



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**IDENTIFICACIÓN DE LAS POSIBLES AFECTACIONES DE  
ORIGEN ANTRÓPICO Y NATURAL, QUE PUEDAN  
INFLUENCIAR LA CALIDAD DEL AGUA DE LA  
MICROCUENCA SAN ANTONIO, ABASTECEDORA DEL  
ACUEDUCTO DEL CORREGIMIENTO EL HATILLO,  
BARBOSA, ANTIOQUIA.**

**Autor(es)**

**Roxana Bedoya Saldarriaga**

**Universidad de Antioquia**

**Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental**

**Medellín, Colombia**

**2021**



Identificación de las posibles afectaciones de origen antrópico y natural, que puedan influenciar la calidad del agua de la microcuenca San Antonio, abastecedora del acueducto del Corregimiento El Hatillo, Barbosa, Antioquia.

**Roxana Bedoya Saldarriaga**

Informe de práctica académica presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniera Sanitaria**

Asesores (a):

David Aguiar Gil, Ms. Eng.; Ingeniero Sanitario  
Ana María Ceballos Pérez; Ingeniera Ambiental

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental  
Medellín, Colombia  
2021.

## **Tabla de Contenido**

<b>Resumen</b> .....	6
<b>1 Introducción</b> .....	6
<b>2 Objetivos</b> .....	8
<b>2.1 Objetivo general</b> .....	8
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	8
<b>3 Marco teórico</b> .....	8
<b>4 Marco Normativo</b> .....	12
<b>5 Marco Metodológico</b> .....	13
<b>5.1 Descripción sitio de estudio</b> .....	13
<b>5.1.1 Ubicación</b> .....	13
<b>5.1.2 Parámetros morfométricos de la microcuenca</b> .....	13
<b>5.1.3 Clasificación y usos del suelo</b> .....	16
<b>5.1.4 Características demográficas</b> .....	17
<b>5.2 Metodología para el desarrollo de los objetivos</b> .....	18
<b>6 Resultados y Análisis</b> .....	19
<b>6.1 Identificación de problemáticas</b> .....	19
<b>6.2 Datos obtenidos de los monitoreos</b> .....	30
<b>6.3 Socialización de resultados</b> .....	43
<b>7 Conclusiones</b> .....	45
<b>8 Recomendaciones para el mejoramiento de la operación de la planta de potabilización del Acueducto Asociación de Usuarios de Acueducto y/o Alcantarillado El Hatillo.</b> .....	46
<b>9 Referencias</b> .....	48

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Peso de los parámetros que constituyen el índice de calidad de agua -ICA. ..	11
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de la calidad del Agua de acuerdo al índice ICA <sub>NSF</sub> .....	11
<b>Tabla 3.</b> Parámetros morfométricos de la microcuenca San Antonio.....	14
<b>Tabla 4.</b> Clasificación del tipo de relieve de acuerdo a la pendiente media de la cuenca. .....	14
<b>Tabla 5.</b> Índice de compacidad para la evaluación de la forma de la cuenca. ....	15
<b>Tabla 6.</b> Valores interpretativos del factor de forma Kf. ....	15
<b>Tabla 7.</b> Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los monitoreos realizados por PIRAGUA en la bocatoma de la quebrada San Antonio. ....	30
<b>Tabla 8.</b> Resultado de Índice de Calidad de Agua ICA <sub>NSF</sub> para la quebrada San Antonio. .....	31
<b>Tabla 9.</b> Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los monitoreos realizados en el punto 003 de la red de acueducto por la Seccional de Salud de Antioquia.....	32
<b>Tabla 10.</b> Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los monitoreos realizados en el punto 002 de la red de acueducto por la seccional de salud de Antioquia.....	32
<b>Tabla 11.</b> Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los monitoreos realizados en el punto 004 de la red de acueducto por la seccional de salud de Antioquia.....	33
<b>Tabla 12.</b> Resultado índice IRCA en los puntos de monitoreo de la red de acueducto. .....	33

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Mapa de la ubicación microcuenca San Antonio. <b>Fuente:</b> Elaboración propia. .....	13
<b>Figura 2.</b> Mapa Orden de la microcuenca San Antonio. <b>Fuente:</b> Elaboración propia. .	16
<b>Figura 3.</b> Metodología empleada para el desarrollo de objetivos.....	18
<b>Figura 4.</b> Tren de tratamiento de la planta de potabilización del Acueducto Asociación de Usuarios de Acueducto y/o Alcantarillado El Hatillo.....	29
<b>Figura 5.</b> Tren de tratamiento sugerido para la planta de potabilización del Acueducto Asociación de Usuarios de Acueducto y/o Alcantarillado El Hatillo. ....	29

## Lista de fotos

<b>Foto 1.</b> Cultivos de cebolla y tomate de árbol alrededor de la reserva ecológica del Acueducto Asociación de Usuarios de Acueducto y/o Alcantarillado El Hatillo.....	19
<b>Foto 2.</b> Cultivos de cebolla y tomate de árbol alrededor de la reserva ecológica del Acueducto Asociación de Usuarios de Acueducto y/o Alcantarillado El Hatillo. ....	20
<b>Foto 3.</b> Reserva ecológica del Acueducto Asociación de Usuarios de Acueducto y/o Alcantarillado El Hatillo. ....	21

<b>Foto 4.</b> Bocatoma Acueducto Asociación de Usuarios de Acueducto y/o Alcantarillado El Hatillo. ....	22
<b>Foto 5.</b> Bocatoma Acueducto Asociación de Usuarios de Acueducto y/o Alcantarillado El Hatillo en época invernal. ....	22
<b>Foto 6.</b> Tanque de entrada. ....	23
<b>Foto 7.</b> Vertedero triangular y zona de dosificación de coagulante. ....	23
<b>Foto 8.</b> Desarenador. ....	24
<b>Foto 9.</b> Floculador hidráulico de flujo horizontal. ....	24
<b>Foto 10.</b> Estanque de peces empleado como bioalarma, foto tomada en época de lluvias. ....	25
<b>Foto 11.</b> Prefiltros con material filtrante grueso. ....	26
<b>Foto 12.</b> Sedimentador con paneles tipo colmena. ....	26
<b>Foto 13.</b> Filtros rápidos convencionales de flujo descendente ....	27
<b>Foto 14.</b> Bodega de químicos. ....	27
<b>Foto 15.</b> Tanque de almacenamiento número 1. ....	28
<b>Foto 16.</b> Tanque de almacenamiento número 2. ....	28
<b>Foto 17.</b> Tanque de almacenamiento número 3. ....	29
<b>Foto 18.</b> Invitación para el taller de socialización de los resultados obtenidos.....	44
<b>Foto 19.</b> Evidencia socialización de resultados obtenidos. ....	44

## Lista de gráficos

<b>Gráfico 1.</b> Valores de pH medidos en el punto 002 de la red de acueducto.....	34
<b>Gráfico 2.</b> Valores de pH medidos en el punto 003 de la red de acueducto.....	35
<b>Gráfico 3.</b> Valores de turbiedad medidos en el punto 002 de la red de acueducto. ....	35
<b>Gráfico 4.</b> Valores de turbiedad medidos en el punto 003 de la red de acueducto. ....	36
<b>Gráfico 5.</b> Valores de color aparente medidos en el punto 002 de la red de acueducto. ....	36
<b>Gráfico 6.</b> Valores de color aparente medidos en el punto 003 de la red de acueducto. ....	37
<b>Gráfico 7.</b> Valores de aluminio medidos en el punto 002 de la red de acueducto.....	38
<b>Gráfico 8.</b> Valores de aluminio medidos en el punto 003 de la red de acueducto.....	38
<b>Gráfico 9.</b> Valores de mesófilos medidos en el punto 002 de la red de acueducto.....	39
<b>Gráfico 10.</b> Valores de mesófilos medidos en el punto 003 de la red de acueducto. ...	39
<b>Gráfico 11.</b> Valores de coliformes totales medidos en el punto 002 de la red de acueducto.....	40
<b>Gráfico 12.</b> Valores de coliformes totales medidos en el punto 003 de la red de acueducto.....	40
<b>Gráfico 13.</b> Valores de coliformes fecales medidos en el punto 002 de la red de acueducto.....	41
<b>Gráfico 14.</b> Valores de coliformes fecales medidos en el punto 003 de la red de acueducto.....	41
<b>Gráfico 15.</b> Valores de cloro residual en el punto 002 de la red de acueducto.....	42
<b>Gráfico 16.</b> Valores de cloro residual en el punto 003 de la red de acueducto.....	43

## **Resumen**

Conocer qué factores pueden intervenir en el deterioro de la calidad del agua es fundamental para tomar acciones que permitan mejorar sus condiciones, procurando no sólo conservar la calidad, sino también la cantidad y la continuidad, buscando la sostenibilidad del recurso para sustentar los medios de vida y el bienestar. La microcuenca San Antonio está ubicada en el corregimiento El Hatillo del Municipio de Barbosa, Antioquia y hace parte de las 325 fuentes abastecedoras que monitorea el Programa Integral Red Agua – PIRAGUA de Corantioquia, ejecutado en convenio por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia. En el presente informe de práctica social, se pretende identificar cuáles son las posibles causas que pueden incidir en el deterioro de la calidad del agua de esta microcuenca y poder realizar una socialización con el grupo de piragüeritos de la Institución Educativa Rural El Hatillo, quienes son gestores del agua en el territorio y velan por el cuidado del agua, entendiendo que la sostenibilidad del recurso es un trabajo articulado con la comunidad.

En este proyecto se observó que los factores naturales que pueden incidir en la calidad del agua son los procesos erosivos por la morfología del terreno, con respecto a factores antropogénicos se encontraron elementos como la expansión agrícola sobre zonas de conservación en cercanías a la reserva ecológica donde nace la quebrada San Antonio, actividades de deforestación, quemas y asentamientos humanos. De acuerdo a los análisis de laboratorio realizados al agua cruda y potable, los parámetros de calidad que se pudieron observar más comprometidos son: la turbiedad, el color y la presencia de microorganismos. Estos en ocasiones no pueden ser removidos en su totalidad, por lo que se identificaron oportunidades de mejora en los aspectos técnicos del tren de tratamiento empleado para potabilizar el agua.

## **1 Introducción**

El agua representa un recurso vital, es el núcleo del desarrollo socioeconómico y un derecho para la supervivencia humana, su conservación y gestión son fundamentales, pues la cantidad, disponibilidad y calidad son limitadas y pueden verse afectadas por las constantes presiones antropogénicas que se ejercen sobre este recurso. Por esto es importante y necesario conocer los posibles riesgos que deterioren el entorno que soportan las fuentes hídricas, pues cuando el recurso en una comunidad se ve amenazado aumentan los riesgos económicos, sociales y ambientales (UNESCO, 2019).

Las amenazas sobre el recurso hídrico pueden definirse como las acciones, elementos o sustancias presentes en el agua que perturben sus características físicas químicas y microbiológicas poniendo en riesgo la salud humana e incluso comprometiendo el abastecimiento del recurso hacia las poblaciones (Ministerio de Salud y Protección Social, Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2017), los orígenes de estas amenazas pueden ser naturales, antropogénicas o socionaturales (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019), un ejemplo de las amenazas naturales son los deslizamientos de tierra que pueden causar afectaciones a los sistemas y abastecimiento, alterar parámetros físicos del agua como el color, la turbidez, el olor y aumento de sedimentos, en cuanto a las amenazas antrópicas se encuentran los vertimientos de aguas residuales o industriales que dejan como consecuencia contaminación de las fuentes hídricas debido al consumo de oxígeno disuelto por la presencia de materia orgánica, la eutrofización causada por el aporte de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno y la presencia de agentes patógenos, y como ejemplificación de la amenaza socionatural está la deforestación, que altera el ciclo hidrológico. Todo esto limita así la calidad, cantidad y disponibilidad de agua para el consumo humano.

Ante estas problemáticas y entendiendo que la sostenibilidad del recurso es un trabajo articulado con la comunidad es como el Programa Integral Red Agua – PIRAGUA, la red de monitoreo del recurso hídrico más grande del país, ha permitido conocer la calidad de agua durante 10 años aproximadamente, y durante este año, de 325 fuentes de agua que sirven de aprovisionamiento para las comunidades en los 80 municipios que hacen parte de la jurisdicción de Corantioquia (CORANTIOQUIA, s.f.). En esta red son fundamentales los piragüeros, personas de las comunidades comprometidas con el cuidado de este preciado recurso, quienes son los gestores del agua en el territorio, los cuáles velan por el cuidado y la protección del recurso, de manera que se educa a la comunidad entorno a la gestión integral del agua.

Con el ánimo de informar y participar a la comunidad ante posibles factores que alteren la calidad del agua de la fuente que los abastece y que así se puedan establecer estrategias adecuadas y creativas respecto a la gestión del agua y buscar la sostenibilidad del recurso para sustentar los medios de vida y el bienestar, se pretende evaluar los procesos físicos que dan origen a la calidad del agua de la microcuenca de la quebrada San Antonio, que surte el acueducto veredal del corregimiento El Hatillo, perteneciente al municipio de Barbosa, Antioquia.

