grados Celcius	14,8.
Sólidos Sedimentables	mg/l	n d.
Oxigeno Disueltos	mg/l	7,0.
Color Aparente	NA	(apr (Lov).
Olor	Organoleptico	Inoloro.
Turbidez	NTU	44,94
TDS		17,5.

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones: Presencia de automovil por lado de la iglesia; muchas basuras baja velocidad del cuerpo de agua, espuma disminuyo.

Firmas Responsables: Adriana Rubiano

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Marilyn Rubiano
Fecha: 7 noviembre 2014 Hora: 12:37.
Zona: 6. Museo del Oro Coordenadas:
Tipo de muestra: No. Muestra: 1.

Condiciones Climaticas: Dia. Soleado, despejado, ventoso.

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	
Conductividad	mg/l	37,7
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	17,5
Temperatura Agua	Grados Celcius	17,4
Sólidos Sedimentables	mg/l	no
Oxigeno Disueltos	mg/l	8,3
Color Aparente	NA	Amarillo Transparte
Olor	Organoleptico	Inoloro.
Turbidez	NTU	20,19
TDS		18,4

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones: Transito de mucha gente y Rutas de Transmilenio, se nota mantenimiento, conductor, para, velocidad para, pocos baches de resalto y Apaentemet

Firmas Responsables: Marilyn Rubiano

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Martin Rubiano.
Fecha: 7-Nov-2019. Hora: 3:06
Zona: V. Miniskend. Coordenadas:
Tipo de muestra: No. Muestra: 1.

Condiciones Climaticas: Nublado, minutos antes un sol incleroante, alta temperatura.

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	
Conductividad	mg/l	41,8
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	20,5
Temperatura Agua	Grados Celcius	18,5
Sólidos Sedimentables	mg/l	N.D.
Oxigeno Disueltos	mg/l	6,0
Color Aparente	NA	Transparente.
Olor	Organoleptico	Inodoro
Turbidez	NTU	4,11

⇒ Pilas.

TDS 21 ppm.

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones: Se espero a q' bajara la T° para tomar muestras, poco movimiento del agua, se observo sedimentacion de poco consistencia, de transmitido presencia de animales (palomas).

Firmas Responsables: _____

Anexo 2. Registros de campo de la campaña 2 realizada el 21 de noviembre de 2014

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Sonia Sanche.
Fecha : 21-Nov-2014 Hora: 7:26
Zona: 1. Nacimiento Coordenadas:
Tipo de muestra: No. Muestra: 2. (DOS).

Condiciones Climaticas: Olo despejado, mañana fria.

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	6,96
Conductividad	mg/l	4,57
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	10,9
Temperatura Agua	Grados Celcius	10,6
Sólidos Sedimentables	mg/l	
Oxigeno Disueltos	mg/l	9,6.
Color Aparente	NA	Amarillo-Claro Transparente
Olor	Organoleptico	Tierra.
Turbidez	NTU	6.97

TDS 4D. 2,28 ppm.

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones :

Firmas Responsables:

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Marlin Rubiano
Fecha: 21-NOV-2014. Hora: 9:46
Zona: 2. Usaquén Acueducto Coordenadas:
Tipo de muestra: No. Muestra: 2

Condiciones Climaticas: Nublado, mucho frío, neblina,

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	7,04
Conductividad	mg/l	8,51
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	14,8
Temperatura Agua	Grados Celcius	12,8
Sólidos Sedimentables	mg/l	nd
Oxigeno Disueltos	mg/l	6,36 - 3
Color Aparente	NA	blanco transparente
Olor	Organoleptico	inodoro
Turbidez	NTU	23,42
TDS	ppm	4,25

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones: el caudal del rio está bastante elevado debido a las lluvias.

Firmas Responsables: Adriana Rubiano.

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Hanley Dubian
Fecha : 21-Nov-2014 Hora: 10:59
Zona: 3. Eje Ambiental, inicio Coordenadas:
Tipo de muestra: No. Muestra: 2

Condiciones Climaticas: la temperatura aumento y está el cielo con bastantes nubes.