## 2 Objetivos

### 2.1 Objetivo general

Identificar cuáles son las posibles afectaciones de origen antrópico y natural, que puedan influenciar la calidad del agua de la microcuenca San Antonio, abastecedora del acueducto del corregimiento El Hatillo del Municipio de Barbosa, Antioquia.

### 2.2 Objetivos específicos

- Realizar un análisis de la información histórica de calidad de agua (físicoquímica y microbiológica) de la microcuenca San Antonio, monitoreada por el programa PIRAGUA de Corantioquia.
- Identificar in situ los posibles procesos antrópicos, físicos y naturales que puedan tener una influencia sobre la calidad del agua de la microcuenca San Antonio.
- Desarrollar un proceso de socialización de los resultados obtenidos con el grupo piragüero de la Institución Educativa Rural El Hatillo, con el fin de brindar herramientas para la toma de decisiones y buscar la sostenibilidad del recurso.

## 3 Marco teórico

Las microcuencas o las cuencas son unidades fisiográfica incluidas en una subzona hidrográfica o su nivel subsiguiente, con un área de drenaje menor a 500 km<sup>2</sup> (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2012). Al igual que la cuenca son territorios delimitados por una línea divisoria de aguas, cuya característica principal es la acumulación de las aguas que precipitan en esa área, que forman una red hidrográfica y confluyen en afluentes de mayor tamaño, como ríos, mares, depósitos naturales o pantanos. Estas unidades que captan y drenan de forma natural el agua sirven como fuente de abastecimiento a poblaciones, permitiendo así la interacción de factores sociales, económicos y ecológicos, indiciendo sobre la disponibilidad de los recursos. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

Las microcuencas pueden verse afectadas o transformadas por la presión que puedan ejercer las comunidades sobre el recurso hídrico, pues las microcuencas a parte de ser un área de drenaje son también territorio de asentamiento de poblaciones, las cuales generan una demanda sobre los recursos naturales, para su funcionamiento vital y su desarrollo socioeconómico (García Charria, 2006). Como resultado de este desarrollo socioeconómico, producto de los factores demográficos, pueden aparecer amenazas y riesgos que comprometen la calidad del agua.

La calidad de agua según el decreto 1575 de 2007, se define como la evaluación o el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas con lo establecido en la normatividad. El agua es empleada en diversas y múltiples actividades, por lo que cada una de estas requerirá una calidad de agua particular, si se habla de agua para consumo humano, esta sería una de las usos del agua más exigente en cuanto a términos de calidad se refiere, pues tiene una incidencia directa sobre la salud pública por la posibilidad de transmisión de enfermedades vehiculizadas por el agua, en efecto la salud humana no depende sólo de la cantidad de agua suministrada sino de la calidad que esta posea (Cirelli, 2012).

Las amenazas que ponen en peligro la calidad del agua mencionadas anteriormente, pueden ser procesos de origen natural como los movimientos de tierra, la meteorización de roca, sequías, inundaciones, entre otros, o de origen antrópico, como el uso indiscriminado de agroquímicos, vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales, deforestación y demás, limitando su disponibilidad, afectando su calidad de forma parcial o total y generando así un posible riesgo sanitario, el cual se refiere a la posibilidad de transportar sustancias contaminantes que comprometan la calidad del agua y que puedan poner en peligro la salud (Torres , Hernán Cruz, & Patiño, 2009). El riesgo sanitario aumenta con el detrimento de las fuentes hídrica y consigo acrece la complejidad del tratamiento para la mejora de la calidad del agua. Además del riesgo sanitario, es importante mencionar el riesgo por desabastecimiento de agua para consumo humano, para actividades económicas y para la preservación y conservación de ecosistemas, dado que este impacta directa y negativamente a las comunidades (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Al ser la microcuenca un espacio donde habitan poblaciones que se benefician de los servicios ecosistémicos asociados al agua que esta provee, es necesario procurar por una gestión integral del recurso hídrico que involucre a todos los actores implicados, que permita un desarrollo sostenible, esto puede lograrse por medio de la gobernanza del agua, este concepto puede entenderse como una acción conjunta que implica la inserción y participación de diversos sectores en beneficio del cuidado y preservación de este recurso haciendo efectiva la implementación de políticas hídricas y la inclusión de múltiples saberes (Global Water Partnership, 2002).

En búsqueda de la consolidación y el fortalecimiento de la gobernabilidad del agua para una adecuada gestión integral del recurso hídrico en el territorio antioqueño surge el Programa Integral Red Agua – PIRAGUA, el cual es programa socio ambiental, enfocado en la gestión integral del recurso hídrico, que desde el año 2011 pretende ha creado una cultura de información en las comunidades y en las empresas a través de redes

sociales de monitoreo para la protección y conservación del recurso hídrico. Esta red ha crecido en el tiempo hasta consolidarse como la red de monitoreo del recurso hídrico más grande del país, contando con más de tres mil piragueros y haciendo presencia en los 80 municipios que forman parte de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Antioquia – CORANTIOQUIA-. Desde el programa se realiza medición, análisis, interpretación y espacialización de los datos de lluvia capturados en los pluviómetros (pluviógrafos), aforo de la cantidad de agua en cuencas que prestan un servicio ambiental para la comunidad, monitoreo de la calidad fisicoquímica, microbiológica e hidrobiológica de las corrientes de agua, agua y gestión comunitaria del riesgo (CORANTIOQUIA, s.f.).

Gracias a los monitoreos realizados por el programa durante 10 años aproximadamente, se ha podido conocer por medio de indicadores el estado de fuentes abastecedoras de comunidades pertenecientes a 80 municipios que pertenecen a la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Antioquia – CORANTIOQUIA, dado que estos monitoreos ayudan a la caracterización, pues permiten conocer la cantidad y la calidad del agua y así poder verificar si las condiciones cumplen con lo requerido para determinados usos, además, contribuyen a la toma de decisiones y a la gestión del recurso, ya que ayudan a evaluar los efectos de las medidas que se requieren en beneficio de la calidad del agua (Oficina del Asesor en Cumplimiento/Ombudsman - CAO, 2008).

Uno de los índices empleados por el programa que permite reflejar el grado de calidad de las fuentes hídricas es el Índice de Calidad de Agua NSF– ICA. Este fue desarrollado en 1970 por la Fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos -NSF- (Universidad de Pamplona, 2008). Es un número que permite clasificar la calidad del agua de forma descriptiva, mediante la integración de la medición de determinados parámetros, permitiendo la simplificación de la información y una fácil interpretación de los datos (Torres , Hernán Cruz, & Patiño, 2009). Se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$ICA = \sum_{i=1}^9 W_i \times Q_i$$

**Ecuación 1.** Cálculo del Índice de Calidad de Agua.

Donde  $W_i$  denota el factor de ponderación de la variable  $i$  respecto a las restantes variables que conforman el índice, y  $Q_i$  corresponde al factor de escala de la misma. Este último valor se calcula con base en gráficos determinados para cada variable que posibilitan que todas las variables estén en una misma escala antes de ser agregadas en

un sólo valor y depende de la magnitud del parámetro. En la determinación de este índice intervienen 9 parámetros y cada uno de ellos tiene un peso de importancia como se muestra a continuación (Jiménez & Vélez, 2006):

**Tabla 1.** Peso de los parámetros que constituyen el índice de calidad de agua -ICA.

Parámetro	Factor de ponderación $W_i$
Oxígeno disuelto	0,17
Coliformes fecales	0,15
pH	0,12
DBO <sub>5</sub>	0,10
Nitratos	0,10
Fosfatos	0,10
Cambio de temperatura	0,10
Turbiedad	0,08
Sólidos totales	0,08

**Fuente:** Análisis comparativo de indicadores de calidad de agua superficial (Jiménez & Vélez, 2006).

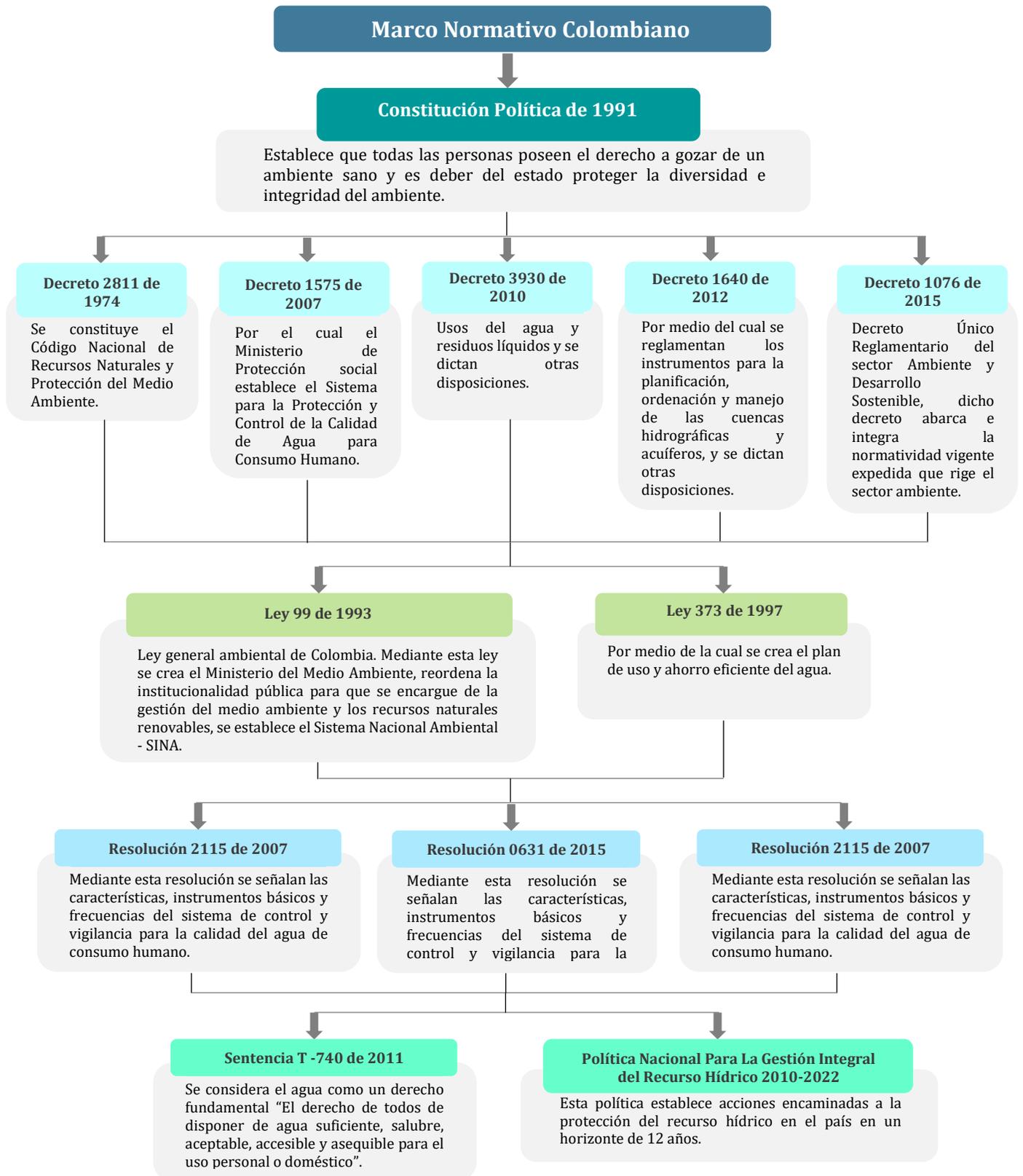
Posterior al cálculo del índice, el cual varía entre 0 y 100 dependiendo del grado de contaminación, se puede clasificar la calidad del agua por medio de la siguiente tabla:

**Tabla 2.** Clasificación de la calidad del Agua de acuerdo al índice  $ICA_{NSF}$

Valor del índice	Clasificación	Color
0 - 25	Calidad muy mala	Rojo
26 -50	Calidad mala	Naranja
51 - 70	Calidad media	Amarillo
71 - 90	Calidad Buena	Verde
91 - 100	Calidad Excelente	Azul

**Fuente:** Análisis comparativo de indicadores de calidad de agua superficial (Jiménez & Vélez, 2006).

## 4 Marco Normativo

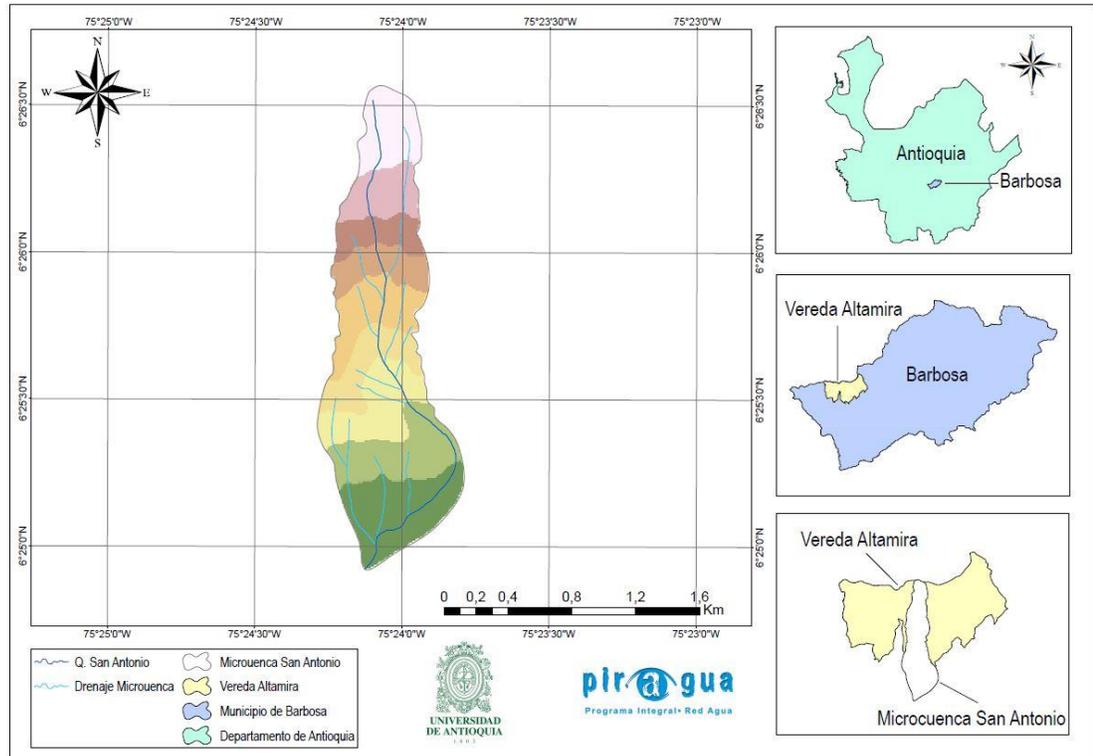


## 5 Marco Metodológico

### 5.1 Descripción sitio de estudio

#### 5.1.1 Ubicación

La vereda Altamira hace parte de las 57 veredas del municipio de Barbosa, Antioquia, está ubicada al sur occidente del municipio y cuenta con una extensión de 6,48 km<sup>2</sup>. Allí en el sector las peñas aflora la quebrada San Antonio, a una altura de 2.428 msnm, con latitud 6°26'34" y longitud 75°24'05". La quebrada cuenta con una longitud aproximada de 3,44 Km y abastece el acueducto veredal del Corregimiento El Hatillo, perteneciente el municipio de Barbosa, Antioquia.



**Figura 1.** Mapa de la ubicación microcuenca San Antonio. **Fuente:** Elaboración propia.

#### 5.1.2 Parámetros morfométricos de la microcuenca

La tabla que se presenta a continuación contiene los valores de los parámetros morfométricos calculados para la microcuenca San Antonio.

**Tabla 3.** Parámetros morfométricos de la microcuenca San Antonio.

<b>Parámetros morfométricos</b>	
Área (Km <sup>2</sup> )	1,61
Perímetro (Km)	7,00
Longitud (Km)	3,54
Ancho (Km)	0,45
Longitud del cauce (Km)	3,44
Pendiente media de la cuenca (%)	48,31
Pendiente media del cauce (%)	30,50
Altura promedio (m)	1795,89
Altura mínima (m)	2400
Altura máxima (m)	1350
Índice de compacidad - Kc	1,56
Factor de forma - Kf	0,13
Índice de alargamiento	7,80

**Fuente:** Elaboración propia.

Dado que la magnitud de la extensión del área de la microcuenca no es amplia, podría aducirse que el tiempo de viaje entre el punto de aforo y la cabecera es corto y por tanto los caudales pico pueden ser impetuosos en caso de precipitaciones fuertes.

La pendiente media de la cuenca hace referencia a un relieve muy fuertemente accidentado, por lo que la escorrentía superficial podría ser de gran intensidad, dado que estas altas pendientes implican condiciones de torrencialidad y problemas de erosión, dejando como consecuencia alto desplazamiento de sedimentos hacia la parte baja de la cuenca por la alta capacidad de arrastre que puede presentarse.

**Tabla 4.** Clasificación del tipo de relieve de acuerdo a la pendiente media de la cuenca.

<b>Pendiente media (%)</b>	<b>Tipo de relieve</b>
0 - 3	Plano
3 - 7	Suave
7 - 12	Medianamente accidentado
12 - 20	Accidentado

Pendiente media (%)	Tipo de relieve
20 - 35	Fuertemente accidentado
35 - 50	Muy fuertemente accidentado
50 - 75	Escarpado
>75	Muy escarpado

**Fuente:** Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca del Río La Vieja (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2017)

El índice de compacidad o índice de Gravelius -  $K_c$  - permite describir geométricamente la cuenca y se relaciona de manera directa con el tiempo de concentración del sistema hidrológico (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2017) , según el resultado obtenido la cuenca presenta una forma oval oblonga a rectangular oblonga, lo que indica que la cuenca es más larga que ancha. El valor obtenido para el factor de forma  $K_f$  y el índice de alargamiento también obedecen a una forma de cuenca alargada.

**Tabla 5.** Índice de compacidad para la evaluación de la forma de la cuenca.

Rango	Descripción
1 - 1,25	Forma casi redonda a oval - redonda
1,25 - 1,5	Forma oval - oblonga
>1,5	Forma oval - oblonga a rectangular - oblonga

**Fuente:** Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca del Río La Vieja (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2017).

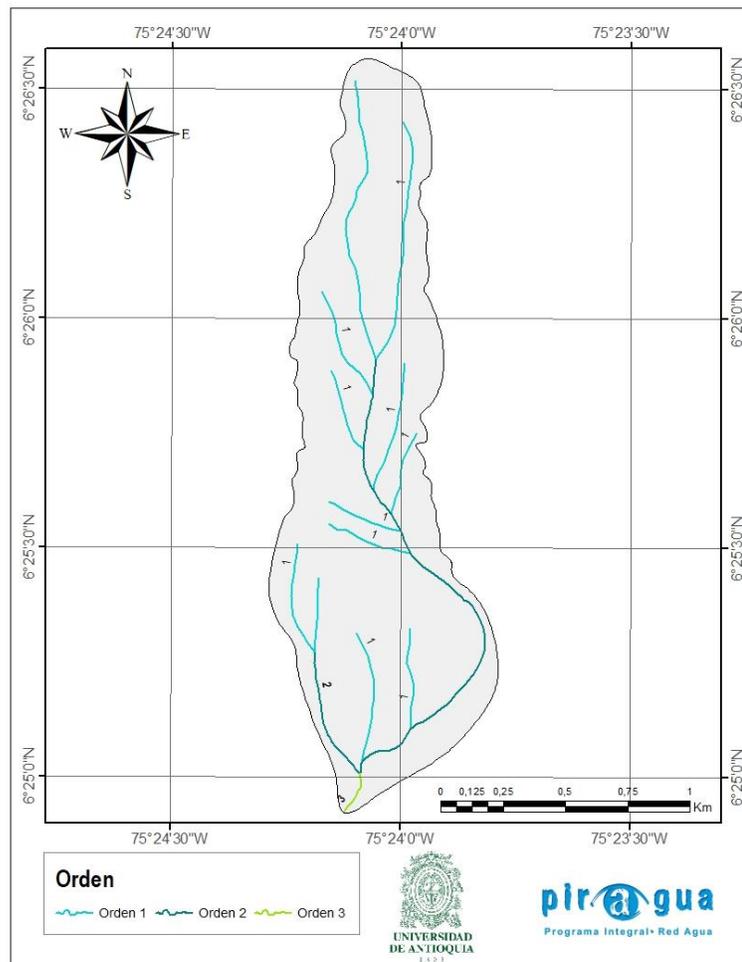
**Tabla 6.** Valores interpretativos del factor de forma  $K_f$ .

Valores aproximados	Forma de la cuenca
<0,22	Muy alargada
0,22 - 0,30	Alargada
0,30 - 0,37	Ligeramente alargada
0,37 - 0,45	Ni alargada ni ensanchada
0,45 - 0,60	Ligeramente ensanchada
0,60 - 0,80	Ensanchada
0,80 - 1,20	Muy ensanchada
>1,20	Rodeando el desague

**Fuente:** Actualización POMCA Río Garagoa (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2017).

El mapa que se presenta a continuación corresponde al orden de la microcuenca San Antonio, el cual corresponde a un orden tres, que se puede categorizar como

orden medio. Este orden indica la forma como estan conectados los canales o segmentos de la red de drenaje, reflejando así el nivel de bifurcación, por lo esta estrechamente relacionado la respuesta hidrológica de la cuenca, pues mientras mayor sea el orden de la cuenca, aumentará la posibilidad de erosión en ella y mientras menor sea el orden habrá mayor peligro de inundaciones súbitas (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2017).



**Figura 2.** Mapa Orden de la microcuenca San Antonio. **Fuente:** Elaboración propia.

### 5.1.3 Clasificación y usos del suelo

El municipio de Barbosa posee un área rural de 203 km<sup>2</sup>, convirtiéndolo en el municipio con mayor disponibilidad de terreno para cultivar dentro del área metropolitana. De 10.776 predios rurales que posee el municipio, 6.422 son para uso agropecuario, lo que potencia a veredas como Altamira, como un sector potencial para desarrollar actividades de servicios agrarios (Concejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2012). Cultivos como el tomate de árbol y la cebolla son predominantes en la zona, siendo este último

el que más resalta, pues hoy Barbosa es el mayor productor de Antioquia de este producto agrícola (Municipio de Barbosa, Antioquia, s.f.).

Los usos del suelo permitidos en esta zona rural según el Plan Básico de Ordenamiento Territorial son:

- Forestal protector
- Agropecuario

Debido a la morfología de la zona, caracterizada por pendientes altas y medias y una presencia moderada de procesos erosivos, la vereda a la que pertenece la microcuenca San Antonio, presenta una amenaza categorizada como media alta por movimientos en masa (Concejo Barbosa, Antioquia, 2015).

#### **5.1.4 Características demográficas**

El tercer censo nacional agropecuario dentro de sus resultados presenta que en la vereda Altamira hay alrededor de 30 viviendas y 83 personas, y según el último censo realizado por el personal técnico del Acueducto Asociación de Usuarios de Acueducto y/o Alcantarillado El Hatillo son 600 suscriptores los que se benefician de la fuente hídrica San Antonio (Orozco, 2021).

## 5.2 Metodología para el desarrollo de los objetivos



**Figura 3.** Metodología empleada para el desarrollo de objetivos.

## 6 Resultados y Análisis

### 6.1 Identificación de problemáticas

Para la identificación de los posibles procesos antrópicos, físicos y naturales que pueden incidir en la calidad del agua de la microcuenca San Antonio se realizaron dos visitas, la primera de ellas se llevó a cabo en la reserva ecológica perteneciente al Acueducto El Hatillo, donde aflora la quebrada San Antonio. Durante el recorrido predominó el avistamiento de cultivos de gran extensión de productos agrícolas como la cebolla y el tomate de árbol en predios cercanos a la reserva y en las laderas alrededor de la quebrada.



**Foto 1.** Cultivos de cebolla y tomate de árbol alrededor de la reserva ecológica del Acueducto Asociación de Usuarios de Acueducto y/o Alcantarillado El Hatillo. **Nota:** Fuente propia.



**Foto 2.** Cultivos de cebolla y tomate de árbol alrededor de la reserva ecológica del Acueducto Asociación de Usuarios de Acueducto y/o Alcantarillado El Hatillo. **Nota:** Fuente propia.

Esta situación representa una posible afectación a la calidad del agua de la fuente, pues al ser una cuenca intervenida de pendiente fuerte, con cantidad de terreno cultivado y al no contar con un suelo que posea buena cobertura vegetal; cuando se presentan lluvias incluso de baja intensidad, es posible que haya aumento de turbiedad, de color, de sólidos suspendidos y posible riesgo por presencia de agroquímicos y pesticidas en la fuente por procesos de escorrentía.

Al ingresar a la reserva se realizó una inspección a los nacimientos que dan lugar a la formación de la quebrada, allí se observaron reducciones de caudal en dichos afloramientos, el personal técnico del acueducto que acompañó la visita manifestó que dicha situación se presentó posterior a actividades antrópicas realizadas en los terrenos alrededor de la reserva, como la deforestación para la incursión de ganado y la quema de predios como técnica alterna de poda de terrenos. Estas actividades no sólo pueden incidir en afectaciones al recurso hídrico en calidad sino también en cantidad.



**Foto 3.** Reserva ecológica del Acueducto Asociación de Usuarios de Acueducto y/o Alcantarillado El Hatillo. **Nota:** Fuente propia.