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	8,17
Conductividad	mg/l	32.4
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	16
Temperatura Agua	Grados Celcius	12,6
Sólidos Sedimentables	mg/l	n/d
Oxigeno Disueltos	mg/l	6.0
Color Aparente	NA	amarillo transparente
Olor	Organoleptico	tierra humeda
Turbidez	NTU	26,19

TDS=16.2

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones :

Firmas Responsables:

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Sonia Sánchez
Fecha: 21-Nov-2014 Hora: 11:30
Zona: 4. Libertad Coordenadas:
Tipo de muestra: No. Muestra: 2

Condiciones Climaticas: Fria, un poco nublado, precipitación baja.

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	8,35
Conductividad	mg/l	30
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	17,3
Temperatura Agua	Grados Celcius	19,0
Sólidos Sedimentables	mg/l	
Oxigeno Disueltos	mg/l	7,3
Color Aparente	NA	Verde + Amarillo claro.
Olor	Organoleptico	Metalico + tiempo=15
Turbidez	NTU	24,39
TDS	ppm	15

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones: Transito de personas

Firmas Responsables:

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Sonia Sanchez
Fecha: 21 nov 2021 Hora: 11:55 am
Zona: 5. Iglesia de las aguas Coordenadas:
Tipo de muestra: puntual No. Muestra: 2.

Condiciones Climaticas: nublado, soleado, precipitación baja

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	8.36
Conductividad	mg/l	10.05
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	23.3
Temperatura Agua	Grados Celcius	16.8
Sólidos Sedimentables	mg/l	
Oxigeno Disueltos	mg/l	8.0 → amarillento
Color Aparente	NA	Incoloro
Olor	Organoleptico	transparente
Turbidez	NTU	24.67
TDS	ppm	5.03

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones: Flujo vehicular abundante, llovizna, poco transito personas alrededor. la velocidad del canal a disminuido, se ve más turbia.

Firmas Responsables: Sonia Sanchez.

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Sonia Sancha
Fecha: 21 NOV 2014 Hora: 7:48
Zona: 6. MUSEO del ORO Coordenadas:
Tipo de muestra: puntual No. Muestra: 2.

Condiciones Climaticas: Fria empieza a llover

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	8.94
Conductividad	mg/l	~~[illegible]~~ 30.8
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	16.5
Temperatura Agua	Grados Celcius	14.3
Sólidos Sedimentables	mg/l	
Oxigeno Disueltos	mg/l	
Color Aparente	NA	amarillo claro
Olor	Organoleptico	inodoro
Turbidez	NTU	29.24

TDS= 15.4 ppm

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones:
OD: 8.4 - 9.3 el oximetro ha presentado fallas. debio tenemos dudas con
y al dejar el electrodo queto dio = 7.6 y 7.3

Firmas Responsables: _____

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Sonia Sanchez
Fecha : 21 nov 2014 Hora: 1:50
Zona: 7. minuteros Coordenadas:
Tipo de muestra: puntual No. Muestra: 2.

Condiciones Climaticas: nublado, lloviendo intermitentemente.

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	7.53
Conductividad	mg/l	52.1
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	14.3
Temperatura Agua	Grados Celcius	15.7
Sólidos Sedimentables	mg/l	no
Oxigeno Disueltos	mg/l	5.3
Color Aparente	NA	
Olor	Organoleptico	tierra humeda TDS=25.9
Turbidez	NTU	7.22

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones : transmilenio no está transitando, poco transito de personas, mucho negocio. mucha basura., sedimentación de nuevo se re contaminaba

Firmas Responsables: Sonia Sanchez

Anexo 3. Registros de campo de la campaña 3 realizada el 5 de diciembre de 2014.

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Nanka Ribiano
Fecha : 5-Dic-2014 **Hora:** 7:02
Zona: Nacimiento **Coordenadas:**
Tipo de muestra: **No. Muestra:** 3.

Condiciones Climaticas: Día despejado, sensación térmica fría

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	7.15
Conductividad	mg/l	(A:75) 20.9
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	9.8 ←
Temperatura Agua	Grados Celcius	9.8 (10,5)
Sólidos Sedimentables	mg/l	ND
Oxigeno Disueltos	mg/l	5.7
Color Aparente	NA	Transparente
Olor	Organoleptico	Indoro.
Turbidez	NTU	3.63
TDS	ppm	10.5

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones :

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Martin Rubiano.
Fecha : 3 Nov -2019 **Hora:** 9:21
Zona: 2 Viejo Acueducto **Coordenadas:**
Tipo de muestra: **No. Muestra:** 3