Adicionalmente, alrededor de la fuente hídrica, aguas abajo de la reserva se han presentado construcciones (viviendas y vías terciarias) que han afectado y comprometido la continuidad del servicio del acueducto por lapsos de tiempo de hasta un mes, dado que la erosión del terreno ha producido muchos sedimentos y la planta ha tenido que suspender la provisión del servicio. Además, en la zona hay viviendas que realizan la descarga directa de sus aguas residuales domésticas a la microcuenca y sólo algunas cuentan con pozo séptico propiciando la presencia de microorganismos patógenos.

Durante la segunda salida de campo se visitó la bocatoma y la planta de tratamiento de agua potable PTAP del acueducto El Hatillo, si bien este informe pretende encontrar posibles factores tanto antrópicos como naturales que incidan en la calidad de agua de la fuente, con el fin de velar por la calidad de vida de los habitantes que se abastecen de este recurso, es importante también analizar el estado de la planta de potabilización y qué aspectos técnicos pueden comprometer la calidad de agua que se le brinda a la población, puesto que si no se cuentan con la capacidad o los procesos adecuados dentro de la planta, no se estarían resolviendo los posibles problemas incidentes aguas arriba.

En la bocatoma se observó acumulación de material vegetal y arena debido a las precipitaciones que se habían presentado en días anteriores, situación por la cual recurrentemente debe cerrarse la planta mientras se adelantan labores de limpieza, dado que estas condiciones dificultan el proceso de potabilización. Inclusive el proceso de limpieza a la bocatoma debe realizarse dos veces al día por la gran cantidad de material que es arrastrado.

Las imágenes a continuación dan cuenta del estado en que se encuentra la bocatoma en épocas de invierno.



**Foto 4.** Bocatoma Acueducto Asociación de Usuarios de Acueducto y/o Alcantarillado El Hatillo. **Nota:** Fuente propia.



**Foto 5.** Bocatoma Acueducto Asociación de Usuarios de Acueducto y/o Alcantarillado El Hatillo en época invernal. **Nota:** Fuente propia.

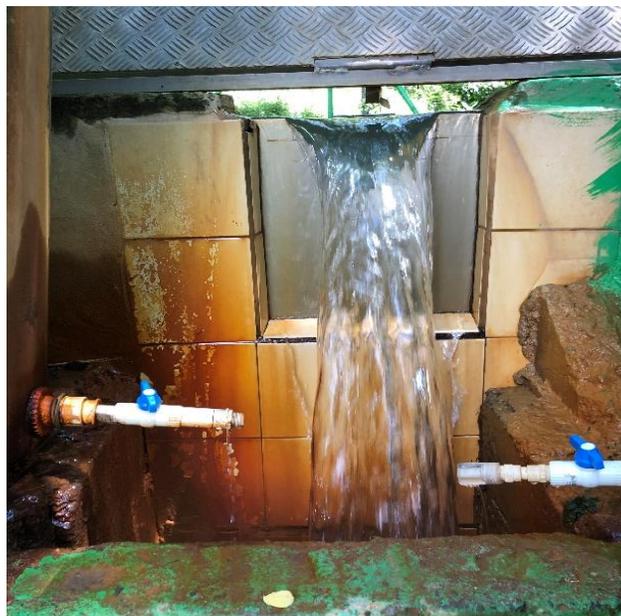
En la visita a la planta de tratamiento de agua potable se hizo una inspección que permitió obtener un registro de las condiciones actuales de la planta, las unidades que la componen, su configuración y su estado.

La planta es de tipo convencional con algunas modificaciones en su operación como la inclusión de un prefiltro, su caudal de tratamiento de 7,158 L/s. Cuenta con un tanque de entrada, el cual cumple la función de un desarenador, ya que allí queda retenido gran parte del material que es arrastrado por el agua. Cuando el agua

alcanza cierto nivel en el tanque de entrada, atraviesa un vertedero triangular y cae a un compartimiento donde se realiza la dosificación de coagulante. Actualmente se está dosificando sulfato de aluminio tipo B líquido como coagulante y un polímero como floculante y se observa que el método de dosificación puede presentar problemas, dado que se realiza por gravedad mediante un tanque con una válvula que sale de la parte inferior, a medida que el nivel de coagulante cambie en el tanque y se deje la llave en el mismo punto, la dosis también puede ir disminuyendo.



**Foto 6.** Tanque de entrada. **Nota:** Fuente propia.



**Foto 7.** Vertedero triangular y zona de dosificación de coagulante. **Nota:** Fuente propia.

Posteriormente se encuentra el desarenador, dicha unidad está ubicada de esta manera, dado que no se cuenta con el espacio suficiente para su correcta instalación, pues debería instalarse previo al tanque de entrada. Luego se cuenta con un floculador hidráulico de flujo horizontal, en esta estructura se observa el deterioro en el que se encuentran las placas deflectoras, lo que afecta la formación de flóculos y la remoción de estos en las etapas siguientes: sedimentación y filtración.



**Foto 8.** Desarenador. **Nota:** Fuente propia.



**Foto 9.** Floculador hidráulico de flujo horizontal. **Nota:** Fuente propia.

Contiguo a las unidades de desarenador y floculador se cuenta con estanque de peces empleado como bioalarma, es importante mencionar que en este estanque no se lleva un inventario continuo de peces, hay una gran cantidad de individuos pequeños que dificultan realizar un control apropiado para poder determinar toxicidad por la posible presencia de pesticidas aguas arriba.



**Foto 10.** Estanque de peces empleado como bioalarma, foto tomada en época de lluvias. **Nota:** Fuente propia.

Siguiente a la unidad de floculación se cuenta con un prefiltro de flujo ascendente, el cual contiene como material filtrante piedras de gran tamaño, y debería estar ubicado antes de la coagulación para el óptimo funcionamiento del sistema de tratamiento. Luego se encuentra el sedimentador convencional, compuesto por paneles plásticos, tipo colmena, y después se cuenta con dos filtros con lecho compuesto por antracita y arena, la filtración se realiza de manera descendente. Durante el día de la visita se estaba realizando la incorporación de carbón activado como nueva capa de los filtros, esto no se considera pertinente en el filtro rápido dado que es un material liviano y puede ser arrastrado durante el lavado, además, el carbón activado se usa para remover sustancias disueltas y gases; por lo tanto, debe ir después de la clarificación del agua (filtración convencional).



**Foto 11.** Prefiltros con material filtrante grueso. **Nota:** Fuente propia.



**Foto 12.** Sedimentador con paneles tipo colmena. **Nota:** Fuente propia.



**Foto 13.** Filtros rápidos convencionales de flujo descendente **Nota:** Fuente propia.

Finalmente, se cuenta con una caseta que es empleada como bodega de sustancias químicas y como sitio de cloración empleando hipoclorito de sodio y se cuenta con tres tanques de almacenamiento, cada uno con capacidad de 80 m<sup>3</sup> para el tanque número uno, 107 m<sup>3</sup> para el tanque número dos y 50 m<sup>3</sup> para el tanque número tres.



**Foto 14.** Bodega de químicos. **Nota:** Fuente propia.



**Foto 15.** Tanque de almacenamiento número 1. **Nota:** Fuente propia.

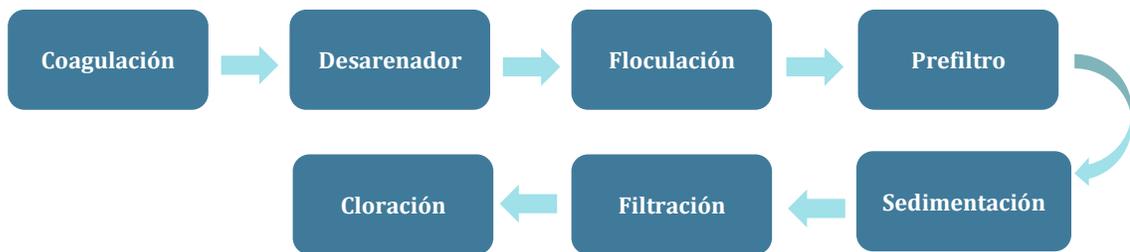


**Foto 16.** Tanque de almacenamiento número 2. **Nota:** Fuente propia.

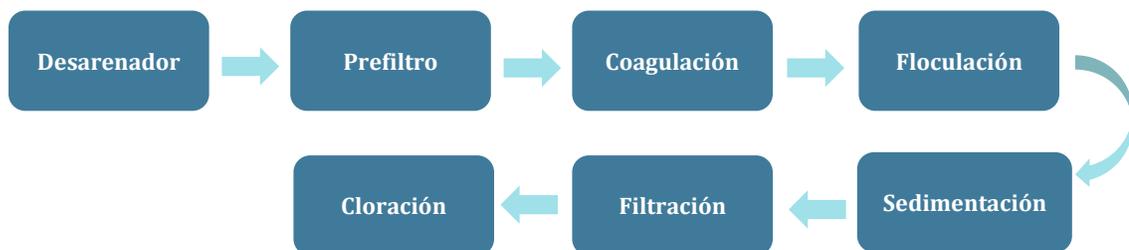


**Foto 17.** Tanque de almacenamiento número 3. **Nota:** Fuente propia.

En la figura 2 se observa la configuración del sistema de tratamiento y se observa que la distribución de las unidades no es la más adecuada, además las imágenes muestran el deterioro en que se encuentran dichas unidades, todo esto dificulta un proceso de potabilización eficiente, lo que podría representar un riesgo en términos de tratamiento del agua ya que como se observa en la figura 3 la correcta disposición de las unidades sería esta.



**Figura 4.** Tren de tratamiento de la planta de potabilización del Acueducto Asociación de Usuarios de Acueducto y/o Alcantarillado El Hatillo.



**Figura 5.** Tren de tratamiento sugerido para la planta de potabilización del Acueducto Asociación de Usuarios de Acueducto y/o Alcantarillado El Hatillo.

## 6.2 Datos obtenidos de los monitoreos

En la tabla No. 7, se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos de los cinco monitoreos realizados por el programa PIRAGUA en la bocatoma de la quebrada San Antonio, abastecedora del acueducto del corregimiento El Hatillo del Municipio de Barbosa, Antioquia.

**Tabla 7.** Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los monitoreos realizados por PIRAGUA en la bocatoma de la quebrada San Antonio.

Parámetro	Unidades	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4	Monitoreo 5
		1/10/2018	10/06/2019	09/09/2019	4/11/2020	13/02/2021
Conductividad eléctrica	[ $\mu\text{s}/\text{cm}$ ]	100,2	107,3	113,8	106,6	94,8
pH	[Unidades de pH]	7,82	6,98	8,13	7,96	7,98
Oxígeno Disuelto	[mg/L]	7,48	7,81	7,02	7,56	7,69
Saturación de Oxígeno	[%]	100,2	102	92,5	96,6	98,4
Temperatura Ambiente	[° C]	23	21,8	25,8	25,1	23,3
Temperatura del Agua	[° C]	20,2	19,1	19,2	18,3	17,5
Alcalinidad Total	[mgCaCO <sub>3</sub> /L]	40,9	43,1	68,3	41,1	42,2
Cloruros	[mg Cl <sup>-</sup> /L]	<5	<5	<5	<5	13,7
Coliformes Totales	[NMP/100mL]	19863	26030	18596	19863	12360
Color Verdadero	[UPC]	40	10	5	20	10
DBO <sub>5</sub> Total	[mg/L O <sub>2</sub> ]	<2	<2	<2	<2	<2
DQO Total	[mg/L O <sub>2</sub> ]	18	<12	<12	<10	<12
Dureza Total	[mgCaCO <sub>3</sub> /L]	39	32,1	38	39,9	34,6
Coliformes Fecales – Escherichia coli	[NMP/100mL]	331	200	174	160	410
Fosfatos como Ortofosfatos	[mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L]	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Fósforo Total	[mg P/L]	<0,02	0,23	<0,05	<0,05	<0,05
Nitratos como Nitrógeno	[mgNO <sub>3</sub> -N/L]	<1,1	1,34	<1,1	1,17	<1,1
Nitritos Como Nitrógeno	[mgNO <sub>2</sub> -N/L]	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03

Parámetro	Unidades	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4	Monitoreo 5
		1/10/2018	10/06/2019	09/09/2019	4/11/2020	13/02/2021
Nitrógeno Total Kjeldahl	[mg N/L]	<5	<5	<5	<5	<5
Sólidos Suspendidos Totales	[mg/L]	19	8	<7	<7	<7
Sólidos Totales	[mg/L]	146	94	147	110	108
Sulfatos	[mgSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L]	<5	<5	<5	<5	5,56
Turbiedad	[NTU]	18,8	9,68	2,69	4,79	5,33

**Fuente:** Base de datos histórica de resultados del programa PIRAGUA.

La siguiente tabla refleja los resultados del cálculo del Índice de Contaminación del Agua ICA<sub>NSF</sub> para cada monitoreo realizado a la fuente hídrica.