Condiciones Climaticas: Calido pero nublado

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	7,37
Conductividad	mg/l	28,5
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	13,3
Temperatura Agua	Grados Celcius	11
Sólidos Sedimentables	mg/l	Nd
Oxigeno Disueltos	mg/l	6,8
Color Aparente	NA	Transparente
Olor	Organoleptico	Inodoro
Turbidez	NTU	4,21

TDS = 14.2

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones :

Firmas Responsables:

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Marilin Rubiano
Fecha : 5-Nov-2014 **Hora:** 10:30
Zona: 3. Dje Ambiental **Coordenadas:**
Tipo de muestra: **No. Muestra:** 3

Condiciones Climaticas: Dia Soleado despejado poco tranzito de personas, mucho flujo vehicular, no mantenimiento del agua, sedimentable, caluroso

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	9,12
Conductividad	mg/l	63,5
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	17,1
Temperatura Agua	Grados Celcius	15,9
Sólidos Sedimentables	mg/l	N.D.
Oxigeno Disueltos	mg/l	7,6
Color Aparente	NA	Transparente
Olor	Organoleptico	Inoloro
Turbidez	NTU	4,22
TDS.	ppm.	28,9

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Martin Rubiano
Fecha : 3-Nov-2014 **Hora:** 11.19 a.m.
Zona: 4. Tibaita Unidades **Coordenadas:**
Tipo de muestra: **No. Muestra:** 3

Condiciones Climaticas: Dia soleado sin mucho flujo de personas, algo de viento y muchos aves; sin con fuertes vientos

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	7,61
Conductividad	mg/l	37,1
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	15,5
Temperatura Agua	Grados Celcius	16
Sólidos Sedimentables	mg/l	N.D.
Oxigeno Disueltos	mg/l	7,6
Color Aparente	NA	Transparente
Olor	Organoleptico	Inodoro
Turbidez	NTU	4,81

Parámetros laboratorio TDS. ppm. 18,6.

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones : Flujo vehicular constante.

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Sonia Sánchez
Fecha : 5 nov 204 **Hora:** 11:40
Zona: S. Iglesia las aguas **Coordenadas:** —
Tipo de muestra: ~~tipo de~~ puntual **No. Muestra:** 3

Condiciones Climaticas: Soleada, calida, fresco y de vez en cuando se ve cubierta por nubes.

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	7,43
Conductividad	mg/l	47.5
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	19,4
Temperatura Agua	Grados Celcius	17-3
Sólidos Sedimentables	mg/l	nd
Oxigeno Disueltos	mg/l	7,7
Color Aparente	NA	transparente-verde
Olor	Organoleptico	tierra
Turbidez	NTU	9,86

TDS: 21,2 ppm

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones : Hay una persona haciendo un barrido de lo sedimentado presenta mucha sedimentación debido al no mantenimiento. transito vehicular fluido y pocas personas. Se nota que hay poca o nula velocidad x al parecer no hay flujo constante del agua.

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Marilyn Rubiano
Fecha : 5-Nov.-2019 **Hora:** 1:19 pm
Zona: 6. Nudo del Oso. **Coordenadas:**
Tipo de muestra: **No. Muestra:** 3

Condiciones Climaticas: ~~Llovio~~ llueve fuertemente, sensación térmica.

Parámetros in situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial de hidrogeno	8,09
Conductividad	mg/L	53,2
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	17,6
Temperatura Agua	Grados Celcius	~~8,04~~ 16.
Sólidos Sedimentables	ml/l	NO.
Oxigeno Disuelto	mg/l	7,6.
Color Aparente	N/A	Transparente.
Olor	Organoleptico	Inodoro.
Turbidez	NTU	2,81
TDS.		26,2

Parámetros laboratorio:

Parámetros	UNIDADES	Resultado	Preservación
DBO	mg/l		refrigerado
Dureza total	mg/L		refrigerado
Aceites y grasas			refrigerado y adición de H2SO4

Observaciones: Se tomaron muestras ante la lluvia y abundante flujo de personas. Después llueve fuertemente con truenos y relampagos,

hora toma muestras: 300

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Marlin Rubiano
Fecha: 5 nov 2014 Hora: 3:20
Zona: 7. ministerios Coordenadas:
Tipo de muestra: puntual No. Muestra: 3

Condiciones Climaticas: llovendo fuertemente desde hace una hora y media. constantemente. sensación termica calida. T Tibia.