**Tabla 8.** Resultado de Índice de Calidad de Agua ICA<sub>NSF</sub> para la quebrada San Antonio.

Sitio de muestreo	Fecha	Valor ICA	Clasificación ICA
Bocatoma Quebrada San Antonio	1/10/2018	74,88	Buena
Bocatoma Quebrada San Antonio	10/06/2019	77,23	Buena
Bocatoma Quebrada San Antonio	09/09/2019	77,03	Buena
Bocatoma Quebrada San Antonio	4/11/2020	77,57	Buena
Bocatoma Quebrada San Antonio	13/02/2021	76,05	Buena

**Fuente:** Base de datos histórica de resultados del programa PIRAGUA.

Se observa que según el índice de calidad de agua el cuerpo de agua no presenta un grado de contaminación significativo, por el contrario, arroja datos que dan cuenta de la buena calidad del agua.

Si bien los resultados obtenidos reflejan un buen estado del cuerpo de agua, en los datos de la tabla 7 se observa que variables como la turbiedad, el color y las coliformes tanto fecales como totales necesitan de un tratamiento eficiente para removerlos, una planta de potabilización con un tren de tratamiento convencional podría realizarlo, pero como se evidenció anteriormente, la configuración, ubicación y estado en que se encuentran las unidades de la planta podrían dificultar la eficiencia del proceso, por esto se ve la necesidad de recurrir a otras bases de datos como la seccional de salud y el Acueducto para verificar estos parámetros en el agua tratada. Es importante aclarar que, aunque los

monitoreos en la bocatoma y en los puntos de la red no corresponden a la misma fecha, se trató de buscar datos que correspondieran al mismo periodo de tiempo, desde el 2018 hasta la fecha.

A continuación, se presentan datos de análisis fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos por la seccional de salud en diferentes puntos de muestreo de la red.

**Tabla 9.** Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los monitoreos realizados en el punto 003 de la red de acueducto por la Seccional de Salud de Antioquia.

Parámetro	Unidades	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4
		27/02/2019 Punto 003	11/06/2019 Punto 003	09/09/2019 Punto 003	4/11/2020 Punto 003
pH	[Unidades de pH]	7	8	7,7	7,5
Turbiedad	[NTU]	1,85	6,05	1,24	1,92
Cloro Residual Libre	[mg Cl-/L]	3,4	0,8	1	0,4
Temperatura del Agua	[° C]	ND	ND	22,4	24
Coliformes Totales	Presencia-Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Coliformes Fecales – Escherichia coli	Presencia-Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

**Fuente:** Base de datos Seccional de Salud de Antioquia.

**Tabla 10.** Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los monitoreos realizados en el punto 002 de la red de acueducto por la seccional de salud de Antioquia.

Parámetro	Unidades	Monitoreo 1	Monitoreo 2
		14/05/2020 Punto 002	8/09/2021 Punto 002
pH	[Unidades de pH]	7,7	7,5
Turbiedad	[NTU]	1,82	3,7
Cloro Residual Libre	[mg Cl-/L]	0,5	0,2
Temperatura del Agua	[° C]	21,7	21
Coliformes Totales	Presencia-Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>	Ausencia	Ausencia

Parámetro	Unidades	Monitoreo 1	Monitoreo 2
		14/05/2020	8/09/2021
		Punto 002	Punto 002
Coliformes Fecales – Escherichia coli	Presencia-Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>	Ausencia	Ausencia

**Fuente:** Base de datos Seccional de Salud de Antioquia.

**Tabla 11.** Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los monitoreos realizados en el punto 004 de la red de acueducto por la seccional de salud de Antioquia.

Parámetro	Unidades	Monitoreo 1
		27/02/2019
		Punto 004
pH	[Unidades de pH]	7,9
Turbiedad	[NTU]	17,2
Cloro Residual Libre	[mg Cl <sup>-</sup> /L]	1
Temperatura del Agua	[° C]	25,9
Coliformes Totales	Presencia-Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>	Ausencia
Coliformes Fecales – Escherichia coli	Presencia-Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>	Ausencia

**Fuente:** Base de datos Seccional de Salud de Antioquia.

**Tabla 12.** Resultado índice IRCA en los puntos de monitoreo de la red de acueducto.

Sitio de muestreo	Fecha	Valor IRCA	Riesgo	Temporada
Punto de red 003	27/02/2019	20,98 %	Medio	Lluvias
Punto de red 003	11/06/2019	20,98 %	Medio	Seca
Punto de red 003	16/01/2020	0 %	Sin riesgo	Seca
Punto de red 003	16/02/2021	0 %	Sin riesgo	Seca
Punto de red 002	14/05/2020	0	Sin riesgo	Seca
Punto de red 002	08/09/2021	53,1%	Alto	Lluvia
Punto de red 004	27/07/2020	41,96	Alto	Luvia

**Fuente:** Base de datos Seccional de Salud de Antioquia.

Los niveles de riesgo alto se presentaron en épocas de lluvia, esto se ve favorecido por las condiciones de erosión del terreno y la fuerte pendiente que

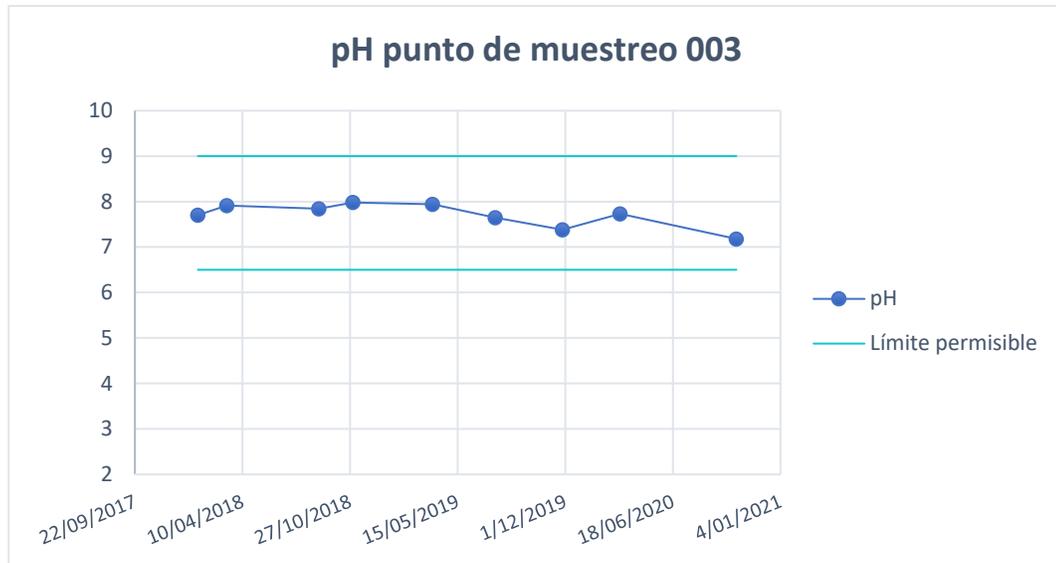
posee la cuenca, lo que posibilita una gran capacidad de arrastre de material. Esto se corrobora con los niveles de turbiedad medidos.

De los resultados de los análisis solicitados por el acueducto al laboratorio Acuazul, se escogieron variables claves de tratamiento como pH, turbiedad, color, microorganismos, aluminio y cloro residuales, dado que estos son parámetros que se modifican en la planta y los que más fluctuación presentan según los datos reportados por el laboratorio. Adicionalmente, se escogieron los puntos 002 y 003, dado que poseen mayor cantidad de datos.

El potencial de hidrógeno (pH) permite determinar la magnitud de acidez o alcalinidad que posee el agua, su valor oscila entre 0 y 14 unidades de pH y según la resolución 2115 de 2007, el valor de este parámetro para consumo humano debe estar comprendido entre 6,5 y 9,0. Como se observa en las gráficas de los puntos de muestreo 002 y 003 que se presentan a continuación, este parámetro se mantuvo en el rango permitido por la normatividad en los puntos de muestreo de la red por parte del laboratorio Acuazul. Procesos como la coagulación no estarían afectando este parámetro puesto que no se ve alterado y dentro de la planta no se realiza corrección de pH.

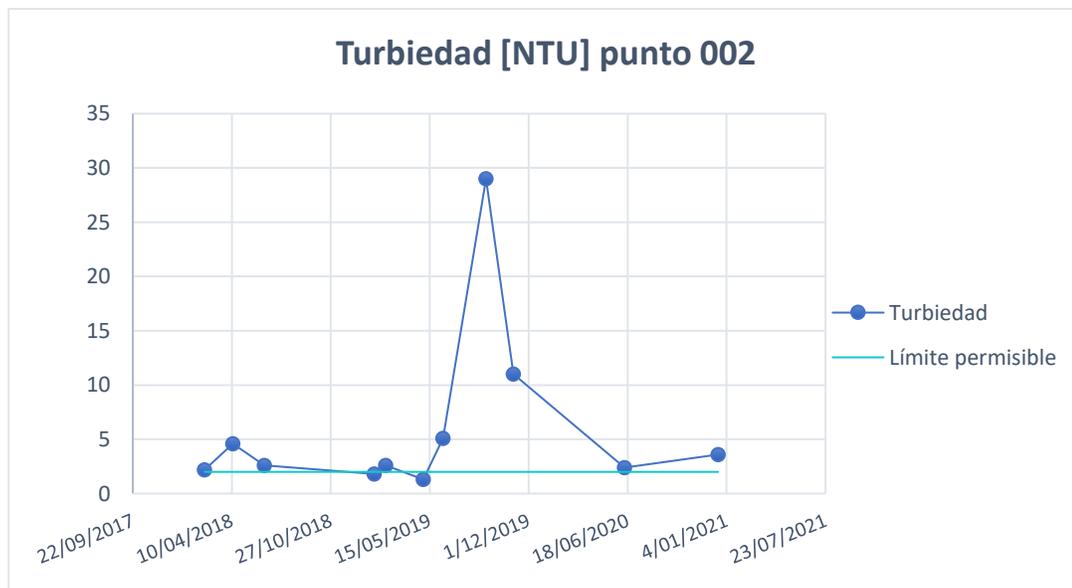


**Gráfico 1.** Valores de pH medidos en el punto 002 de la red de acueducto.

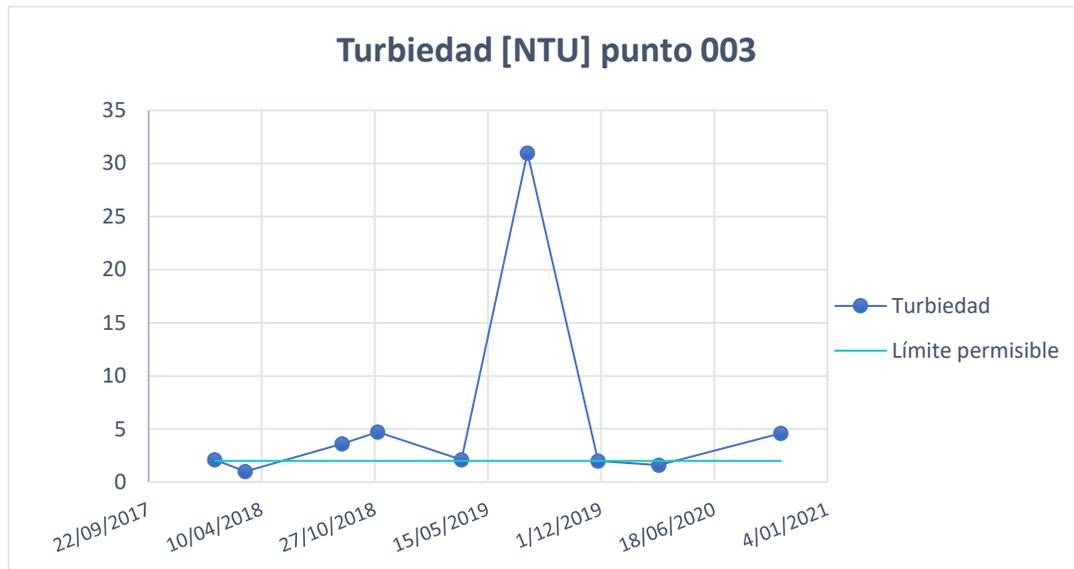


**Gráfico 2.** Valores de pH medidos en el punto 003 de la red de acueducto.

El parámetro de turbiedad hace referencia al grado de transparencia que puede perder el agua por la presencia de partículas en suspensión o en estado coloidal. La resolución 2115 establece un límite máximo permisible de 2 NTU. En los puntos de muestreo la mayoría del tiempo se excedió dicho límite, por lo que podría aducirse que el sistema de potabilización no cuenta con la capacidad instalada o no está operado adecuadamente para tratar niveles de turbidez tan altos y así poder cumplir con los valores límites establecidos. Las condiciones morfológicas de la cuenca y meteorológicas condicionan en gran medida este parámetro.

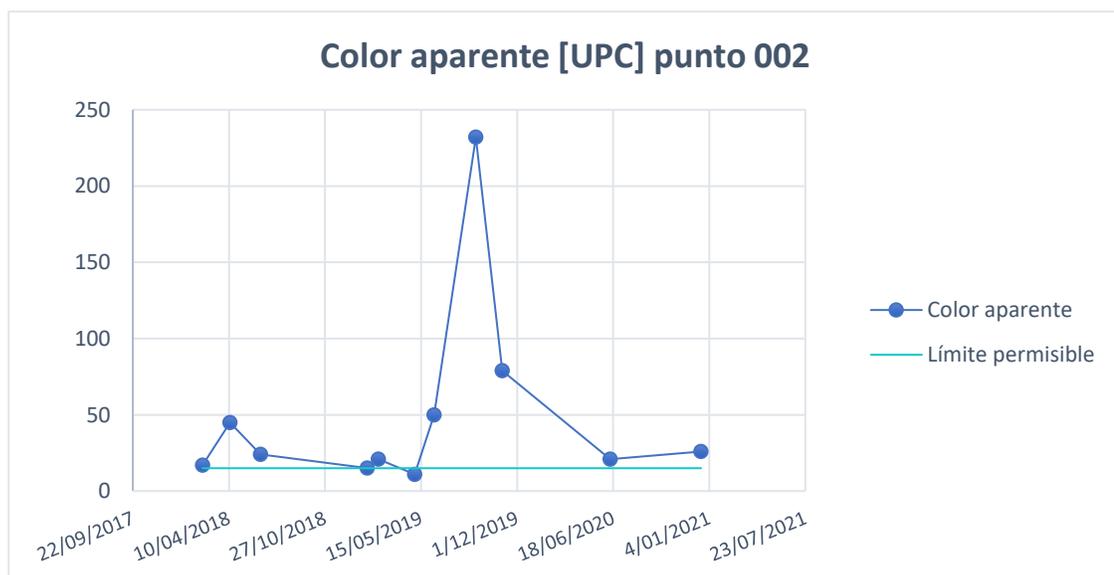


**Gráfico 3.** Valores de turbiedad medidos en el punto 002 de la red de acueducto.

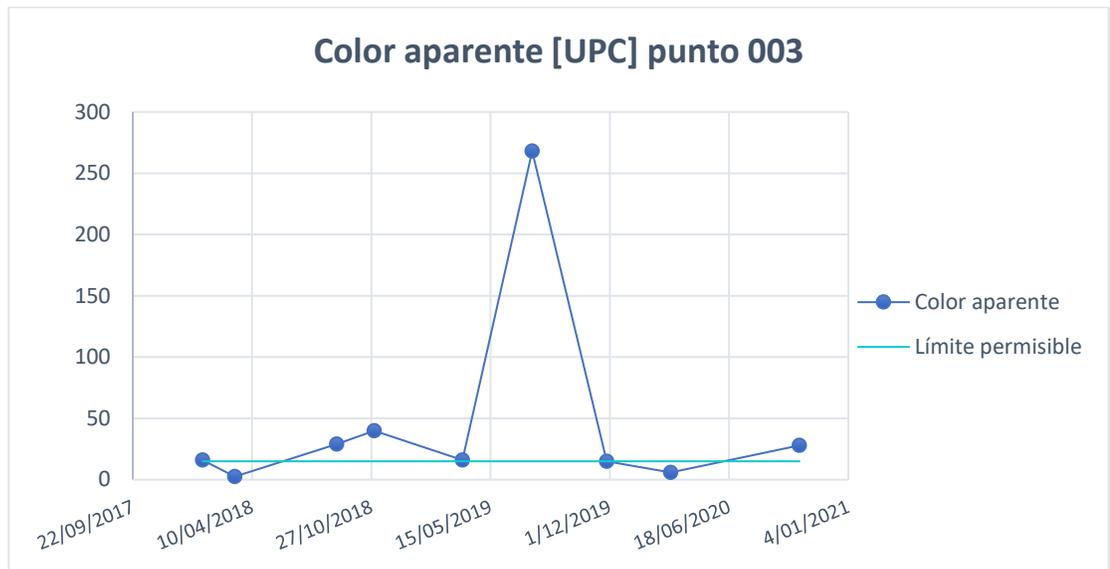


**Gráfico 4.** Valores de turbiedad medidos en el punto 003 de la red de acueducto.

El color también es un parámetro que presentó altas fluctuaciones y en la mayoría de los monitoreos se encontró por encima del límite permisible de 15 UPC establecido por la resolución 2115 de 2007. Este parámetro aumenta la desconfianza del consumidor por la posible presencia de material indeseable en el agua. El color en el agua hace referencia a la presencia de diversas sustancias tanto orgánicas como inorgánicas, iones metálicos, humus, restos vegetales, etc. Al igual que la turbiedad, este parámetro está condicionado a las épocas de invierno, pues es allí donde más material puede ser arrastrado al agua y ocasionar aumento en el color en magnitudes tan amplias que el proceso de potabilización no pueda realizar adecuadamente su remoción y se presenten incumplimientos en lo establecido por la normatividad.

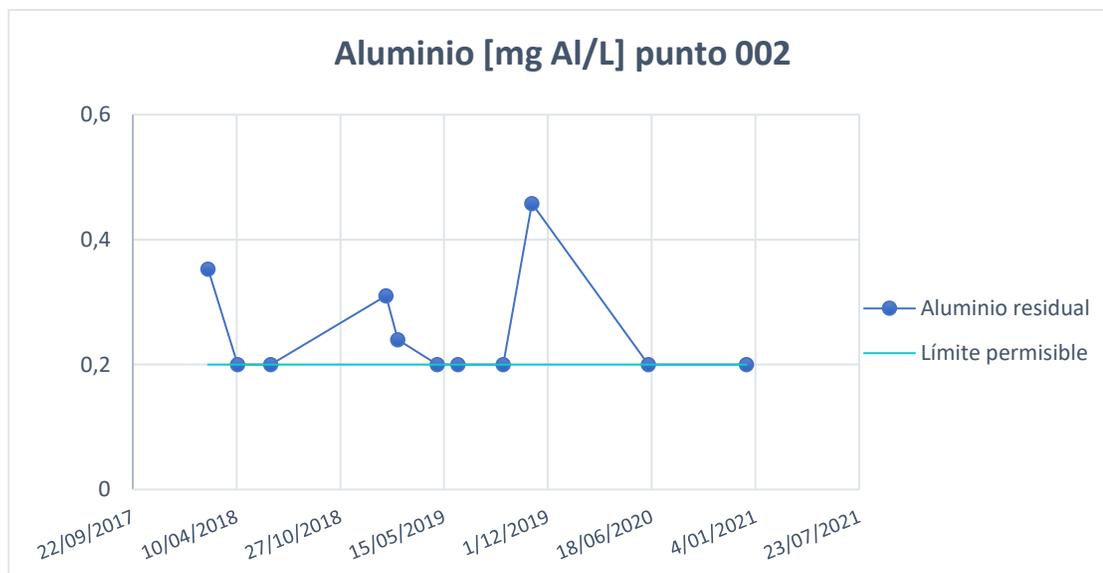


**Gráfico 5.** Valores de color aparente medidos en el punto 002 de la red de acueducto.



**Gráfico 6.** Valores de color aparente medidos en el punto 003 de la red de acueducto.

El agua puede poseer de forma natural compuestos como el aluminio, pero el mayor contenido de aluminio presente en el agua potable puede resultar de los procesos de coagulación y floculación, dado que los químicos que se emplean para estos procesos son a base de este compuesto, gracias a su capacidad de acondicionar sólidos suspendidos, coloidales y disueltos para su posterior procesamiento por floculación o para crear las condiciones que permiten su remoción. Según la resolución 2115 de 2007 el valor máximo aceptable de este compuesto en agua para consumo humano es de 0,3 mg/L. En los datos obtenidos del monitoreo tanto en el punto 002 como en el 003, alrededor de la mitad de los valores de aluminio superaron el nivel permitido. Este parámetro es importante que se mantenga dentro de los rangos establecidos dado que es un compuesto que está estrechamente relacionado con enfermedades neurológicas, lo que podría estar representando un riesgo para la comunidad.

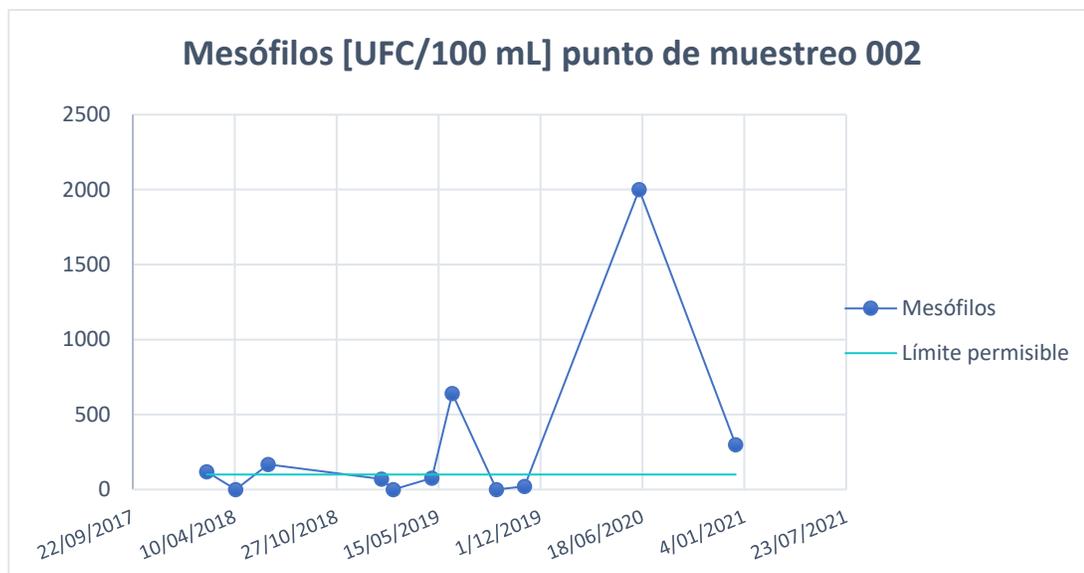


**Gráfico 7.** Valores de aluminio medidos en el punto 002 de la red de acueducto.

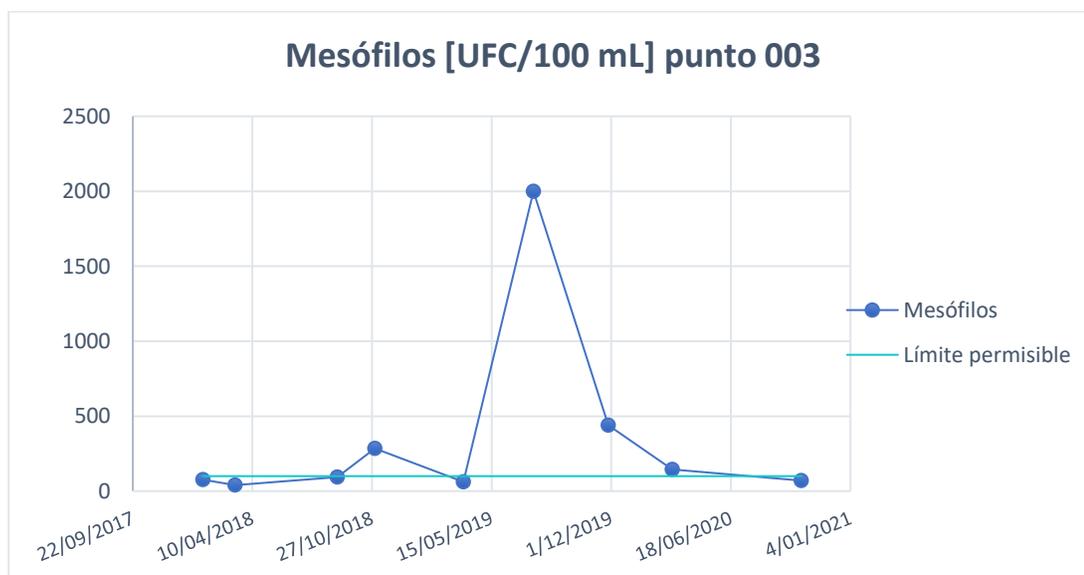


**Gráfico 8.** Valores de aluminio medidos en el punto 003 de la red de acueducto.

Las dos gráficas que se presentan a continuación muestran que los organismos mesófilos en ambos puntos de monitoreo han alcanzado valores superiores a 2000 UFC en 100 cm<sup>3</sup>, por lo tanto, el proceso de cloración no está siendo efectivo para su eliminación, pues según la resolución 2115, su valor máximo aceptable es de 100 UFC en 100 cm<sup>3</sup>. Estos valores tan elevados de bacterias mesófilas en la red de distribución representan un peligro para la salud de la población que la consume.