Parámetros in-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	7.96
Conductividad	mg/l	59.4
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	15.5
Temperatura Agua	Grados Celcius	15.9
Sólidos Sedimentables	mg/l	ND
Oxigeno Disueltos	mg/l	6.6
Color Aparente	NA	café muy claro
Olor	Organoleptico	tierra humeda
Turbidez	NTU	4.78

Parámetros laboratorio TDS 20,7

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones: Se está esperando a que ~~escampe~~ porque llueve mucho. ~~El~~ este sector es muy transitado, está cumulando el transmilenio mucha basura

Firmas Responsables: Marlin Rubiano

Anexo 4. Registros de campo de la campaña 4 realizada el 19 de diciembre de 2014

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Monlin Rubiano
Fecha : 19-12-14. **Hora:** 17:40 am
Zona: 1- Nacimiento **Coordenadas:**
No. Muestra: 4

Condiciones Climaticas: Dia con sol despejado, poca nuboridad, temperatura fria

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	7,75
Conductividad	mg/l	4,34
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	6,6
Temperatura Agua	Grados Celcius	7,4
Sólidos Sedimentables	mg/l	NO
Oxigeno Disueltos	mg/l	5,3
Color Aparente	NA	Transparente Amarillo.
Olor	Organoleptico	Inodoro
Turbidez	NTU	5,43

TDS: 2,32

7,2 Nota, despues

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones : Caudaloso.

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Manin Rubiano
Fecha : 19-12-14 **Hora:** 10:15
Zona: 2 Riego Acueducto **Coordenadas:**
No. Muestra: 1

Condiciones Climaticas: Dia despejado, sensación térmica templada. con bastante nubosidad

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	7,43
Conductividad	mg/l	32,1
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	13,5
Temperatura Agua	Grados Celcius	11,3
Sólidos Sedimentables	mg/l	no
Oxigeno Disueltos	mg/l	5,5
Color Aparente	NA	transparente amarillo
Olor	Organoleptico	tierra humeda
Turbidez	NTU	5,23

TDS: 76.1

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones : Caudales ¡y con bastante velocidad, mucha vegetación, bastantes resaltos hidraulicos.

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Maylyn Rubiano
Fecha : 19 diciembre 2014 **Hora:** 12:00 medio dia
Zona: 3. inicio eje ambiental **Coordenadas:**
No. Muestra: 4

Condiciones Climaticas: templado, con bastante nubosidad, ~~no hay mucha gente~~

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	7.42
Conductividad	mg/l	37.1
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	13.6
Temperatura Agua	Grados Celcius	13.1
Sólidos Sedimentables	mg/l	nd
Oxigeno Disueltos	mg/l	5.3
Color Aparente	NA	transparente cafe
Olor	Organoleptico	inoloro
Turbidez	NTU	5.53

TDS = 19,2

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones : poco transito de personas, y de vehiculos a comparación de cuando hay estudiantes en los salones. ~~se~~ hay entrada de agua, muchisimo sedimento, es notorio que no hay mantenimiento

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Marilin. Rubiano
Fecha : 19-12-14.
Zona: 4. Libreria (Grandes)
Hora: 12:37.
Coordenadas:
No. Muestra: 4

Condiciones Climaticas: Dia Soleado, temperatura termica templado,

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	7,53
Conductividad	~~mg/l~~ MS/S	36,9
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	15,7
Temperatura Agua	Grados Celcius	14,3
Sólidos Sedimentables	mg/l	
Oxigeno Disueltos	mg/l	5,3
Color Aparente	NA	Transparente
Olor	Organoleptico	Inodoro
Turbidez	NTU	5,65

Parámetros laboratorio

TDS. ppm. 18,5

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones : No hay mucho movimiento, ingresa poca cantidad de agua poco flujo vehicular, pocas personas; no presencia estudiantes Andes. Sedimento, con espuma.