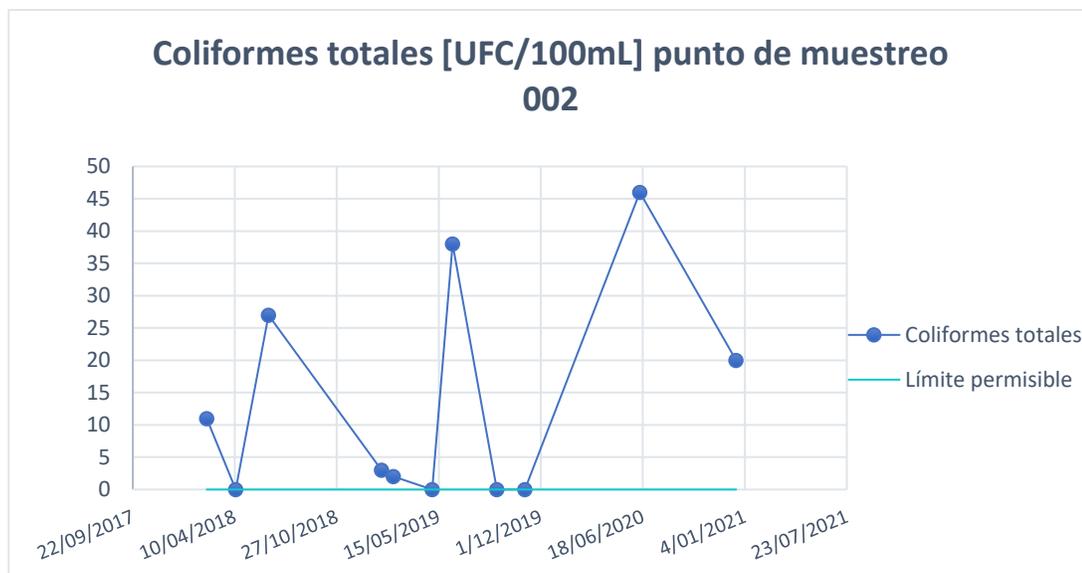


**Gráfico 9.** Valores de mesófilos medidos en el punto 002 de la red de acueducto.

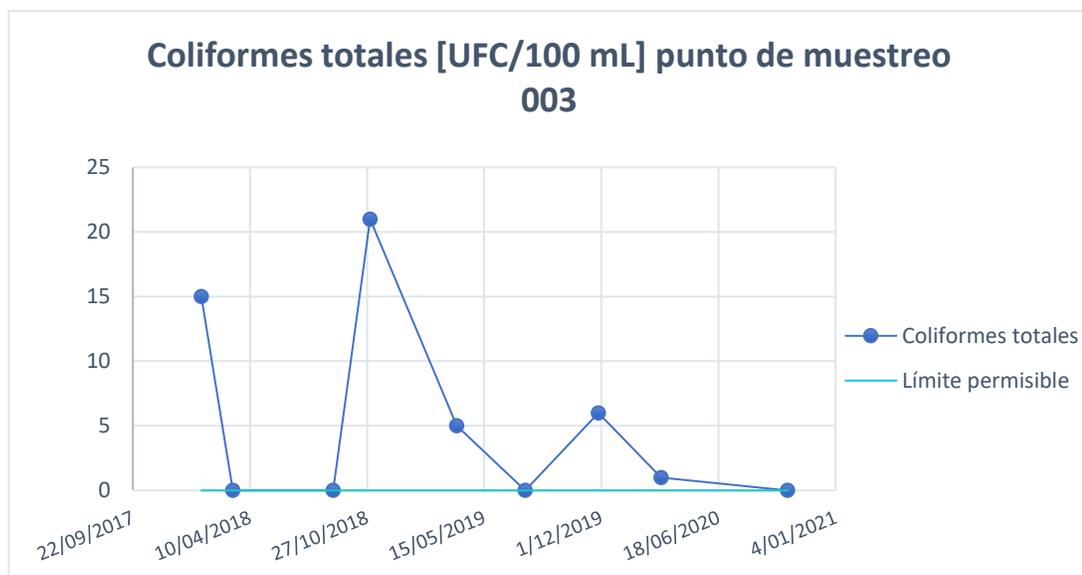


**Gráfico 10.** Valores de mesófilos medidos en el punto 003 de la red de acueducto.

Al igual que los mesófilos, los coliformes totales también son organismos indicadores de la calidad microbiológica en el agua, su presencia en el agua puede dar indicios de posible aparición de E. coli en el agua. Según la resolución 2115 de 2007 el límite establecido para estos microorganismos es de 0 UFC/100 cm<sup>3</sup>. Se observa que ha sobrepasado los límites establecidos por la normatividad, siendo más repetitivo en el punto de muestreo 002.



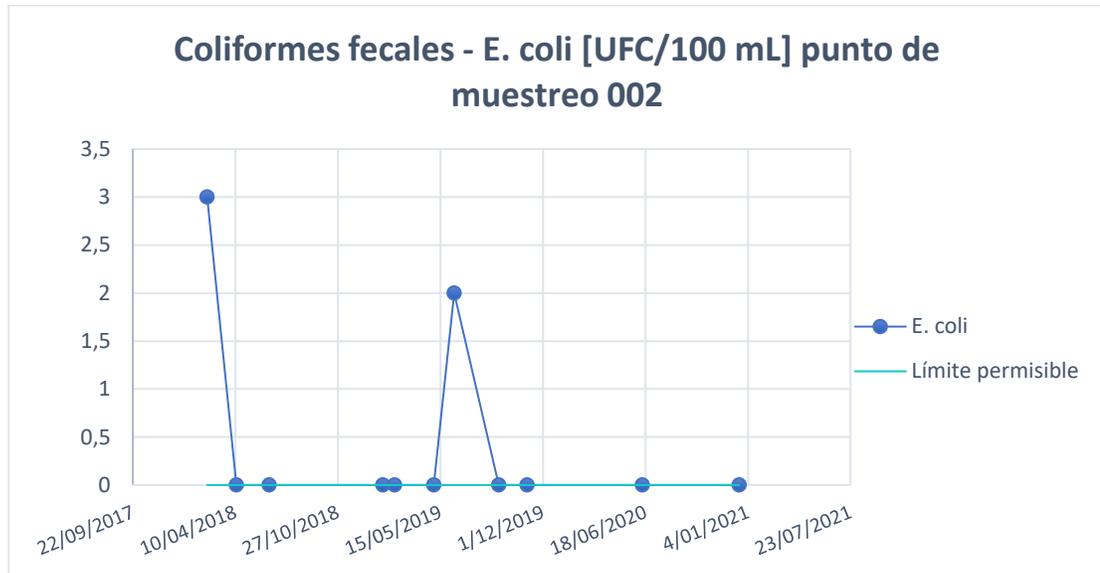
**Gráfico 11.** Valores de coliformes totales medidos en el punto 002 de la red de acueducto.



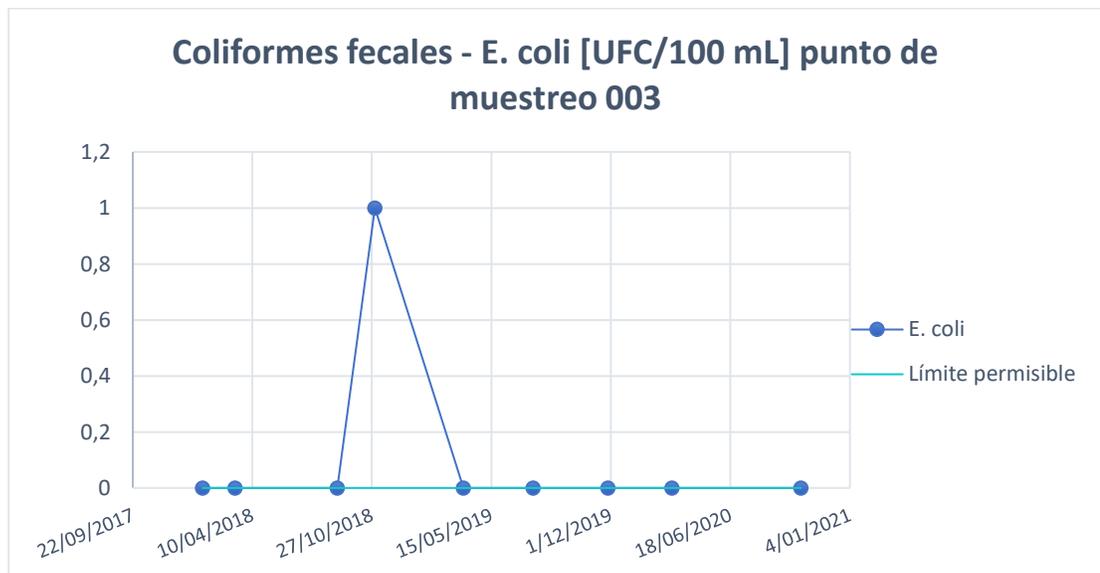
**Gráfico 12.** Valores de coliformes totales medidos en el punto 003 de la red de acueducto.

La presencia de esta bacteria en el agua da señas de contaminación por materia fecal, dado que ella se encuentra en el tracto intestinal tanto de los humanos como de animales de sangre caliente, esto puede deberse a que el agua proviene de una cuenca intervenida con viviendas alrededor y posible pastoreo de ganado. La presencia de este microorganismo en el agua representa un riesgo microbiológico. Dado que los monitoreos se realizan de una forma esporádica o aleatoria, si este organismo aparece es porque en varios días puede presentarse la presencia de esta bacteria en el agua tratada.

La resolución 2115 de 2007 establece que el valor máximo permisible de este microorganismo es de 0 UFC/100 cm<sup>3</sup>, esta rigurosidad se debe a que este es un organismo patógeno que puede causar efectos adversos a la salud como gastroenteritis, diarreas, entre otros.



**Gráfico 13.** Valores de coliformes fecales medidos en el punto 002 de la red de acueducto.



**Gráfico 14.** Valores de coliformes fecales medidos en el punto 003 de la red de acueducto.

La presencia de todos estos organismos indicadores en el agua demuestra que si en la cuenca hay aspectos antrópicos que pueden influir en la aparición de estos microorganismos en el agua en la planta también hay aspectos técnicos que no permiten su eliminación, porque se pueden estar presentando fallas en el tratamiento de potabilización que se lleva a cabo. Si bien los parámetros que más

sobrepasaron los límites máximos admisibles fueron parámetros físicos como la turbiedad y el color, se debe tener especial cuidado con estos parámetros microbiológicos así su aparición en los monitoreos no haya sido reiterada, puesto que comprometen de una forma más directa la salud de la población.

El cloro residual hace referencia al cloro que queda después de haber reaccionado con las sustancias presentes en el agua en la etapa de desinfección. La resolución 2115 de 2007 establece un rango en el cual se debe encontrar esta sustancia en la red de distribución de 0,3 a 2 mg/L.

Las gráficas a continuación muestran que en algunos monitoreos tanto para el punto 002 como para el punto 003 la concentración de cloro ha sobrepasado el nivel permisible, si bien es importante asegurar concentraciones de cloro a lo largo de la red de distribución para permitir una adecuada desinfección, también es importante no sobrepasar estos límites dado que este al ser una sustancia altamente oxidante puede causar problemas a la salud de las personas.



**Gráfico 15.** Valores de cloro residual en el punto 002 de la red de acueducto.



**Gráfico 16.** Valores de cloro residual en el punto 003 de la red de acueducto.

Hay propiedades del agua que afectan la eficiencia del poder desinfectante del cloro, por ejemplo, la turbiedad, pues hay patógenos que suelen encapsularse en los sólidos que pueden aportar turbiedad y así protegerse de este agente oxidante. Cuando se cuenta con niveles de turbiedad tan altos los procesos de filtración previos a la desinfección son ideales, dada las posibilidades de formación de subproductos como los trihalometanos.

Con los parámetros como alcalinidad, dureza, cloruros, nitritos y sulfatos no se observaron variaciones significativas o aspectos a destacar, pues se mantuvieron dentro de los límites establecidos por la resolución 2215 de 2007.

### 6.3 Socialización de resultados

Los resultados obtenidos de la identificación de las posibles afectaciones a la calidad del agua de la quebrada San Antonio fueron compartidas con los piragüeritos de la Institución Educativa Rural El Hatillo, pues son ellos los voluntarios encargados de la protección del recurso hídrico y quienes se abastecen de esta fuente; de esta manera se espera contribuir al trabajo que han venido desarrollando en pro del recurso hídrico.



**Foto 18.** Invitación para el taller de socialización de los resultados obtenidos.

La socialización consistió en la realización de un taller, programado con la ayuda de las profesoras líderes del grupo. Dicho taller tuvo que ser presentado de forma virtual dado que por las condiciones actuales de pandemia aún no ha sido posible retornar a las aulas, por tanto, se realizó una presentación que fuera un poco más didáctica para la comprensión de conceptos importantes como microcuenca, procesos naturales, antrópicos y demás. Adicional a esto se explicó el proceso que se tuvo que surtir para la consecución de los resultados, como la construcción de la zona de estudio por medio de un mapa, la compilación de la información y lo observado en campo con las visitas realizadas, todo esto procurando que fuera de una forma gráfica para una mejor comprensión.