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Martin Rubiano.
Fecha : 19-2-14 **Hora:** 1:16 pm
Zona: 5 Iglesia de las Aguas. **Coordenadas:**
No. Muestra: 4

Condiciones Climaticas: Nublado, vientos moderados,

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	7,91
Conductividad	mg/l	39,5
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	19,6
Temperatura Agua	Grados Celcius	14,9
Sólidos Sedimentables	mg/l	
Oxigeno Disueltos	mg/l	9,6
Color Aparente	NA	inoloro
Olor	Organoleptico	Transparente
Turbidez	NTU	6,62

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones : Flujo vehicular bastante, paso del transmilenio, poco movimiento del agua, se observa sedimento.

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Hanlin Ribeiro
Fecha : 19-12-14 **Hora:** 3:05
Zona: 6 Muzo de Lon **Coordenadas:**
No. Muestra: 4

Condiciones Climaticas: Nublado, Vientos oscuro y lluvioso

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	7,54.
Conductividad	mg/l	46,5
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	15,4
Temperatura Agua	Grados Celcius	15,5.
Sólidos Sedimentables	mg/l	
Oxigeno Disueltos	mg/l	5,9.
Color Aparente	NA	Transparente - Gris
Olor	Organoleptico	Indigno.
Turbidez	NTU	5,9.
TDS	ppm	23,3.

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones : Presencia transmilenio, personal mucha, Sedimentacion, basura en el piso, alto comercio
Empezo a llover justo cuando se acabo de muestrear.
Trancito de transmilenio

UNIVERSIDAD DITRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Muestreador: Maylyn Rubiano
Fecha : 19/12/2014 **Hora:** 4:20 pm
Zona: T. ministerios **Coordenadas:**
No. Muestra: 7

Condiciones Climaticas: llovio antes esta nublado y esta el cielo con nubes. es caen gotas grandes y está lloviznando

Parámetros In-situ:

Parámetros	Unidades	Resultado
pH	Potencial hidronio	7,52
Conductividad	mg/l	57,2
Temperatura Ambiente	Grados Celcius	15.2
Temperatura Agua	Grados Celcius	16,3
Sólidos Sedimentables	mg/l	ND
Oxigeno Disueltos	mg/l	6.4
Color Aparente	NA	Cafe transparente tubico
Olor	Organoleptico	Tierra humeda
Turbidez	NTU	77,98 + del ronc y del ye

TDS: 28.6

Parámetros laboratorio

Parámetros	Unidades	Resultado	Preservación
DQO	mg/l		refrigeración
Dureza total	mg/l		refrigeración
Aceites y grasas			refrigeracion y aplicación de H2SO4

Observaciones : presencia transmilenio y mucha gente mucha basura

Anexo 5. Tabla de resultados de variables fisicoquímicas sobre la quebrada La Popala.

VARIABLES	Fecha y estaciones de muestreo							
	14 de noviembre de 2009				28 de noviembre de 2009			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
Temperatura Ambiente (°C)	24	25	25	30	26	26	25	29.5
Temperatura del Agua (°C)	24.9	24.8	20.4	28	25.3	24.8	24.9	29.9
Oxígeno Disuelto (mg /l)	6	7.2	7.3	6.3	6.7	7.2	7.6	3.9
% de Saturación de Oxigeno (%)	90.2	89.6	95.3	106.9	71.2	90.7	92.6	59.3
CO2 (mg/l)	11	4.4	4.4	--	6.6	4.4	2.2	17.6
pH (unidades de pH).	7.7	8.2	8.2	7.9	7.5	8	7.9	7.4
Alcalinidad total (mg/)	--	--	--	--	115	114.2	106	107.7
Conductividad eléctrica (µs/cm)	46	46	46	46	48	49	52	53
Turbiedad (UNT)	--	--	--	--	10.7	9.7	0.7	6.3
Ortofosfatos (mg/l)	1.7	1	1.9	--	1.27	1.23	0.68	2.85
Dureza Cálcica (mg/l)	--	--	--	--	10	10	10	10
Sólidos Totales (mg/l)	314	396	380	454	344	306	316	336
Sólidos Disueltos(mg/l)	304	348	294	274	302	252	254	314
Sólidos suspendidos (mg/l)	10	48	86	180	42	54	62	22
Nitratos(mg/l)	0.75	0.55	0.5	0.2	0.75	0.4	0.6	0.25
Nitritos (mg/l)	0.017	0.01	<0.005	0.015	0.02	0.011	0.01	0.04
Amonio(mg/l)	0.025	0.03	0.01	0.02	0.07	0.011	0.03	<0.001