**Foto 19.** Evidencia socialización de resultados obtenidos.

Durante el taller se trató de asociar cómo parámetros de forma de la cuenca pueden incidir en las dinámicas que allí se presentan y de qué manera dichas dinámicas pueden afectar la calidad del agua de la quebrada abastecedora, además de observar cómo es el tratamiento del agua que proviene de la quebrada y que llega a cada uno de los hogares.

Por medio de la invitación de la profesora Natalia Mesa, profesora líder del grupo de piragüeritos se pretende realizar la socialización de los resultados con el grupo de matemáticas de la Institución Educativa Rural El Hatillo, dado que su eje transversal es el agua, y con personal de la comunidad suscriptora al acueducto, partiendo de que es necesario que la comunidad conozca cómo las actividades desarrolladas aguas arriba y las condiciones del terreno pueden incidir en la calidad de agua de la microcuenca abastecedora.

Se espera que los aprendizajes o los conocimientos adquiridos por medio de la información suministrada sea una herramienta que motive e invite a continuar con el interés de generar acciones para la preservación y la protección del recurso hídrico que los abastece.

## 7 Conclusiones

- Se observó que los procesos naturales que predominan en la microcuenca y que pueden afectar la calidad del agua son los procesos erosivos, esto se ve apoyado en los parámetros morfométricos de la cuenca que dan cuenta además de los problemas de erosión, las condiciones de torrencialidad, dejando como consecuencia alto desplazamiento de sedimentos hacia la parte baja de la cuenca por la alta capacidad de arrastre.
- Los procesos antrópicos alrededor de la cuenca están predominados por la expansión agrícola sobre la zona de conservación en cercanías a la reserva, principalmente por cultivos de productos como la cebolla principalmente, dejando desprotegido el terreno generando degradación de suelos por la pérdida de cobertura natural, propiciando el arrastre de sedimentos. Si bien dentro de los análisis de laboratorio no se observaron valores altos en parámetros como nitritos, nitratos y fosfatos que pueden estar relacionados a los fertilizantes empleados para estos cultivos, no se cuenta con análisis de pesticidas y la bioalarma empleada dentro de la planta de potabilización para determinar eventos de toxicidad no cuenta con las especificaciones adecuadas para hacer un seguimiento adecuado. Otras actividades antrópicas desarrolladas en la cuenca que pueden incidir no sólo en la calidad del agua sino en la cantidad son la deforestación para la incursión de ganado y la quema de predios como técnica alterna de poda de terrenos. Adicional a esto, se encuentran los asentamientos y con ello los vertimientos de las aguas residuales, puesto que no todos cuentan con pozos sépticos.

- Además de los riesgos asociados a los procesos naturales y antrópicos en la cuenca, hay unos riesgos de aspecto técnico asociados al tratamiento del agua, específicamente por las unidades que conforman el tren de tratamiento, dado que algunas no son las adecuadas, su configuración tampoco es la más pertinente, varias de las unidades se encuentran en mal estado, hay inconvenientes de operación en etapas de tratamiento como la dosificación de productos químicos, dificultando así el proceso de potabilización. Esto se corrobora con la calidad del agua tratada, puesto que es una calidad que es muy variada, en ciertos momentos cumple y en otros no, esto está condicionado por la manera en que viene el agua cruda y no debería ser así, puesto que un sistema en este caso de potabilización, debe estar diseñado para proveer agua potable así haya fluctuación en el agua cruda que es lo que normalmente sucede, esto se logra con una buena configuración de unidades, con la operación correcta y con la dosificación adecuada de los productos químicos necesarios.
- Principalmente, los parámetros que más se ven afectados por las condiciones del terreno de la cuenca y por las dinámicas alrededor de la misma son la turbiedad, el color y los microorganismos y según los datos obtenidos de análisis de laboratorio al agua potable, esta afectación persiste algunas veces en el agua aún después de haber pasado por un proceso de potabilización, puede que en algunos momentos el sistema cuente con la capacidad o este operado adecuadamente para cumplir con los valores establecidos por la normatividad vigente, pero hay ocasiones en las que no se logra, puede estar relacionado a que las condiciones con las que venga el agua, por ejemplo, la turbiedad del agua es muy alta para el sistema, o con las deficiencias que hay en el proceso por su diseño, construcción u operación, por lo que es necesario realizar una optimización, tanto en las estructuras como en la operación.

## **8 Recomendaciones para el mejoramiento de la operación de la planta de potabilización del Acueducto Asociación de Usuarios de Acueducto y/o Alcantarillado El Hatillo.**

Esta sección se construyó con la intención de contribuir al mejoramiento de la operación, si bien es de resaltar la voluntad y el compromiso especialmente del operario del acueducto, desde la ingeniería sanitaria se encuentra que pueden hacer recomendaciones desde los procesos y puede ser útil si se implementa.

1. Para el caso del estanque de peces empleado como bioalarma, se recomienda realizar una verificación del espacio y de inventario permanente de peces que puedan permanecer ahí en condiciones adecuadas, para así tener un número preciso y poder determinar los eventos de toxicidad.

2. Realizar seguimiento a la turbidez que permitan verificar la prueba de jarras y hacer seguimiento a la turbiedad del agua cruda, pues a partir de ahí se toman decisiones de aplicación de coagulante.
3. Reubicar el desarenador y el prefiltro puesto que deben de ir antes del proceso de coagulación del desarenador, la configuración sugerida es la siguiente: desarenador → prefiltro → coagulación → floculación → sedimentación de alta tasa → filtración de arena y antracita.
4. Es necesario verificar la forma en la cual se realiza la dosificación de coagulante, dado que es por gravedad, y la estructura con que se cuenta en la actualidad es un tanque con una válvula en la parte inferior. A medida que el nivel del coagulante cambie en el tanque y la llave permanezca en el mismo punto, la dosis cambia; ya que el caudal de coagulante depende de la altura de la lámina de agua y del orificio por donde sale, el cual está definido por la apertura de la válvula. Si la lámina de agua en el tanque disminuye a la mitad, el caudal disminuiría ( no se reduce a la mitad por coeficientes de descarga).
5. La agitación manual del filtro que se está desarrollando no favorece la hidráulica, desde el punto de vista de la limpieza esto tiene sentido ya que cuando se revuelve y se agitan las partículas hay un contacto, fricción y un desprendimiento de los sólidos adheridos a los lechos filtrantes. Esto en principio debería ocurrir sólo por hidráulica y no de la agitación manual, es decir, debería ingresar agua por la parte inferior, para que ascienda y así desprenda el material; un buen diseño de sistema de lavado hace que el material se expanda y que el caudal de lavado sea suficiente para levantar alrededor del 25-30% del material filtrante, cuando hay cantidad de agua moviendo el material se da fricción entre los granos y así no se combina ni se mezclan los materiales porque genera problemas hidráulicos. Cuando se realizan procesos de agitación manual quedan sitios donde no está bien distribuido el material y hay una tendencia a que el agua pase sin ser sometida a filtración, sacrificando eficiencia en el proceso.
6. No se recomienda agregar carbón activado en el mismo filtro rápido, porque ese material es muy liviano y puede perderse y ser arrastrado durante el lavado. Además, el carbón activado se usa para la remoción de sustancias disueltas y gases; por lo tanto, debería ir después de la clarificación del agua (filtración convencional).
7. Es necesaria un diagnóstico y una evaluación completa de la planta, que considere aspectos como: la ubicación, el estado y la capacidad de las unidades, ya que no se tiene conocimiento si la planta está diseñada para los caudales que están tratando. Para el caso del floculador serpia importante verificar si se cuenta con los adecuados tiempos de floculación, la correcta separación de las placas y los gradientes de velocidad necesarios.

8. Implementar un programa de fortalecimiento para el personal en tema de dosificación de químicos: coagulantes y desinfectantes. Esto permitiría el adecuado suministro de los químicos, pues en los análisis fisicoquímicos se encontraron altos niveles de parámetros como aluminio y cloro residual, lo que puede ocasionar problemas a la salud.
9. Adquisición de predios aledaños a la reserva ecológica, o implementar en esos usuarios programas de pagos por servicios ambientales -PSA que permita conservar los terrenos en la zona de influencia como bosque natural y que no haya actividades agrícolas que puedan presentar afectaciones. Dado que es complejo controlar lo que se hace alrededor de la cuenca si no se es un ente gubernamental. Si se protege, no sólo mejora la cantidad, sino también la calidad, hace que la frecuencia de mantenimiento de por parte del operario no sea tan alta.
10. Para las placas deflectoras del floculador hidráulico de flujo horizontal se recomienda realizar un mantenimiento o reemplazo de estas, al igual que una correcta ubicación y separación para que se pueda realizar el proceso de floculación una forma más adecuada.

## 9 Referencias

- Banco Interamericano de Desarrollo. (Diciembre de 2019). *Guía para la gestión del riesgo en sistemas de agua y saneamiento ante amenazas naturales*.
- Cirelli, A. F. (2012). El agua: un recurso esencial. . *Química Viva*, 147-170.
- Comisión Nacional del Agua. (2011). *Estadísticas del Agua en México*. Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-1-11-EAM2011.PDF>
- Concejo Barbosa, Antioquia. (23 de Diciembre de 2015). Acuerdo 016. *Por medio del cual se adopta la revisión y ajuste de largo plazo del plan de ordenamiento territorial del municipio de Barbosa y se dictan otras disposiciones complementarias*. Barbosa, Antioquia, Colombia.
- Concejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2012). Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres. Barbosa, Antioquia, Colombia.
- CORANTIOQUIA. (s.f.). *Programa Integral Red Agua - PIRAGUA* . Obtenido de <https://www.piraguacorantioquia.com.co/piragua/>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2017). *Actualización POMCA Río Garagoa* .
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (2017). Hidrografía. En *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río La Vieja*.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (2017). Morfometría. En *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río La Vieja*. Obtenido de [https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes\\_y\\_Programas/Planes\\_de\\_Ordenacion\\_y\\_Manejo\\_de\\_Cuencas\\_Hidrografica/La%20Vieja%20-](https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y_Manejo_de_Cuencas_Hidrografica/La%20Vieja%20-)

- %20POMCA%20en%20Ajuste/Fase%20Diagnostico/7\_CapituloI\_Diagnostico\_Morfometria.pdf
- García Charria, W. (2006). El sistema complejo de la cuenca hidrográfica. Medellín. Obtenido de [https://www.medellin.unal.edu.co/~poboyca/documentos/documentos1/documentos-Juan%20Diego/Plnaifi\\_Cuencas\\_Pregrado/Sistema%20CuencaHidrogr%E1fica.pdf](https://www.medellin.unal.edu.co/~poboyca/documentos/documentos1/documentos-Juan%20Diego/Plnaifi_Cuencas_Pregrado/Sistema%20CuencaHidrogr%E1fica.pdf)
- Global Water Partnership. (2002). *GWP in action*.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2018). Protocolo de Monitoreo del Agua. Obtenido de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023773/PROTOCOLO\\_MONITOREO\\_AGUA\\_IDEAM.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023773/PROTOCOLO_MONITOREO_AGUA_IDEAM.pdf)
- Jiménez, M. A., & Vélez, M. V. (2006). Análisis comparativo de indicadores de calidad de agua superficial. *Avances en Recursos Hidráulicos*, 53,69. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/view/9331>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Guía Metodológica Para la Formulación de los Planes de Manejo Ambiental de Microcuencas. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico . Bogotá D.C., Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2 de Agosto de 2012). Decreto 1640 de 2012. *Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones*. Colombia.
- Ministerio de Salud y Protección Social, Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2017). *Resolución 549* . Colombia.
- Municipio de Barbosa, Antioquia. (s.f.). *Barbosa Social es la Gente*. Obtenido de <https://www.barbosa.gov.co/Paginas/default.aspx>
- Oficina del Asesor en Cumplimiento/Ombudsman - CAO. (2008). Monitoreo Participativo del Agua. *Guía para Prevenir y Manejar El Conflicto*. Washington DC. Obtenido de <http://www.cao-ombudsman.org/howwework/advisor/documents/watermonsp.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible del Agua y el Saneamiento Básico*. Obtenido de Sustainable Development Goals Fund: <https://www.sdgfund.org/es/objetivo->

## 6-agua-limpia-y-saneamiento

- Organización de Las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2020). *Informe Mundial de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020*. París: UNESCO.
- Orozco, R. (2021). Información Suministrada por parte del Acueducto Asociación de Usuarios de Acueducto y/o Alcantarillado El Hatillo. (R. B. Saldarriaga, Entrevistador)
- Sagasta, J. M., & Zadeh, S. M. (2018). *More people, more food, worse water?* Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Water Management Institute.
- Torres , P., Hernán Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Índices de la calidad del agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. . *Ingenierías Universidad de Medellín*.
- UNESCO. (2019). *Water Security and The Sustainable Development Goals*. París: UNESCO Publishing.
- Universidad de Pamplona. (2008). Índices de Calidad (ICAs) y de Contaminación (ICOs) del Agua de Importancia Mundial. Obtenido de [http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIG/home\\_10/recursos/general/pag\\_contenido/libros/06082010/icatest\\_capitulo3.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf)