

**EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE ABASTECIMIENTOS DE AGUA  
RURALES COLECTIVOS EN ECOSISTEMA DE PÁRAMO, CON ÉNFASIS EN  
LA OFERTA HÍDRICA EN CANTIDAD Y CALIDAD: CASO DE ESTUDIO  
BERLÍN (SANTANDER – COLOMBIA)**

**CRISTIAN DANILO HERNÁNDEZ FIGUEROA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2018**

**EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE ABASTECIMIENTOS DE AGUA  
RURALES COLECTIVOS EN ECOSISTEMA DE PÁRAMO, CON ÉNFASIS EN  
LA OFERTA HÍDRICA EN CANTIDAD Y CALIDAD: CASO DE ESTUDIO  
BERLÍN (SANTANDER – COLOMBIA)**

**CRISTIAN DANILO HERNÁNDEZ FIGUEROA**

**Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Civil**

**Directora:**

**ISABEL CRISTINA DOMÍNGUEZ RIVERA  
PhD. en Agricultura, Alimentos y Desarrollo Rural**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2018**

## DEDICATORIA

*En unas cuantas líneas quiero agradecer a Dios, motor y eje, quien me ayudo para poder terminar mi carrera profesional con éxito.*

*A mi madre Emilce Figueroa, que siempre estuvo ahí para apoyarme en las decisiones tomadas y agradezco por su crianza y enseñanza de valores.*

*A mi hermana Tatiana que con su ternura e inocencia me inspira cada día a mejorar.*

*A mis familiares, amigos de carrera y conocidos que de una u otra forma me ayudaron a formarme de manera integral.*

*A la Universidad Industrial de Santander por la formación integral adquirida durante los años de formación profesional.*

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	13
1. METODOLOGÍA. ....	15
1.1 REVISIÓN DE LITERATURA.....	15
1.2 INSPECCIÓN AL SISTEMA.....	16
1.3 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN DE CANTIDAD Y CALIDAD DEL AGUA.....	17
1.4.1 Metodología para determinar la oferta hídrica en cantidad .....	18
1.4.2 Metodología para la determinación de la oferta hídrica en calidad .....	21
1.4.2.1 Calidad de agua a partir de los monitoreos.....	23
1.5 ESTRATEGIAS DE MEJORA .....	24
2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
2.1 OFERTA DE AGUA EN CANTIDAD EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO. .....	25
2.1.1 Oferta de agua en cantidad para Bocatoma .....	26
2.1.2 Oferta de agua en cantidad para Tanque de almacenamiento. ....	27
2.2 ÍNDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	29
2.3 RESULTADOS DEL MONITOREO DE LA CALIDAD .....	31
2.3.1 Oferta de agua en calidad para Bocatoma.....	31
2.3.1.1 pH .....	34
2.3.1.2 Temperatura. ....	34
2.3.1.3 Turbiedad.....	35
2.3.1.4 Color Aparente.....	35
2.3.1.5 Conductividad .....	36
2.3.1.6 Hierro Total .....	36
2.3.1.7 Nitritos.....	37

2.3.1.8 Sulfatos.....	37
2.3.1.9 Cloruros Las.....	38
2.3.1.10 Dureza Total .....	38
2.3.1.11 Alcalinidad Total:.....	38
2.3.1.12 Sólidos Disueltos Totales.....	39
2.3.1.13 Carbono Orgánico Total.....	39
2.3.1.14 Aspectos Microbiológicos.....	40
2.3.2 Cambios en la calidad del agua en el sistema .....	42
2.3.2.1 pH .....	43
2.3.2.2 Temperatura .....	43
2.3.2.3 Turbiedad.....	45
2.3.2.4 Coliformes Totales y E. coli.....	47
2.5 FORMULACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE MEJORA.....	50
2.5.1 Priorización de Estrategias .....	51
3. CONCLUSIONES .....	59
BIBLIOGRAFÍA.....	62
ANEXOS.....	66

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Captación.....	18
Figura 2. Tanque de almacenamiento .....	19
Figura 3. Aforo bocatoma .....	20
Figura 4. Tanque de Almacenamiento .....	20
Figura 5. Bocatoma.....	20
Figura 6. Punto adicional de suministro al tanque de D=2” .....	20
Figura 7. Curvas de distribución de precipitación entorno Regional .....	25
Figura 8. Caudal en la Bocatoma del sistema de abastecimiento .....	26
Figura 9. Caudal total y de cada manguera (2” y 3”), entrantes al tanque de almacenamiento.....	28
Figura 10. Daño en tubería .....	28
Figura 11. Presencia animal bocatoma.....	42
Figura 12. Excremento: zona captación.....	42
Figura 13 Gráfica de pH en bocatoma, tanque de almacenamiento y vivienda más alejada. ....	43
Figura 14. Gráfica de Temperatura en bocatoma, tanque de almacenamiento y vivienda más alejada. ....	45
Figura 15. Gráfica de Turbiedad en bocatoma, tanque de almacenamiento y vivienda más alejada. ....	47
Figura 16. Gráfica de Coliformes Totales en bocatoma, tanque de almacenamiento y vivienda más alejada.....	48
Figura 17. Gráfica de E. coli en bocatoma, tanque de almacenamiento y vivienda más alejada.....	48

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Parámetros analizados en los puntos seleccionados para el muestreo...	23
Tabla 2. Análisis de Valor IRCA.....	29
Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos monitoreados para la Bocatoma.....	33
Tabla 4. Priorización de estrategias.....	52
Tabla 5. Pautas para el desarrollo de las estrategias de mejora a la problemática de contaminación.....	53

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A: Aforo volumétrico .....	66
Anexo B. Localización de los puntos de monitoreo para el sistema de acueducto rural en el Páramo de Berlín. ....	68
Anexo c. Evaluación del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para consumo humano (IRCA).....	69
Anexo D: Toma y preservación de muestras en campo .....	71
Anexo E: Especificaciones del ideam para la toma de muestras.....	74
Anexo F: Métodos utilizados por el Laboratorio de Consultas Industriales para el análisis de muestras. ....	76
Anexo G. Formatos de campo .....	77
Etiqueta para marcar los recipientes de muestras en campo. ....	78
Anexo H: Formatos para aforo de caudal. ....	79
Anexo I: Registros de aforos de caudal en puntos evaluados del sistema de abastecimiento.....	81
Anexo J Registros de aforos de caudal en puntos evaluados del sistema de abastecimiento.....	82
Anexo K: Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse .....	84
Anexo L: Formatos con resultados para época de verano.....	85

## RESUMEN

**TITULO:** EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE ABASTECIMIENTOS DE AGUA RURALES COLECTIVOS EN ECOSISTEMA DE PÁRAMO, CON ÉNFASIS EN LA OFERTA HÍDRICA EN CANTIDAD Y CALIDAD: CASO DE ESTUDIO BERLÍN (SANTANDER – COLOMBIA)\*

**AUTOR:** CRISTIAN DANILO HERNÁNDEZ FIGUEROA\*\*

**PALABRAS CLAVE:** páramo, diagnóstico, calidad y cantidad de agua, monitoreo

La Organización Mundial de la salud (OMS) promueve la calidad del agua y el acceso a agua segura, disminuyendo riesgos a la salud humana y reduciendo la pobreza. En la zona rural, es común encontrar deficiencias en los sistemas de abastecimiento de agua en comparación con los que surten las zonas urbanas. El páramo de Berlín es un ecosistema vital para el suministro de recursos hídricos a las comunidades: residentes en la zona, en sus alrededores y a las externas. El objetivo principal del proyecto realizado en esta zona fue evaluar la oferta hídrica que suministra el páramo a la comunidad usuaria de un sistema de abastecimiento rural, enfatizando en los componentes de cantidad y calidad. Para ello, se indagó en fuentes bibliográficas para recopilar información sobre evaluación de la oferta hídrica en cantidad y calidad. Se elaboraron formatos con el propósito de realizar la inspección a la zona y la identificación de fuentes probables de contaminación. A partir de la inspección, se identificaron los puntos más vulnerables del sistema: Bocatoma, tanque de almacenamiento y vivienda más alejada en la red de distribución, donde se recopiló información de caudales y muestras de agua para análisis fisicoquímico y microbiológico.

De las actividades hechas se recopiló información de la cantidad de agua suministrada por bocatoma y tanque de almacenamiento, además datos fisicoquímicos y microbiológicos alusivos la calidad del agua, encontrando presencia de coliformes totales y *E. coli*. Se concluyó en términos microbiológicos que la calidad del agua no era buena, llegando a plantear estrategias de mejora para su ejecución a corto o largo plazo.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías fisicomecánicas Escuela de Ingeniería Civil. Director: Isabel Cristina Domínguez Rivera

## ABSTRACT

**TITLE:** EVALUATION OF THE SUSTAINABILITY OF COLLECTIVE RURAL WATER SUPPLIES IN PARASIAM ECOSYSTEM, WITH EMPHASIS ON THE WATER SUPPLY IN QUANTITY AND QUALITY: CASE STUDY BERLIN (SANTANDER - COLOMBIA)\*

**AUTHOR:** CRISTIAN DANILO HERNÁNDEZ FIGUEROA\*\*

**KEY WORDS:** paramo, quality and quantity of water, assessment, rural water supply

The World Health Organization (WHO) promotes water quality and access to safe water by reducing risks to human health and poverty. In rural areas, water supply systems typically present weaknesses on service provision, compared to systems from the urban areas. Berlin paramo is an important ecosystem for the supply of water resources to the communities: residents in the area, in surroundings and to the external. The main objective of this project realized in the zone was to evaluate the water quantity and quality provided to the community supplied by a rural water system. For this purpose, a literature review was carried out to identify information in relation to the assessment of water quantity and quality. Formats were developed for the purpose of carrying out the inspection of the area and the identification of probable sources of contamination. From the inspection, the most vulnerable points of the system were identified: bocatoma, storage tank and the house furthest in the distribution system, where information was collected on water flows and samples for physicochemical and microbiological analysis. Of the activities carried out, information was collected on the amount of water supplied by the bocatoma and storage tank, also physicochemical and microbiological data alluding to water quality, finding the presence of total coliforms and *E. coli*. It was concluded in microbiological terms that the quality of the water was not good, coming to propose improvement strategies for its execution in the short or long term.

---

\* Project of grade

\*\* Facultad de Ingenierías fisicomecánicas Escuela de Ingeniería Civil. Director: Isabel Cristina Domínguez Rivera

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo al informe del Programa Conjunto de Monitoreo (JMP)<sup>1</sup>, “Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene: informe de actualización de 2017 y evaluación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)”, que se presentó en la primera evaluación mundial de los servicios de agua potable y saneamiento «gestionados de forma segura»; hay 663 millones de personas en el mundo que no tienen acceso a agua potable<sup>2</sup>, sobre todo en las zonas rurales y las pocas que acceden al recurso, lo hacen sin las normas técnicas y de saneamiento adecuadas.

Según estudios de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)<sup>3</sup>, en el territorio colombiano existen ecosistemas altamente vulnerables a ser afectados por efectos antrópicos. Debido a la falencia en las condiciones ambientales y socioculturales que tiene Colombia, resulta escasa, la investigación sobre los ecosistemas abastecedores del recurso hídrico; entre ellos el páramo. El páramo es un ecosistema donde se alberga gran cantidad de fauna, flora y recurso hídrico para abastecimiento. Por lo tanto, los páramos necesitan ser protegidos para velar por el uso sostenible de los recursos existentes en estos importantes ecosistemas<sup>4</sup>. Además, Colombia cuenta con el 50% de ecosistemas

---

<sup>1</sup> WHO/UNICEF JMP, “Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines,” 2017

<sup>2</sup> WORLD HEALTH ORGANIZATION, “sh,” 2015. [Online]. Available: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/monitoring/jmp-2015-key-facts/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp-2015-key-facts/es/).

<sup>3</sup> ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO), “32a Conferencia Regional de la FAO para América Latina y el Caribe,” Ciudad de México, 2012

<sup>4</sup> RESTREPO J., SUÁREZ C. A., and ÁLVAREZ M. Y., “Plan integral de manejo del Distrito de Manejo Integrado de los recursos naturales ‘Páramo de Berlín,’” 2008

de páramo del planeta, aproximadamente 1'925,400 Ha<sup>5</sup>, donde se produce el 70 % de agua para el abastecimiento de la red hidrológica nacional<sup>6</sup>.

Es importante velar por estos recursos ya que la población beneficiada no sólo será la que habita directamente en el ecosistema de páramo sino que también la de zonas urbanas, lo que contribuirá notablemente a la mejora de las condiciones ambientales y socioeconómicas para las poblaciones involucradas<sup>7</sup>.

Este trabajo hace parte de un proyecto de investigación adelantado por el grupo de "Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental" (GPH) de la Universidad Industrial de Santander (UIS). El objetivo general de este proyecto fue evaluar aspectos de la oferta hídrica en temporada seca de un sistema de abastecimiento de agua en un acueducto rural en contexto de ecosistema de páramo. Lo objetivos específicos incluyen: i) evaluar la oferta hídrica en términos de cantidad, en temporada seca, para un acueducto rural en el páramo de Berlín; ii) evaluar la oferta hídrica en términos de calidad, en temporada seca, para un acueducto rural en el páramo de Berlín; iii) proponer recomendaciones para mejorar la sostenibilidad de la oferta hídrica en el acueducto estudiado. Con el presente trabajo se busca identificar alternativas que contribuyan a mejorar la prestación de este servicio que redunde en mejoras en la calidad de suministro a las personas, teniendo en cuenta la sostenibilidad de este importante ecosistema del páramo de Berlín.

---

<sup>5</sup> AVELLANEDA-TORRES L. M., TORRES ROJAS E., and LEÓN SICARD T. E., "Alternativas ante el conflicto entre autoridades ambientales y habitantes de áreas protegidas en páramos colombianos," *Mundo Agrar.*, vol. 16, no. 31, p. 26, 2015

<sup>6</sup> GREENPEACE, "Páramos en Peligro," 2013

<sup>7</sup> UNICEF, "La infancia, el agua y el saneamiento básico en los planes de desarrollo departamentales y municipales," *El agua potable y el Saneam. básico en los planes Desarrollo.*, p. 16, 2006

## 1. METODOLOGÍA.

El proceso metodológico del trabajo contó con unas etapas cuyas actividades se describen a continuación:

### 1.1 REVISIÓN DE LITERATURA

Se realizó una búsqueda de literatura para recopilar información de artículos científicos, manuales o guías, relacionados con la evaluación de la calidad y cantidad del agua suministrada por un sistema de abastecimiento rural. En la mayoría de los casos se indagó sobre ecosistemas de páramo o en su defecto, aquellos que tuviesen similitud de condiciones climáticas. Para ello, se usaron bases de datos como Scopus, donde se encontró información a partir de palabras claves como “WATER AND ASSESSMENT”, “WATER AND QUALITY AND QUANTITY”, “WATER MONITORING AND PARAMO”, “MICROBIOLOGICAL AND PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS”, “INDICATORS OF MICROBIAL WATER QUALITY “. La información fue buscada en el catálogo bibliográfico de la Universidad Industrial de Santander (UIS), que brindó variedad de fuentes reconocidas a nivel científico y académico. Adicionalmente, se buscó información en internet, en entidades clave como la Organización Mundial de la Salud (OMS). Se recogió información de artículos que trataran acerca de monitoreo o diagnósticos hechos a acueductos en zonas rurales. Se revisaron guías como “PROTOCOLO para el monitoreo y seguimiento del agua”<sup>8</sup>, “Guideline for Drinking –Water Quality”

---

<sup>8</sup> NELSON MARTÍNEZ V. and SARMIENTO R. V., “Guía Para El Monitoreo Y Seguimiento Del Agua,” 2004

<sup>9</sup>, “Procedimiento para toma y preservación de muestras de agua”<sup>10</sup> que permitieran ilustrar el procedimiento de cómo realizar aforos y muestreos.

## **1.2 INSPECCIÓN AL SISTEMA.**

En la zona de estudio se verificó si se contaba con mapas e información hidroclimatológica proveniente de estaciones de monitoreo, elaborados por entidades como la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), encontrando en el Distrito de Manejo Integrado DMI información referente al páramo de Berlín. Así mismo, se buscó información existente del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, relacionada con las pautas de seguimiento a la calidad del agua suministrada por el sistema.

El 09 de junio de 2017, se llevó a cabo una valoración del sistema de abastecimiento de agua no tratada y de las características de la cuenca abastecedora, determinando condiciones preliminares que permitieran identificar posibles focos de contaminación en el desarrollo posterior del diagnóstico. Esta inspección se realizó con miembros del grupo de investigación GPH, profesores, estudiantes y comunidad. Durante la inspección, se realizó una observación visual y un recorrido a las zonas de captación, almacenamiento y distribución de la microcuenca, de donde se obtuvieron datos relacionados con las actividades que ocurren en el sistema, sujetas a condiciones variables que podrían afectar la cantidad y calidad de agua. Estas observaciones se prepararon en el Grupo GPH a partir de recomendaciones para inspecciones, emanadas de diferentes documentos de la OMS<sup>11</sup>, y cuyos resultados son descritos detalladamente en el proyecto de

---

<sup>9</sup> GORCHEV H. G. and OZOLINS G., “Guidelines for Drinking-water Quality,” Who, vol. 1, p. 564, 2011

<sup>10</sup> C. A. R. PARA LA D. DE LA M. DE B. CDMB, “Procedimiento para toma y preservación de muestras de aguas,” 2012

<sup>11</sup> “Editable versions of the checklists and tables for performing a catchment assessment,” pp. 1–21.

investigación del GPH: Evaluación de la dimensión técnica de la sostenibilidad de abastecimientos de agua colectivos rurales en ecosistemas de páramo<sup>12</sup>.

Como resultado de esta visita a la zona, se identificaron los puntos para el monitoreo de la cantidad y calidad del agua y el estado general de la microcuenca abastecedora del sistema.

### **1.3 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN DE CANTIDAD Y CALIDAD DEL AGUA**

La recolección de datos acerca de cantidad y calidad de agua presentes en la cuenca, se hizo para la época seca y la época lluviosa. Por condiciones de alcance, en este documento solo se presentan y analizan los datos de la época seca.

A partir de información reportada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), indicando las temporadas lluviosas y secas para el 2017, se identificó para la zona del páramo de Berlín la primera temporada lluviosa desde abril hasta finales de mayo o junio y la segunda desde septiembre hasta diciembre<sup>13 14</sup>. Así mismo, la existencia de condiciones secas para el trimestre agosto-septiembre-octubre<sup>15</sup>. Con esta información se planteó realizar los muestreos en época seca en el mes de agosto. Se realizó una toma de muestras completa para evaluar el Índice de Riesgo a la Calidad del Agua (IRCA) en la bocatoma, el día 14 de agosto de 2017. Posteriormente se realizaron 6 aforos de caudal en los días 18, 23, 25, 28, 30 de agosto y 01 de septiembre; y 5 muestreos

---

<sup>12</sup> GABRIEL A., BOTERO B., CRISTINA I., and RIVERA D., "Evaluación de la dimensión técnica de la sostenibilidad de abastecimientos de agua colectivos rurales en ecosistemas de páramo," p. 62, 2017

<sup>13</sup> I. DE H. M. Y E. A. IDEAM, "Boletín de predicción climática y alertas para agosto.," 2017

<sup>14</sup> I. DE H. M. Y E. A. IDEAM, "Boletín de predicción climática y alertas para septiembre.," 2017

<sup>15</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, "Informe de Gestión de 2015," Bogotá, 2016

de monitoreo en temporada seca, omitiendo el 18 de agosto (donde sólo se aforo el caudal en bocatoma y tanque de almacenamiento), para evaluar las condiciones de calidad y cantidad del recurso suministrado a la zona de estudio, en tres puntos del sistema, en el Anexo 2 se puede visualizar la ubicación de estos puntos en el sistema de abastecimiento.

De acuerdo a estas fechas, se programaron las salidas de campo previamente, llevando instrumentos de medición como pHmetro ,termómetro, cronómetro y materiales entre los cuales se utilizaron neveras portatiles, geles para la conservacion de las muestras , etiquetas para los frascos, frascos, formatos de inspección, vestimenta de protección para la toma de muestras . En su totalidad las jornadas se hicieron en horas de la mañana; debido a las condiciones de transporte y su oportuna entrega al laboratorio, de acuerdo con los horarios del laboratorio de consultas industriales UIS.

**1.4.1 Metodología para determinar la oferta hídrica en cantidad** Para determinar la oferta hídrica en el sistema en términos de cantidad, se seleccionaron los puntos más representativos: la captación y el tanque de almacenamiento del acueducto rural<sup>16</sup>, ver Figuras 1 y 2.

**Figura 1. Captación**



---

<sup>16</sup> FALLIS A. ., “Guía Para El Monitoreo De Vertimientos, Aguas Superficiales Y Subterranas.,” 2013

## Figura 2. Tanque de almacenamiento



De acuerdo a la inspección realizada a la zona de estudio y las recomendaciones de la revisión de literatura, se decidió realizar un aforo volumétrico. En el Anexo 1 se explica en que consiste este tipo de aforo. En el caso de la bocatoma, se adaptó una “estructura de estancamiento” removible, con la ayuda de costales llenos de arena, bolsas y un plástico. Además, con una teja se pudo canalizar el flujo hacia un tanque de 250 L de capacidad, midiendo el tiempo de llenado con un cronómetro, hasta una marca de referencia hecha al tanque y así se pudo medir el caudal suministrado por la fuente (Figura 3). Este método debe usarse únicamente en corrientes pequeñas en las cuales se pueda coleccionar en un recipiente calibrado el 100% del flujo a medir<sup>17</sup>.

En el caso del tanque de almacenamiento, a esta estructura llegaban dos suministros de agua cruda (Figura 4) mediante dos mangueras: una proveniente de la bocatoma y otra de un punto ubicado a unos 300 metros aguas arriba de la captación. Ver Figuras 5 y 6, respectivamente.

---

<sup>17</sup> Ibíd.

**Figura 3. Aforo bocatoma**



**Figura 4. Tanque de Almacenamiento**



**Figura 5. Bocatoma**



**Figura 6. Punto adicional de suministro al tanque de D=2''**



Para aforar el caudal de entrada al tanque de almacenamiento también se utilizó el método volumétrico, este permitió medir el flujo individual de la manguera

proveniente de la bocatoma (diámetro = 3") y la del punto adicional aguas arriba (diámetro = 2"). Se utilizó un balde aforado con 30 L de capacidad y un cronómetro para medir el tiempo de llenado hasta el límite de marcación.

**1.4.2 Metodología para la determinación de la oferta hídrica en calidad** Para determinar la oferta hídrica en el sistema en cuanto a calidad, se tomaron muestras en: la bocatoma, tanque de almacenamiento y la vivienda más alejada del suministro (mayor tiempo de residencia del agua en la tubería). En campo se midieron indicadores de calidad como pH y temperatura, utilizando en la zona instrumentos como un pHmetro (Referencia HI98103 Checker pH tester) y termómetro de laboratorio para su respectiva lectura. Esto con el fin de verificar si se presentaban diferencias entre los datos tomados en los diferentes puntos del sistema. A las muestras de agua recolectadas se realizaron análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos, para medir la variabilidad espacial de los indicadores de cantidad y calidad. En el Anexo 2 se puede observar la localización de los 3 puntos de recolección de muestras y del punto de aforo. Las muestras se tomaron siguiendo pautas de laboratorio y de organismos que tienen guías para técnicas de muestreo como el IDEAM<sup>18</sup>.

Basándose en la normatividad colombiana, se evaluó el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA), que según el capítulo IV de la Resolución 2115 de 2007<sup>19</sup>. Con este instrumento, se asignó un puntaje de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de los valores aceptables en la resolución respecto a las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano (Ver Anexo 3), y se cuantificó mediante la asignación de un puntaje por el no cumplimiento. Los parámetros involucrados en el cálculo del IRCA son: Color aparente, Turbiedad, pH, Cloro residual libre, Alcalinidad Total, Calcio,

---

<sup>18</sup> C. O. N. L. A P. DE, N. OMAR, V. MARTÍNEZ, AND R. V. SARMIENTO, Guía Para El Monitoreo Y Seguimiento Del Agua. 2004

<sup>19</sup> MINISTERIO DE PROTECCION SOCIAL AMBIENTE DESARROLLO Y VIVIENDA, "Resolución numero 2115," Resoluc. 2115, p. 23, 2007

Fosfatos, Manganeseo, Molibdeno, Magnesio, Zinc, Dureza Total, Sulfatos, Hierro Total, Cloruros, Nitratos, Nitritos, Aluminio (Al<sup>+3</sup>), Fluoruros, COT, Coliformes Totales y Escherichia Coli. El puntaje asignado de riesgo va desde sin riesgo (0 – 5%) hasta inviable sanitariamente (80.1 a 100%)<sup>20</sup>.

Para el cálculo IRCA<sup>21</sup>, se dispuso de la jornada de muestreo puntual del 14 de agosto de 2017, donde se tomaron muestras de agua de la bocatoma para el análisis fisicoquímico y microbiológico. La toma y preservación de muestras se hizo teniendo en cuenta los procedimientos recomendados por IDEAM y del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible<sup>22</sup>. Los procedimientos hechos en campo se sintetizan en el Anexo 4, donde se puede visualizar además como se hizo la preservación de muestras para análisis microbiológico y fisicoquímico. En el Anexo 5 se presentan las pautas recomendadas para la preservación de muestras según el IDEAM. Las muestras recolectadas fueron entregadas al laboratorio de consultas industriales de la UIS, el cual hizo un análisis fisicoquímico y microbiológico de las muestras de acuerdo a normativas exigidas por el IDEAM. En el Anexo 6 se sintetizan los métodos empleados para los análisis de los parámetros evaluados.

A partir de estos análisis se interpretaron los datos recogidos, para con ellos mostrar el comportamiento del cuerpo hídrico que suministra agua cruda a la comunidad de la vereda los Andes –El Progreso. Con los resultados reportados por el laboratorio, se calculó el IRCA con base en la Ec (1), que involucra los indicadores de la calidad del agua evaluados, asociados a un puntaje de riesgo.

*IRCA (%)*

$$= \frac{\text{puntajes de riesgo asignados a los parámetros no aceptables}}{\text{puntaje de riesgo asignado a todas las características analizadas}} \times 100 \quad \text{Ec 1}$$

---

<sup>20</sup> *Ibíd.*

<sup>21</sup> MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL AND MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, “Resolución Numero 2115,” Minambiente, p. 23, 2017

<sup>22</sup> MINISTERIO DEL AMBIENTE, “Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible,” 2014

**1.4.2.1 Calidad de agua a partir de los monitoreos** Además de la estimación del IRCA a partir de un muestreo puntual, se realizaron cinco monitoreos 23, 25, 28 30 de agosto y 01 de septiembre de 2017 en bocatoma, tanque de almacenamiento y vivienda más alejada del sistema. Los parámetros de monitoreo evaluados en cada punto del sistema pueden verse en la Tabla 1.

**Tabla 1. Parámetros analizados en los puntos seleccionados para el muestreo.**

Lugar de muestreo	Parámetros analizados				
BOCATOMA	pH, Color, Turbiedad, Conductividad, Sólidos totales, Dureza total, Sulfatos, Hierro Total, Cloruros, Alcalinidad Total, Nitritos, Temperatura, Coliformes Totales y E. coli.				
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	Turbiedad	pH	Temperatura	Coliformes totales	E.coli
VIVIENDA MÁS ALEJADA	Turbiedad	pH	Temperatura	Coliformes totales	E.coli

En el Anexo 7, se puede visualizar los formatos de campo, utilizados para plasmar los datos fisicoquímicos y observaciones en campo, además de las etiquetas utilizadas para marcar las muestras en campo.

Con los resultados de los análisis, se evaluó la variabilidad de indicadores y la disponibilidad de agua en la microcuenca, mediante la elaboración de gráficas donde se pudo plasmar los datos de época seca tanto para cantidad como para la calidad de la oferta hídrica. Los resultados de los parámetros analizados en la bocatoma, tanque y vivienda más alejada durante el monitoreo fueron comparados con los estándares de la normativa colombiana. Además, se calcularon estadísticas descriptivas. La estadística descriptiva se usó para resumir los datos de tal manera que fueran más simples de analizar e interpretar, por ejemplo, la estimación de la media, valores máximos, mínimo, desviación estándar, coeficiente de variación.

## **1.5 ESTRATEGIAS DE MEJORA**

Los resultados además de ser claves para el análisis del comportamiento de la quebrada “Las Puentes” en términos de cantidad y calidad, brindaron el punto de partida para proponer unas recomendaciones enfocadas a garantizar la sostenibilidad del acueducto rural colectivo por parte de la comunidad. Las estrategias fueron propuestas en el grupo GPH y se socializaron con miembros de la comunidad para responder a las necesidades del sistema a corto, mediano o largo plazo. Las estrategias se realizaron y socializaron con la comunidad con base a la solución de los siguientes interrogantes: ¿Quiénes lo realizarán?, ¿Qué necesita la solución del problema?, ¿Cuál es el término de ejecución ?, ¿Qué recomendaciones se deben seguir?

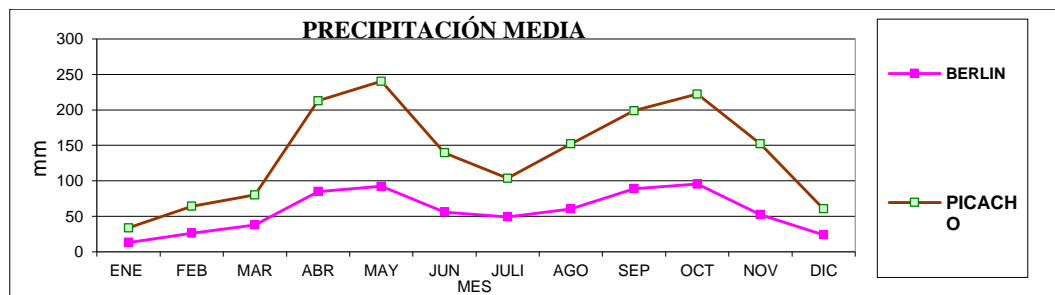
## 2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las 6 jornadas de aforo y monitoreo en época seca, se obtuvo la cantidad de agua suministrada por la estructura de captación y el tanque de almacenamiento para época seca. En cuanto a calidad, los resultados fueron gráficas de comparación entre los puntos de muestreo y los estándares dados por la normativa colombiana, verificación del cumplimiento o no de los indicadores de calidad fisicoquímica y microbiológica.

### 2.1 OFERTA DE AGUA EN CANTIDAD EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO.

En el área de manejo especial propuesta como Distrito de Manejo Integrado Páramo de Berlín (DMI-Berlín), que comprende el área de estudio para esta investigación, el IDEAM reporta un régimen de lluvias bimodal, con periodos de mayor precipitación entre abril-mayo y septiembre-noviembre aproximadamente, con valores que varían entre los 1659.6 mm para el sector El Picacho (Figura7).

**Figura 7. Curvas de distribución de precipitación entorno Regional**



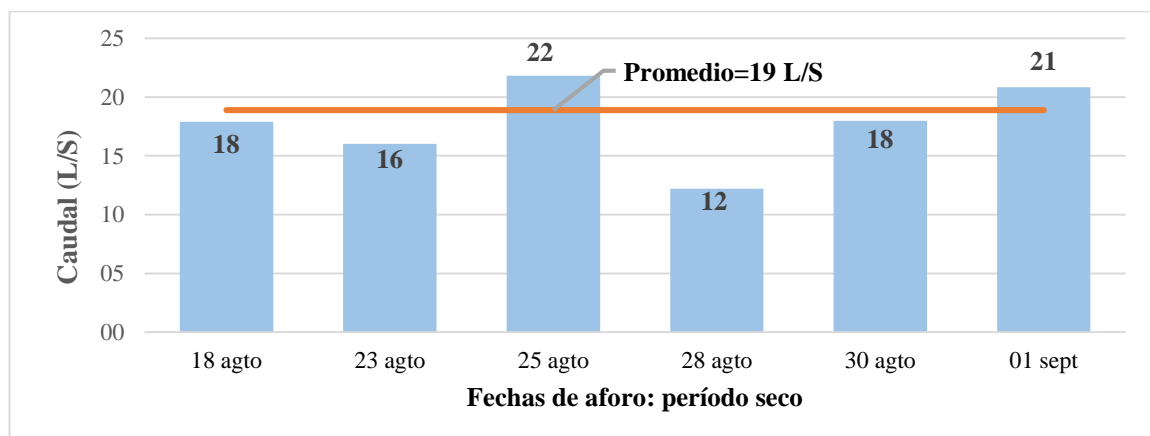
Fuente: Marco Estratégico para la Formulación del Plan de Manejo Ambiental de los Ecosistemas Compartidos Páramo, Subpáramo y Bosque Alto Andino de la Unidad Biogeográfica de Santurbán en la Jurisdicción de la CDMB y CORPONOR, 2004. RESTREPO J., SUÁREZ C. A., and ÁLVAREZ M. Y., "Plan integral de manejo del Distrito de Manejo Integrado de los recursos naturales 'Páramo de Berlín,'" 2008

Según el pronóstico hecho por el IDEAM, agosto reportó escasas precipitaciones en la zona de estudio del páramo de Berlín, afirmación que se contrastó con las jornadas de monitoreo, que dejaron información de la oferta hídrica de la cuenca en términos de cantidad para la estructura de captación y el tanque de almacenamiento. En la zona de estudio se tomó registro de caudales en los dos puntos seleccionados mediante carteras de campo (Anexo 8).

**2.1.1 Oferta de agua en cantidad para Bocatoma** Durante las jornadas de monitoreo, la comunidad manifestó la ocurrencia de precipitaciones durante el mes de agosto de baja y media intensidad, factores naturales que influyeron en el resultado de los caudales.

Los resultados del aforo volumétrico en la bocatoma estuvieron afectados por la incertidumbre propia del montaje en sitio de costales, tanque, teja, plástico y demás materiales, para medir el caudal total suministrado por la captación. Este procedimiento hecho durante las 5 jornadas de monitoreo permitió recoger información de los resultados de caudal total suministrado por la bocatoma para la época seca (ver Anexo 9). A partir de los resultados se realizó la gráfica de seguimiento para el caudal total suministrado en la bocatoma. (Ver Figura 8).

**Figura 8. Caudal en la Bocatoma del sistema de abastecimiento**



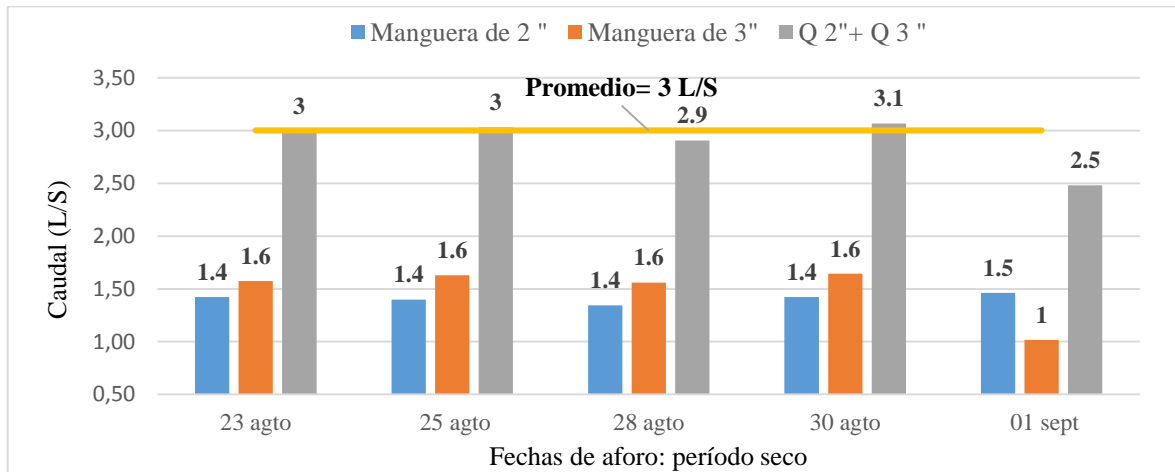
De acuerdo a la gráfica se concluye que para época seca no se presentan grandes fluctuaciones en el caudal total captado por la bocatoma a la quebrada “Las Puentes”. El caudal promedio aportado por la bocatoma fue de 19 L/S, cabe mencionar que el 28 de agosto se presentó una medida de caudal inferior a las 6 obtenidas para periodo seco, la comunidad comunicó que el flujo de agua había disminuido debido a presuntas conexiones aguas arriba de la captación instaladas para alimentar pozos para cultivo.

**2.1.2 Oferta de agua en cantidad para Tanque de almacenamiento.** Las jornadas de aforo al tanque de almacenamiento, indican que en época seca el sistema capta un caudal promedio de 1.6 L/s proveniente de la bocatoma.

No obstante, este flujo no resultó suficiente para las necesidades de la comunidad, por lo que se optó instalar aguas arriba de la bocatoma una manguera de diámetro 2” conectada a la quebrada “Las Puentes”, que suministró adicionalmente 1.41 L/s al tanque de almacenamiento.

De los datos obtenidos de las carteras de campo se construyó una gráfica para mostrar el comportamiento del caudal para las mangueras de 2” y 3”, que suministran flujo al tanque de almacenamiento. En el Anexo 10, aparecen los datos de caudal de los dos suministros entrantes al tanque. Ver Figura 9.

**Figura 9. Caudal total y de cada manguera (2" y 3"), entrantes al tanque de almacenamiento.**



El valor de caudal total correspondiente al 01 de septiembre es atípico, debido a una fuga de agua que se presentó en una tubería por un daño en la conexión ya que la línea era sostenida por un pilar improvisado en campo (Ver figura 10) entre la bocatoma y el tanque de almacenamiento, lo que alteró la medida del caudal de sólo ese día, pues al tanque de almacenamiento no se suministró en su totalidad el captado por la tubería de 3" proveniente de la bocatoma. El sistema está expuesto a múltiples cambios en la oferta hídrica en términos de cantidad, ya que la comunidad manifiesta que aguas arriba de la bocatoma conectan mangueras a la quebrada "Las Puentes" lo que hace disminuir el caudal considerablemente.

**Figura 10. Daño en tubería**



Comparando la oferta hídrica de la bocatoma con las diferentes mediciones que se hicieron en el mes de agosto, se pudo deducir la oferta hídrica promedio de la fuente en este punto que fue de 18.5 L/s y que producto de las dos entradas al tanque de almacenamiento se está captando un flujo aproximadamente de 2.9 L/s, resultado de la contribución de 1.48 L/s de la tubería de 3" (Bocatoma) y 1.41 L/s de la tubería de 2" (Aguas arriba).

## 2.2 ÍNDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA

Los resultados de muestreo del 18 de agosto de 2017, arrojaron resultados cuantitativos de indicadores de calidad de agua en la bocatoma. De los resultados obtenidos (ver Tabla 2), se puede analizar que las características fisicoquímicas en su mayoría se encuentran por debajo de los valores permisibles y cumplen con la normativa exigida por la Resolución 2115 de 2007, excepto la Turbiedad y el Carbono Orgánico Total. De los indicadores microbiológicos, Coliformes Totales y *E.coli*, se encuentran por fuera de los valores admisibles. El análisis del IRCA generó información acerca de los parámetros que cumplían normativa y que además por las características de la zona, se presumía, no tenían presencia en el punto de captación, así que durante el monitoreo se prescindió de tenerlos en cuenta. Se realizó el análisis del no cumplimiento de los parámetros más adelante, ya que las demás jornadas de monitoreo los tienen presentes en los resultados.

**Tabla 2. Análisis de Valor IRCA.**

Características	Resultado	Valor Admisible	Puntaje de Riesgo	Cumplimiento del Valor Admisible	VALOR IRCA
Color (UPC)	14	15	6	si cumple	0
Turbiedad (UNT)	3	2	15	no cumple	15
pH (Unidades de pH)	7.06	6.5 - 9.0	1.5	si cumple	0
Cloro residual Libre (mg/L)	N.A	0.3 - 2.0	15	no cumple	15

Características	Resultado	Valor Admisible	Puntaje de Riesgo	Cumplimiento del Valor Admisible	VALOR IRCA
Alcalinidad Total (mg CaCo <sub>3</sub> /L)	51.3	200	1	si cumple	0
Calcio (mg/Ca/L)	1.24	60	1	si cumple	0
Fosfatos (mg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /L)	<0.05	0.5	1	si cumple	0
Manganeso (mg Mn /L)	<0.014	0.1	1	si cumple	0
Molibdeno (mg Mo/L)	<0.12	0.07	1	si cumple	0
Magnesio (mg Mg/L)	0.43	36	1	si cumple	0
Zinc (mg Zn/L)	<0.059	3	1	si cumple	0
Dureza Total (mg CaCo <sub>3</sub> /L)	38	300	1	si cumple	0
Sulfatos (mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /L)	5.74	250	1	si cumple	0
Hierro Total (mg Fe/L)	<0.07	0.3	1.5	si cumple	0
Cloruros (mg Cl <sup>-</sup> /L)	<8	250	1	si cumple	0
Nitratos (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	0.71	10	1	si cumple	0
Nitritos (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L)	<0.08	0.1	3	si cumple	0
Aluminio (Al <sup>+3</sup> )	N.A	0.2	3	si cumple	0
Fluoruros (F <sup>-</sup> )	0.05	1	1	si cumple	0
Carbono Orgánico Total (COT)	7.24	5	3	no cumple	3
Coliformes Totales (UFC/100mL)	130	0	15	no cumple	15
Escherichia Coli (UFC/100 mL)	120	0	25	no cumple	25
<b>Sumatoria de puntajes asignados</b>			<b>100</b>		

Nota: N.A. Este parámetro no se analizó, pues el agua suministrada por el sistema no es sometida a procesos de desinfección. Por lo tanto, se asignó un puntaje de riesgo de 15. En cuanto al Aluminio, como no se usan coagulantes que puedan generar la presencia de residuales de Aluminio en el sistema, se asumió que cumplía el valor admisible (V.A.)

IRCA (%)

$$= \frac{\text{puntajes de riesgo asignados a los parámetros no aceptables}}{\text{puntaje de riesgo asignado a todas las características analizadas}} \times 100 \quad E 1$$

$$IRCA (\%) = \frac{15 + 15 + 3 + 15 + 25}{100} * 100 = 73\%$$

Según esto el valor del índice IRCA, es de 73% . De acuerdo a la clasificación enmarcada según la Resolución 2115 de 2007, para el nivel de riesgo en salud por muestra, este valor corresponde a un nivel de riesgo ALTO (Ver Anexo 11).

## 2.3 RESULTADOS DEL MONITOREO DE LA CALIDAD

La actitud de los miembros de la comunidad hacia el agua de consumo se vio afectada en gran medida por los parámetros de calidad de agua que son capaces de percibir con sus propios sentidos<sup>23</sup>. La gran mayoría de las personas de la comunidad mencionó durante las encuestas realizadas a la zona<sup>24</sup> que la calidad de agua era buena , basados en su sentido de la vista .En este caso el monitoreo hecho a los tres puntos del sistema de abastecimiento arrojó valores aceptables para la mayoría de aspectos fisicoquímicos y por fuera de los rangos permisibles para la turbiedad, color y parámetros microbiológicos: coliformes totales y *E.coli*.

En el Anexo 12 se puede visualizar la información de campo para los 3 puntos monitoreados en el sistema de abastecimiento: bocatoma, tanque de almacenamiento y vivienda más alejada en la red de distribución.

**2.3.1 Oferta de agua en calidad para Bocatoma** A continuación, se presentan y discuten los resultados del análisis a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos para la calidad de agua en la captación del acueducto

---

<sup>23</sup> OMS, "Aspectos relativos a la aceptabilidad," Guías de la OMS para la Calidad del agua potable, pp. 183–190, 2010

<sup>24</sup> GABRIEL A., BOTERO B., CRISTINA I., and RIVERA D., Op. Cit.

Los Andes-El Progreso y se comparan con los estándares para consumo humano de acuerdo con la reglamentación nacional<sup>25</sup>.

Para el análisis de los resultados de monitoreo se realizó una estadística descriptiva a los parámetros fisicoquímicos analizados en laboratorio (ver Tabla 3).

---

<sup>25</sup> MINISTERIO DE PROTECCION SOCIAL AMBIENTE DESARROLLO Y VIVIENDA,

**Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos monitoreados para la Bocatoma.**

Parámetro	Fecha de muestreo					% que no estuvo dentro la Norma	Máx	Mín.	Media.	Moda	Vx	Valor admisible para consumo humano <sup>26</sup>
	23-ago	25-ago	28-ago	30-ago	01-sep							
pH (unidades de pH)	7.53	7.39	7.26	7.31	7.2	0%	7.53	7.20	7.34	N/A	0.02	6.5-9.0
T°C campo (°C)	13	11	10	11	10	N/A	13	10	11	10	0.11	No tiene
Turbiedad (UNT)	1.00	1.00	2.00	2.87	1.94	20%	2.87	1.00	1.76	1.00	0.45	2
Color (UPC)	12	18	11	16	13	40%	18	11	14	N/A	0.21	15
Conductividad (µs/cm)	26.1	26.6	27.6	27	27.4	0%	27.6	26.1	26.9	N/A	0.02	1000
Hierro total (mg Fe/L)	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	0%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.3
Nitritos (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L)	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	0%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.1
Sulfatos (mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /L)	4.74	4.52	5.31	1.00	3.73	0%	5.31	1.00	3.86	N/A	0.44	250
Cloruros (mg Cl <sup>-</sup> /L)	0.02	12.55	4.94	5.71	4.94	0%	12.55	0.02	5.63	4.94	0.80	250
Dureza Total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	20	24	20	21	22	0%	24	20	21	20	0.08	300
Alcalinidad Total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	49.35	43.43	38.5	47.38	33.56	0%	49.35	33.56	42.44	N/A	0.15	200
Sólidos Totales (mg/L)	98	96	80	78	84	0%	98	78	87	N/A	0.11	<=500
Coliformes Totales (UFC/100 ml)	25	176	390	105	320	100%	390	25	203.2	N/A	0.74	0
<i>E. coli</i> (UFC/100 ml)	11	72	56	42	64	100%	72	11	49	N/A	0.49	0

Nota: N/A se aplica en el parámetro temperatura ya que la norma no estipula un rango de valores aptos para el consumo de agua. Para la estadística descriptiva representa la no existencia de ese valor para los parámetros analizados.

Máx=máximo de los datos, Min= mínimo de los datos y Vx= coeficiente de variación.

<sup>26</sup> Ibíd.

Es natural que los usuarios del acueducto desconfíen del agua que parezca sucia o tenga un color anormal, aunque estas características puedan no tener, en sí mismas, ninguna consecuencia directa para la salud. Debe darse una prioridad máxima al suministro de agua de consumo que, además de ser inocua, tenga un aspecto, sabor y olor aceptables<sup>27</sup>. Como parte de la descripción de la calidad del agua aportada por la microcuenca se describen los parámetros fisicoquímicos que fueron monitoreados durante la época seca y que intervienen en el cambio de esta según las condiciones de la zona.

**2.3.1.1 pH** Define si un líquido es ácido o básico, es conveniente que este cercana al valor neutro; es decir a 7, y no afecta directamente la salud de los consumidores, aunque si influye en la corrosión de las tuberías (si es muy ácido) y en las incrustaciones en las tuberías. Si se quiere realizar tratamiento al agua se debe prestar atención al comportamiento del pH en todas las etapas para garantizar la clarificación del agua y su desinfección<sup>28</sup>.

El pH admisible varía de acuerdo a los sistemas de abastecimiento en función de la composición del agua y los materiales que se emplean en los sistemas de distribución, pero suele oscilar entre 6.5 y 9.0<sup>29</sup>. Comparándolos con los resultados de laboratorio el valor de pH para temporada seca se mantiene dentro del rango permisible. Los valores tomados en situ también cumplieron, pero con un poco de incertidumbre debido a la calibración del equipo con el cual eran medidos.

**2.3.1.2 Temperatura.** El agua fría tiene, por lo general, un sabor más agradable que el agua tibia, y este indicador repercutirá en la aceptabilidad de algunos otros componentes inorgánicos y contaminantes químicos que pueden afectar al sabor.

---

<sup>27</sup> OMS, Op. Cit.

<sup>28</sup> BARRENECHEA A., "Aspectos físicoquímicos de la calidad del agua," Trat. agua para Consum. humano. Plantas Filtr. rápida. Man. I teoría., vol. 1, pp. 2-56, 2004

<sup>29</sup> MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL AND MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Op. Cit.

La temperatura alta del agua, potencia el crecimiento de microorganismos y puede aumentar los problemas de sabor, olor, color y corrosión<sup>30</sup>. La temperatura del agua tomada en campo arrojó un valor promedio de 11°C, sin alteraciones importantes en la toma de datos durante las jornadas de muestreo.

**2.3.1.3 Turbiedad** Está causada por la presencia de partículas de suelo que pueden proceder del agua de origen, como consecuencia de un filtrado inadecuado, o debido a la resuspensión de sedimentos en el sistema<sup>31</sup>. El desprendimiento de biopelículas en las tuberías también incide en la turbidez del agua. La turbiedad es importante en los aspectos de tratamiento, ya que puede indicar problemas para el proceso de sedimentación y filtración. La presencia de ganadería repercute en la alteración de la turbiedad del agua, pues con el continuo paso y pastoreo ablandan el suelo de los alrededores que se convierte en hidrofóbico, aumentando la escorrentía superficial que puede ingresar en la bocatoma o en el desarenador con restos de suelo erosionado y excremento, entre otros. El aspecto del agua con una turbidez menor que 5 UNT, suele ser aceptable para los consumidores según la OMS<sup>32</sup>, pero la normativa colombiana exige un valor inferior a 2 para que se considere potable<sup>33</sup>. En este sentido, de acuerdo con los valores obtenidos, la bocatoma presenta valores de turbidez dentro del parámetro normal, exceptuando el 30 de agosto de 2017, ya que en las noches anteriores se presentaron precipitaciones en la zona de estudio, pero en términos generales, la captación tuvo turbiedades promedio de 1.72 UNT; que no presentan problemas de calidad en términos de turbiedad.

**2.3.1.4 Color aparente** El agua de consumo humano no debe presentar ningún color, si lo tiene, se debe a la presencia de materia orgánica coloreada

---

<sup>30</sup> OMS Op. Cit.

<sup>31</sup> *Ibíd.*

<sup>32</sup> GORCHEV H. G. and OZOLINS G., Op. Cit.

<sup>33</sup> MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL AND MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Op. Cit.

(principalmente ácidos húmicos y fúlvicos) asociados al humus del suelo<sup>34</sup>. En el color también puede influir la presencia de algunos metales, impurezas naturales, entre otros, que dan resultado a la corrosión en tuberías o a las estructuras del sistema. Las personas pueden percibir el color del agua con niveles mayores que 15 unidades de color verdadero UPC en un vaso de agua<sup>35</sup>. Para la aceptación de este parámetro los valores se deben mantener inferiores a 15 UPC, aunque no se proponen valores basados en efectos sobre la salud, comparando los resultados se infiere que la bocatoma presenta un color del agua aceptable.

**2.3.1.5 Conductividad** Medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica. La conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por lo tanto, cuanto mayor sea dicha concentración, mayor será la conductividad<sup>36</sup>. La Resolución 2115 de 2007 estipula que, si hay un incremento en los valores habituales de la conductividad, esto indica un cambio sospechoso en la cantidad de sólidos disueltos<sup>37</sup>. El valor máximo aceptable de conductividad puede ser hasta 1000 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )<sup>38</sup>, comparándose con los obtenidos de los resultados, no hay riesgo de alteración a la calidad pues el valor promedio se mantiene en 26.94 y además no hay gran dispersión en la toma de los datos, pues la desviación estándar es de 0.6.

**2.3.1.6 Hierro Total** Es un constituyente normal del organismo, por lo general sus sales no son tóxicas en las cantidades comúnmente encontradas en las aguas naturales<sup>39</sup>. El hecho de encontrar presencia de hierro puede afectar el agua y producir manchas indelebles sobre los artefactos sanitarios y la ropa blanca, y también puede formar depósitos y producir obstrucciones en las redes de

---

<sup>34</sup> OMS, Op. Cit.

<sup>35</sup> *Ibíd.*

<sup>36</sup> ANÓNIMO, "Conductividad eléctrica," Química, pp. 1–3, 2014

<sup>37</sup> MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL AND MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Op. Cit.

<sup>38</sup> *Ibíd.*

<sup>39</sup> BARRENECHEA A., Op. Cit.

distribución, así como o alteraciones en la turbiedad y el color del agua<sup>40</sup>. El valor máximo permisible, siguiendo consideraciones de sabor, establecido en la Resolución 2115 de 2007 no debe superar 0.3 mg/L de Hierro Total<sup>41</sup>. Los valores encontrados en la bocatoma según los resultados de la muestra arrojan un comportamiento de Hierro Total dentro del estándar, incluso debajo de los valores detectables por el método de medición en la bocatoma.

**2.3.1.7 Nitritos.** El nitrógeno es un nutriente importante para el desarrollo de los animales y las plantas acuáticas. Por lo general, en el agua se lo encuentra formando Amoniaco, Nitratos y Nitritos<sup>42</sup>. La presencia de nitritos está asociada a la baja oxigenación del agua, al uso de fertilizantes nitrogenados y a la acumulación por excretas humanas y animales<sup>43</sup>. La toxicidad de los nitritos es alta, pero en aguas naturales no se presentan niveles mayores a 1 mg/L<sup>44</sup>, siendo este el valor límite permisible y comparándolo con el valor obtenido en campo que estuvo siempre por debajo del límite detectable de 0.08 mg/L, puede decirse que la presencia de Nitritos en la Bocatoma no altera la calidad del agua.

**2.3.1.8 Sulfatos.** La presencia de sulfatos en el agua de consumo puede generar un sabor apreciable y en niveles altos provocar un efecto laxante en consumidores no habituados, pero por lo general son un componente natural de las aguas superficiales y no se encuentran en concentraciones grandes que puedan afectar su calidad<sup>45</sup>. En las muestras tomadas a la bocatoma, los valores de concentración de los sulfatos fueron muy bajos en comparación con el límite permisible de 250 mg/L, lo que asegura la no contaminación del agua en la captación por la presencia de sulfatos.

---

<sup>40</sup> *Ibíd.*

<sup>41</sup> MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL AND MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Op. Cit.

<sup>42</sup> BARRENECHEA A., Op. Cit.

<sup>43</sup> *Ibíd.*

<sup>44</sup> *Ibíd.*

<sup>45</sup> OMS, Op. Cit.

**2.3.1.9 Cloruros** Las aguas superficiales normalmente con contienen cloruros con concentraciones altas como para afectar el sabor, excepto en aquellas fuentes provenientes de terrenos salinos o de acuíferos con influencia de corrientes marinas<sup>46</sup>. La presencia de este parámetro va relacionada con la percepción de sabor más no con motivos de salubridad, teniendo en cuenta ello el límite permisible es de 250 mg/L. Según lo obtenido en el laboratorio, la concentración de cloruros en la bocatoma es muy baja en comparación con los valores estipulados en las normas de calidad colombiana.

**2.3.1.10 Dureza Total** Derivada de la presencia de Calcio y Magnesio y va de la mano con el pH y la Alcalinidad, generalmente es apreciable su presencia cuando existe la necesidad de utilizar más jabón para conseguir la limpieza deseada, o cuando se está en la ducha hay que aplicar más shampoo al cabello para lograr el efecto deseado<sup>47</sup>. El agua con valores de dureza altos es más propicia a formar depósitos en las tuberías hasta el punto de obstruirlas<sup>48</sup>, en términos generales se puede considerar el agua de la bocatoma como blanda una que tiene valores inferiores a 100mg/L, cumpliendo además el valor permisible de 300mg/L.

**2.3.1.11 Alcalinidad Total:** Es la capacidad del agua de neutralizar ácidos<sup>49</sup>. La alcalinidad está influenciada por el pH, la composición general del agua, la temperatura. Está presente en las aguas naturales como un equilibrio de carbonatos y bicarbonatos con el ácido carbónico<sup>50</sup>. Este parámetro tiene incidencia sobre el carácter corrosivo o incrustante que pueda tener el agua y, cuando alcanza niveles altos, puede tener efectos sobre el sabor; una fuente no debe mostrar cambios bruscos o repentinos en el contenido de la alcalinidad, pues esto podría indicar un

---

<sup>46</sup> BARRENECHEA A., Op. Cit.

<sup>47</sup> OMS, Op. Cit.

<sup>48</sup> Ibíd.

<sup>49</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, "Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales," 2005

<sup>50</sup> Ibíd.

cambio en la calidad del agua<sup>51</sup>. Respecto al valor de aceptabilidad de alcalinidad de 200mg/L, los resultados arrojados del análisis de las muestras se encuentran cumpliendo con la normativa.

**2.3.1.12 Sólidos Disueltos Totales** La palatabilidad del agua con concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT) menor que 600 mg/l suele considerarse buena, pero a concentraciones mayores que 1000 mg/l, la palatabilidad del agua de consumo disminuye significativa y progresivamente<sup>52</sup>. Los consumidores también pueden considerar inaceptable la presencia de concentraciones altas de SDT debido a que genera excesivas incrustaciones en tuberías, calentadores, calderas y electrodomésticos<sup>53</sup>. No se ha propuesto ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para los SDT<sup>54</sup>. Según la Resolución 2115 de 2007, el valor admisible es menor a 500 mg/L<sup>55</sup>, y en la bocatoma los resultados en promedio de 87.2 mg/L son inferiores.

**2.3.1.13 Carbono Orgánico Total** Generalmente se origina de forma natural en plantas y animales como resultado de su metabolismo, excreción y descomposición<sup>56</sup>. No obstante, los efluentes de las industrias que utilicen compuestos orgánicos también son una fuente significativa de emisión de Carbono Orgánico Total (COT) al ambiente<sup>57</sup>. No existe conocimiento de que el COT provoque efectos adversos sobre la salud humana. Sin embargo, elevadas concentraciones en las aguas superficiales generan una disminución muy

---

<sup>51</sup> MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL AND MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Op. Cit.

<sup>52</sup> OMS, Op. Cit.

<sup>53</sup> *Ibíd.*

<sup>54</sup> *Ibíd.*

<sup>55</sup> MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL AND MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Op. Cit.

<sup>56</sup> PRTR España. and Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, "Carbono orgánico total (COT)(Como C total o DQO/3) | PRTR España," 2012. [Online]. Available: <http://www.prtr-es.es/Carbono-organico-total-COTComo-C,15663,11,2007.html>

<sup>57</sup> *Ibíd.*

importante del oxígeno disuelto<sup>58</sup>. De acuerdo a los resultados arrojados obtenidos, el COT, no cumple con el valor máximo admisible pero no genera riesgo a la salud humana; pues no es un valor grande. Se corrobora su presencia pues en la zona de captación hay presencia de plantas y maleza dentro de la estructura.

**2.3.1.14 Aspectos Microbiológicos** El mayor riesgo microbiano del agua está relacionado con el consumo de agua contaminada con excrementos humanos o animales, aunque puede haber otras fuentes y vías de exposición significativas<sup>59</sup>.

#### **A. Coliformes Totales**

El «total de bacterias coliformes» incluye una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, capaces de proliferar en presencia de concentraciones relativamente altas de sales biliares, fermentando la lactosa y produciendo ácido o aldehído en 24 horas a 35–37 °C<sup>60</sup>. Las Coliformes Totales pueden sobrevivir y proliferar en el agua. Por consiguiente, no son útiles como índice de agentes patógenos fecales, pero pueden utilizarse como indicador de la eficacia de tratamientos y para evaluar la limpieza e integridad de sistemas de distribución y la presencia de biopelículas naturales<sup>61</sup>.

Algunas de estas bacterias se excretan en las heces de personas y animales, pero muchos coliformes son heterótrofos y capaces de multiplicarse en suelos y medios acuáticos<sup>62</sup>. Los Coliformes Totales pueden también sobrevivir y proliferar en sistemas de distribución de agua, sobre todo en presencia de biopelículas. La presencia de Coliformes Totales en sistemas de distribución y reservas de agua almacenada puede revelar una repropagación y posible formación de biopelículas,

---

<sup>58</sup> *Ibíd.*

<sup>59</sup> OMS, “Aspectos microbiológicos,” *Guías para la Calidad. Agua Potable la Organ. Mund. la Salud*, pp. 105–126, 2004

<sup>60</sup> *Ibíd.*

<sup>61</sup> OMS, “Hojas de información microbiológica,” *Guías para la Calidad. del agua*, pp. 191–241, 2006.

<sup>62</sup> *Ibíd.*

o bien contaminación por la entrada de materias extrañas, como tierra o plantas<sup>63</sup>, fenómeno que es probable en este sistema donde se encontró en todas las muestras presencia de este indicador, superando los niveles admisibles de 0 UFC/100 ml. Después de realizada la inspección era posible su presencia según las condiciones de la estructura de captación, pues en la bocatoma entraba materia procedente de escorrentía superficial, tierra, plantas y animales y al tener materia orgánica estos organismos pueden sobrevivir a pesar de que la temperatura de la zona sea baja.

## **B. Ecoli**

*E. coli* está presente en concentraciones muy grandes en las heces humanas y animales, y raramente se encuentra en ausencia de contaminación fecal, aunque hay indicios de que puede crecer en suelos tropicales<sup>64</sup>. Como indicador se considera que *Escherichia coli* es el índice de contaminación fecal más adecuado. *Escherichia coli* (o bien los coliformes termo tolerantes) es el microorganismo de elección para los programas de monitoreo para la verificación, incluidos los de vigilancia de la calidad del agua de consumo<sup>65</sup>. Hay grandes cantidades de *Escherichia coli* en las heces humanas y animales, en las aguas residuales y en el agua que ha estado expuesta recientemente a contaminación fecal.

---

<sup>63</sup> ASHBOLT N., GRABOW W., and SNOZZI M., "Indicators of microbial water quality," Water Qual. Guidel. Stand. Heal., no. Grabow 1996, pp. 289–316, 2001

<sup>64</sup> OMS, Op. Cit.

<sup>65</sup> *Ibíd.*

**Figura 11. Presencia animal bocatoma**



*Es muy poco probable que la disponibilidad de nutrientes y la temperatura del agua en los sistemas de distribución de agua de consumo favorezcan la proliferación de estos microorganismos<sup>66</sup>.*

Los resultados de E. coli para la Bocatoma indican la presencia de contaminación por heces humanas o de animales; suposición que se verifica después de la inspección realizada donde se pudo observar animales en la zona de captación y de excremento animal (Ver Figuras 11 y 12)

**Figura 12. Excremento: zona captación.**



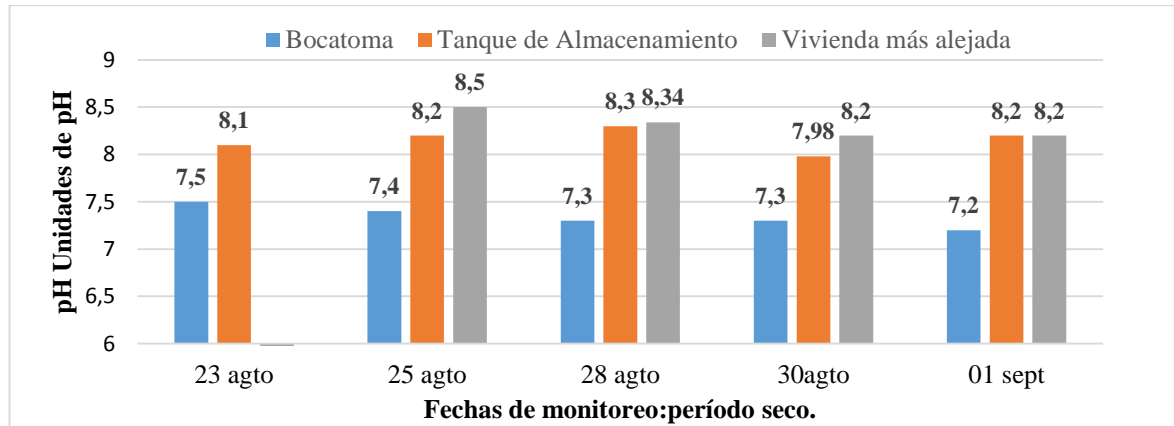
**2.3.2 Cambios en la calidad del agua en el sistema** Los cambios más notorios que se pueden evaluar entre bocatoma-tanque de almacenamiento y vivienda más alejada, son los relacionados con los parámetros de monitoreo fisicoquímicos: pH, Temperatura, Turbiedad y microbiológicos: Coliformes Totales y E. Coli.

---

<sup>66</sup> Ibíd.

**2.3.2.1 pH** Los resultados de pH para los 3 puntos se mantuvieron en un rango de cumplimiento según la normatividad colombiana que exige valores entre 6.5 y 9.0, ver Figura 13.

**Figura 13 Gráfica de pH en bocatoma, tanque de almacenamiento y vivienda más alejada.**



En la bocatoma, los valores se encontraron más cercanos a 7, valor recomendado para agua potable<sup>67</sup>, ya que el agua en este punto no tiene presencia de metales que alteren la medida de acidez o basicidad del pH. En el tanque de almacenamiento al igual que la vivienda más alejada se presentaron valores similares, pero en comparación con la bocatoma el pH aumentó, ese resultado se esperaba, ya que a estos puntos llega el agua después de recorrer en su totalidad las tuberías de conducción y suministro y trae consigo la acumulación de partículas y sedimentos propios de la fuente o del desgaste de los conductos los cuales en su mayoría son de manguera y no en tubería PVC, lo que podría implicar un incremento en el valor del pH<sup>68</sup>.

**2.3.2.2 Temperatura** Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la

<sup>67</sup> MINISTERIO DE PROTECCION SOCIAL AMBIENTE DESARROLLO Y VIVIENDA Op. Cit.

<sup>68</sup> OMS, Op. Cit.

absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la desinfección y procesos de mezcla<sup>69</sup>, en la Figura 14 se muestran los datos de temperatura del sistema.

La temperatura del agua en la bocatoma es baja, tiene un valor promedio de 11°C, según las condiciones climáticas cambiantes de la zona. El tanque no tiene gran variación con respecto a la Bocatoma, disminuye unos grados °C por el transporte obligatorio de la misma entre bocatoma, desarenador y tanque de almacenamiento, que se traduce en pérdidas por la fricción de la conducción del agua. En términos generales se maneja una temperatura promedio de 10.9° C, que no interviene en riesgo alguno para la salud humana

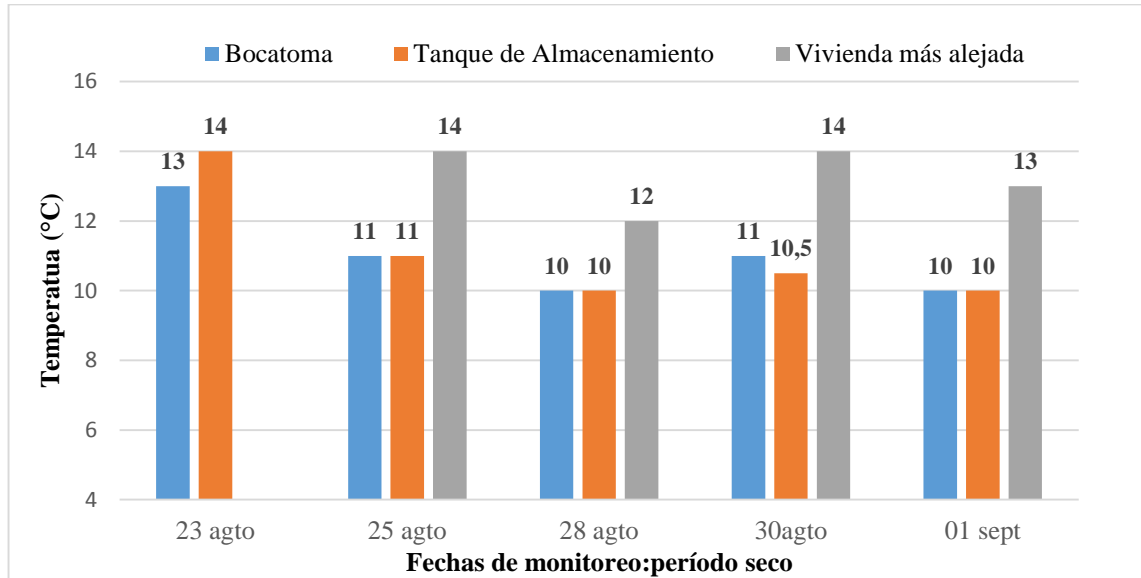
La temperatura en la vivienda más alejada aumentó unos 3° C, aproximadamente respecto a la media de 10.9 °C del tanque de almacenamiento, producto en parte a la exposición de las tuberías al ambiente (no enterradas) y a la caída de elevación entre el tanque y la casa de familia<sup>70</sup>. Las tuberías internas afectan, pues en particular las de la “vivienda más alejada” están deterioradas y algunas son de manguera, lo que aumenta el desgaste del material.

---

<sup>69</sup> BARRENECHEA A., Op. Cit.

<sup>70</sup> CUALLA R. A. L., Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados., Segunda ed.

**Figura 14. Gráfica de Temperatura en bocatoma, tanque de almacenamiento y vivienda más alejada.**



**2.3.2.3 Turbiedad** La turbiedad visualmente es de características óptimas para todo el sistema, pero al momento de tomar las muestras los resultados arrojados no concordaron con la inspección visual. La bocatoma presentó los valores más bajos de los 3 puntos analizados, se encuentra en el inicio del sistema, por tanto, el agua no se contamina tanto por factores externos de transporte ajenos a los naturales de la quebrada “Los puentes”. En el tanque, el nivel de agua era muy bajo (aproximadamente unos 15 cm), lo que dificultaba sumergir el frasco sin que tocara el fondo. Posiblemente la inmersión del frasco removía sólidos del fondo del tanque, lo que influyó en los resultados de niveles de turbiedad mayores en comparación con los de la bocatoma. La turbiedad también pudo verse afectada debido a las precipitaciones presentadas en la zona y a la conducción de sólidos por la manguera de 2” aguas arriba de la bocatoma.

Respecto a los valores admisibles estipulados por la Resolución 2115 de 2007, se pudo evidenciar que la mayoría de los datos puntuales no cumplen la normativa, excepto el 30 de agosto que arrojó un valor de 1.82 UNT, menor a 2 UNT (valor

admisible). La turbiedad de la vivienda fue el indicador de calidad que más se alejó del valor permisible, en parte se debe al transporte del agua por las tuberías (todas no son de PVC), lo que influye en acumulación y arrastre de partículas, incrustaciones, formación de biopelículas; que influyen en la alteración del indicador<sup>71 72</sup>.

La gráfica de turbiedad (Figura 15), ilustra un comportamiento no uniforme de este indicador, ya que fue fluctuante y está causado por la presencia de partículas de materia, que pueden proceder del agua de origen, o debido a la suspensión de sedimentos en el sistema de distribución. La presencia de partículas de materia inorgánica en contacto con las tuberías y el desprendimiento de biopelículas en el sistema de distribución afectan los valores de turbiedad. Además, durante la toma de muestras la comunidad manifestó la ocurrencia de precipitaciones de alta intensidad que influyeron en el arrastre de partículas, las cuales se estancaban en el desarenador que no estaba diseñado para ese caudal de trabajo, que era mucho mayor al de diseño<sup>73</sup>.

En el desarenador debido a que este se encontraba a nivel de la rasante durante la temporada de lluvias es muy probable que material contaminante entrará a este, lo que incidió en el aumento de sedimentos en el fondo, alterando la calidad del agua; esto se evidenció durante todas las jornadas de monitoreo que se realizaron a la zona donde se encontró el desarenador con mucha presencia orgánica tanto en la superficie como en el fondo.

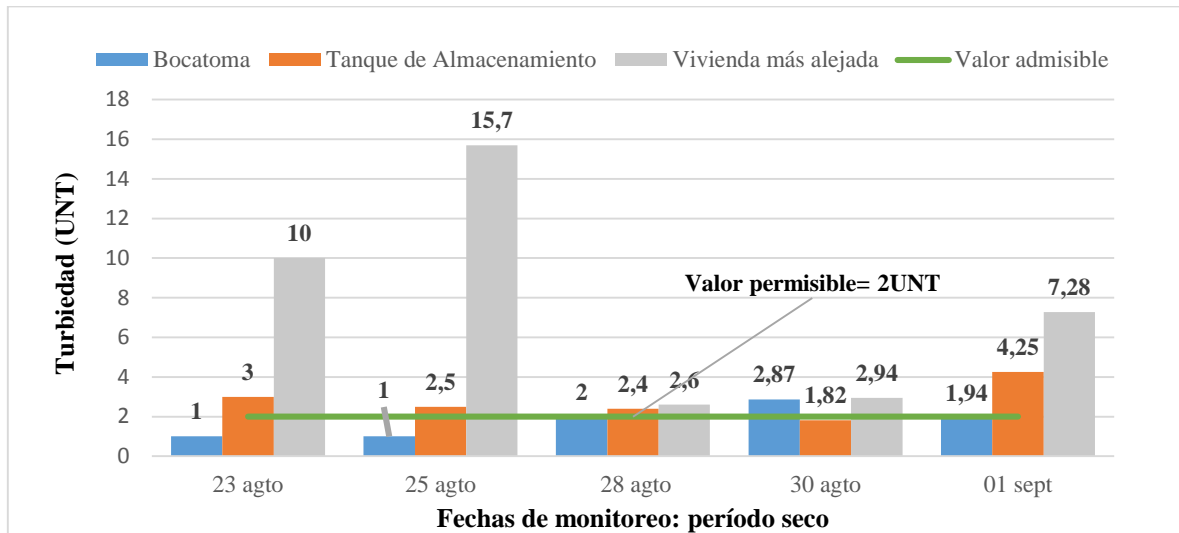
---

<sup>71</sup> OMS, Op. Cit.

<sup>72</sup> BARRENECHEA A., Op. Cit.

<sup>73</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, “Reglamenta los Aspectos Técnicos para el sector Agua Potable y Saneamiento Básico. Resolución No. 1096 del 17 de noviembre de 2000.,” no. 1096, pp. 1–106, 2000

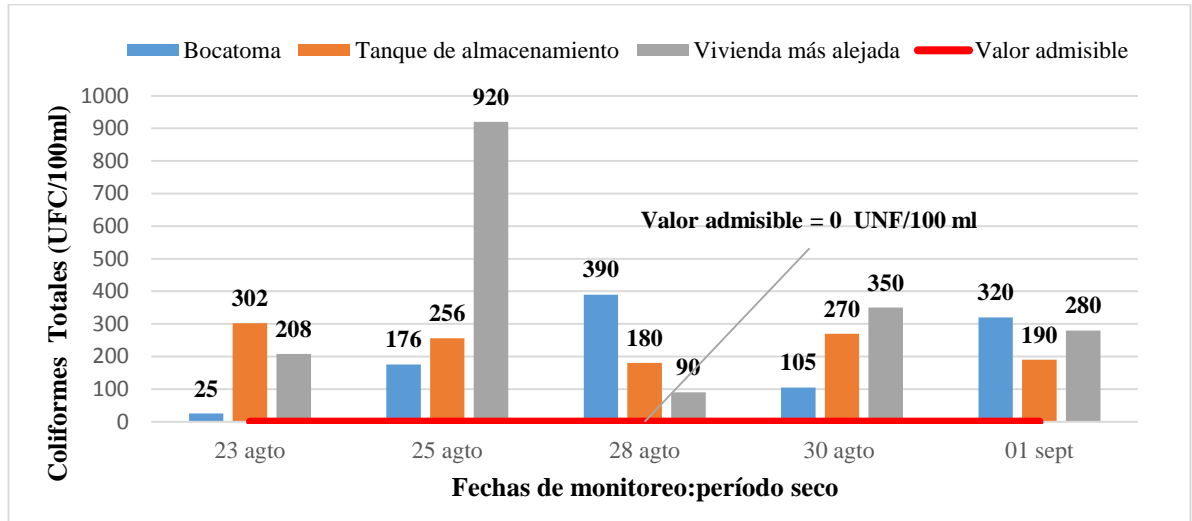
**Figura 15. Gráfica de Turbiedad en bocatoma, tanque de almacenamiento y vivienda más alejada.**



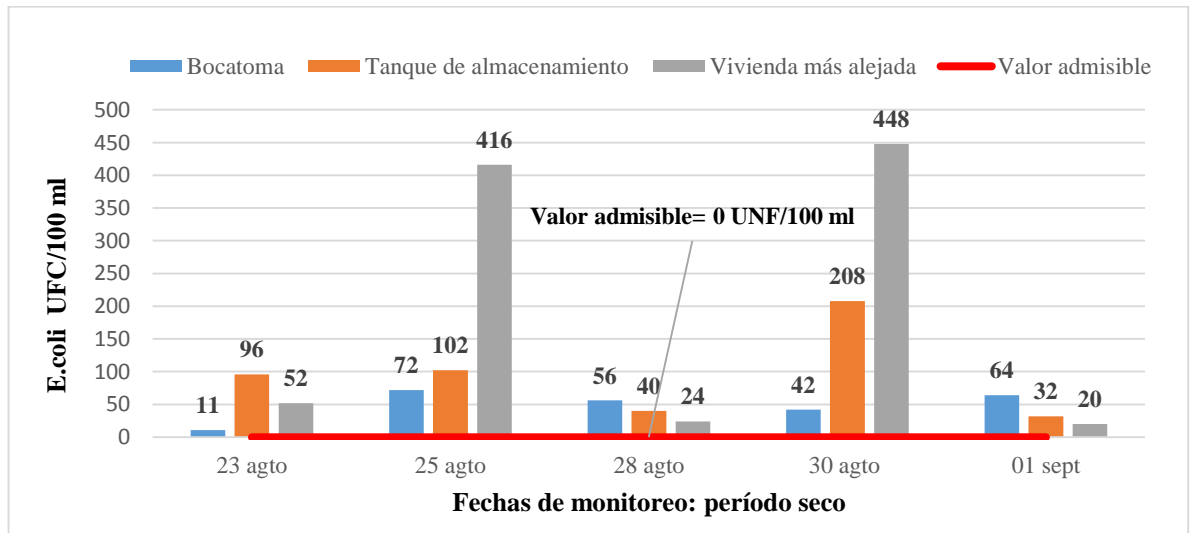
**2.3.2.4 Coliformes Totales y E. coli** En las Figuras 16 y 17 se puede visualizar el comportamiento de los indicadores microbiológicos: Coliformes Totales y E.coli , con sus respectivos valores admisibles estipulado por la Resolución 2115 de 2007<sup>74</sup> [19].

<sup>74</sup> MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL AND MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Op. Cit.

**Figura 16. Gráfica de Coliformes Totales en bocatoma, tanque de almacenamiento y vivienda más alejada**



**Figura 17. Gráfica de E. coli en bocatoma, tanque de almacenamiento y vivienda más alejada**



La bocatoma es determinante para un eventual proceso de tratamiento al agua, los indicadores microbiológicos muestran presencia de contaminación por materia orgánica y heces de animales. El valor de Coliformes Totales es mayor en comparación con el de *E.coli*. En este caso, la bocatoma está expuesta a presencia

de animales invertebrados y vertebrados (vacas, caballos, perros, etc.), sólidos sedimentables en el fondo y presencia de flora; que son factores influyentes en que los resultados hayan arrojado presencia de Coliformes Totales y E. coli. Dentro del tanque se pudo visualizar la presencia de musgo que revestía sus paredes de concreto, además de sedimentos que brindan condiciones de supervivencia a los microorganismos, y son transportados al aumentar el caudal del agua<sup>75</sup>. El nivel de agua en el tanque no era tan alto, lo que aumentó la posibilidad de alteración en las muestras ya que el fondo del mismo es idóneo para que se presente mayor acumulación de focos de contaminación microbiana, pues según fuentes como la OMS, microorganismos como la E. coli pueden almacenarse en los sedimentos y movilizarse con el aumento de caudal<sup>76</sup>. El ganado, como las vacas y ovejas y, en menor medida, las cabras, los cerdos y los pollos, son una fuente importante de cepas microbianas y a lo largo de las jornadas de monitoreo se observó presencia de ganado vacuno, equino y caninos<sup>77</sup>. En términos generales, el tanque de almacenamiento tuvo presencia de microorganismos que sobrepasaron los límites permisibles de *0 UFC/100ml*.

La presencia de microorganismos en la vivienda no fue nula, al contrario, se presentaron valores de Coliformes Totales altos con una media de 232, y de E. coli con 36 UFC/100ml, el estado de las tuberías de distribución del sistema y las internas de la casa pueden prevalecer para la proliferación de estas cepas de microorganismos. Por otra parte, los daños que se presentan en las tuberías o las conexiones mal hechas también aumentan el riesgo de contaminación del agua<sup>78</sup>, aunque según la inspección al sistema e información recibida se presentan con una frecuencia de ocurrencia baja.

---

<sup>75</sup> OMS, Op. Cit.

<sup>76</sup> *Ibíd.*

<sup>77</sup> OMS, Op. Cit.

<sup>78</sup> OMS, Op. Cit.

La vivienda más alejada arrojó valores máximos de Coliformes Totales y E. coli, 350 y 52 UFC/100ml respectivamente, a pesar de que se siguieron los protocolos de toma de muestras y se esterilizó la llave de suministro de agua de donde se tomó la muestra, se pudo inspeccionar que las tuberías de la “vivienda más alejada” no estaban en las mejores condiciones y además el tiempo de residencia del agua en la tubería también limita que llegue libre de patógenos a la casa.

## **2.5 FORMULACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE MEJORA.**

De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis y en pro del mejoramiento de la sostenibilidad del sistema de acueducto, se formularon estrategias que respondieron interrogantes ya planteados en la metodología.

Las estrategias se ordenaron con base a su prioridad de ejecución en la comunidad y se les asignó un puntaje de riesgo en relación con la situación de impacto que tuviesen para el mejoramiento del sistema.

La Tabla 5 plasma en su contenido pautas de cómo se deben realizar con la comunidad las mejoras al sistema, quienes estarán involucrados y los plazos de ejecución.

Se identificaron amenazas a la calidad de agua en los puntos analizados del sistema como bocatoma, desarenador, tanque de almacenamiento y vivienda más alejada;

*Bocatoma:* La presencia de materia orgánica, flora y fauna dentro de la estructura de captación es un problema que afecta la calidad del agua saliente. La ubicación de la estructura de captación y aspectos técnicos influyen a que la escorrentía superficial contaminada con excretas animales entre sin control a la zona.

*Desarenador:* En el desarenador se identifican problemas con la resuspensión de los sedimentos, pues durante las jornadas de monitoreo se notó, que mientras se retenía el agua para medir el caudal en captación y luego se dejaba circular normalmente, este tardaba bastante tiempo en suspender los sólidos disueltos, lo que afecta la turbiedad aguas abajo. El diseño del desarenador no es el adecuado para suplir el caudal entrante, pues el caudal de trabajo es mucho mayor al de diseño.

*Tanque de almacenamiento:* La poca frecuencia de limpieza periódica del tanque de almacenamiento puede conducir al crecimiento bacteriano. Durante las jornadas de monitoreo se notó suciedad en las paredes del tanque, el nivel de agua era bajo lo que facilitó ver con claridad el fondo e identificar la presencia de sólidos sedimentados en el fondo, las condiciones de la tubería de paso directo eran malas, pues se encontraba rota. Sin mencionar que aguas abajo se presentaba una fuga que incidió notablemente en la lectura baja del nivel de agua en el tanque.

*Vivienda más alejada:* este punto del sistema, es de observación especial, pues las características de calidad acá dependen en gran medida con lo que pase aguas arriba en el sistema. Pero enfocándose en la vivienda, se observó que las tuberías de la acometida externa a la casa estaban en mal estado y en su mayoría no eran de PVC, sino una manguera generalmente de caucho que tenía varias reparaciones artesanales de fugas. En la mayoría de las viviendas no se hace tratamiento antes de consumir el agua, sino es usual que la beban directamente del grifo.

**2.5.1 Priorización de Estrategias** Actualmente los acueductos rurales presentan dificultades para potabilizar el agua debido a la falta de infraestructura y de recursos, de igual forma existen dificultades administrativas y operativas, ya que muchas comunidades no se encuentran capacitadas para ejercer estas funciones. En la Tabla 4, se muestran algunas de las estrategias propuestas para mitigar el riesgo por contaminación a la oferta hídrica en el sistema estudiado.

**Tabla 4. Priorización de estrategias**

<b>Estrategias.</b>	<b>Nivel de riesgo</b>	<b>Intervención externa</b>
Capacitación a la comunidad	Medio	Si
Monitoreo y vigilancia al sistema	Alto	Si
Mejoramiento de instalación en el punto adicional de suministro de caudal al tanque.	Alto	No
Limpieza periódica del tanque	Alto	No
Construcción de un sistema de filtración lenta	Medio	Si
Cloración en tanque de almacenamiento	Alto	Si
Arreglo de la tubería de paso en el tanque y cambio de tuberías en mal estado	Medio-Alto	No
Cercamiento de las estructuras de captación y tanque	Alto	No
Reubicación de la captación	Medio	Si

Las estrategias que se plantean para el mejoramiento de la calidad del agua en el sistema de acueducto de Los Andes-El progreso, responden a problemáticas que requieren de participación directa de la comunidad beneficiada del acueducto, pero también de terceros que pueden realizar aportes para llevar a cabo las mejoras (ver Tabla 5).

**Tabla 5. Pautas para el desarrollo de las estrategias de mejora a la problemática de contaminación**

Estrategia	Recomendaciones a seguir	¿Quiénes lo realizarán?	¿Qué necesita la solución del problema?	Término de ejecución
Capacitación de la comunidad	Se recomiendan jornadas de capacitación a la comunidad para que puedan afrontar problemáticas relacionadas con el monitoreo de su sistema de abastecimiento, además de recomendaciones sobre el consumo del agua en las viviendas.	Delegados de la alcaldía del municipio de Tona o miembros de la CDMB	Necesita la presencia de las instituciones y disposición de la comunidad a recibir las capacitaciones; en las encuestas se pudo evidenciar que la mayoría de la gente estaba dispuesta a recibir información de mejoramiento del sistema.	Mediano plazo, pues requiere de apoyo externo.
Cercamiento de las estructuras de captación y tanque	Se recomienda cercar la estructura de captación, desarenador y el tanque de almacenamiento para evitar la presencia de animales que contaminen el agua.	La comunidad en su gran mayoría manifestó estar de acuerdo en jornadas de trabajo para mejorar la calidad del agua, se recomienda la conformación de un grupo de	Para la ejecución de la actividad se necesitan postes de madera, alambre dulce, alambre de púas entre otros, además de la mano de obra. La comunidad ha manifestado dar una cuota mensual de donde se puede obtener los fondos para la compra del material	Es una tarea que no demanda la intervención de fuentes externas, sin embargo, requiere recursos y concertación con los propietarios de los predios aledaños, entonces esto sería de

Estrategia	Recomendaciones a seguir	¿Quiénes lo realizarán?	¿Qué necesita la solución del problema?	Término de ejecución
		trabajo que atienda las jornadas de cercamiento.		ejecución a mediano plazo por parte de la comunidad.
Tramitar la concesión de la oferta hídrica actual captada por la bocatoma de 3 L/S aproximadamente.	Asesorarse de profesionales que puedan orientar acerca de la metodología necesaria para acceder a la concesión por parte de la comunidad a la oferta hídrica de 3 L/S, captada actualmente por el acueducto rural.	Lo realizarían las personas encargadas de la administración periódica del acueducto rural de los “Andes – El progreso”	Fondos para poder contratar al personal capacitado en orientar acerca del proceso de concesión del agua para fines de consumo, o en su defecto ayuda por parte de la alcaldía de Tona o la CDMB.	De corto a mediano plazo, puesto que es de vital importancia la tarea de tramitar la concesión para que obtengan el derecho al aprovechamiento de las aguas superficiales ya sea para los fines domésticos o de riego en su defecto.
Filtración de arenas y gravas	Se recomienda construir un filtro de acción lenta en el sistema , debido a los valores pico de turbiedad	La comunidad podría desarrollarlo en conjunto con personas	En primera instancia se necesita el diseño del filtro , obedeciendo a que la fuente de agua se	El término de ejecución de la estrategia es de medio a largo plazo , debido a

Estrategia	Recomendaciones a seguir	¿Quiénes lo realizarán?	¿Qué necesita la solución del problema?	Término de ejecución
	que superan los 10 UNT , durante época de lluvias.	profesionales de la administración pública del municipio que orienten en la construcción y ubicación del filtro en el sistema de abastecimiento.	categoriza como regular <sup>79</sup> , posterior a ello inyección económica para la mano de obra y los materiales para su construcción.	la demanda de insumos que se necesitan para la construcción del filtro.
Cloración del agua	Se recomienda administrar dosis bajas de cloro en el tanque de almacenamiento, que ayude a eliminar los indicadores microbiológicos en el sistema	Con la capacitación adecuada la comunidad de la zona “Los Andes –El Progreso” , pueden delegar a alguien que se encargue de esta tarea.	Se necesita conocer la dosis de cloro a aplicar y el valor del residual libre , para ello se deben hacer pruebas frecuentes de demanda de cloro; además se debe contar con materiales y mano de obra para la actividad de administración en el tanque.	Con el fin de solucionar el problema que tiene el agua referente a coliformes y E.coli , el corto plazo sería un término de ejecución ideal.

<sup>79</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, “Reglamento técnico del sectode de agua potable y saneamiento básico RAS - 2000,” Reglam. Técnico Del Sect. Agua Potable Y Saneam. Basico Ras -2000, vol. TITULO B, p. 206, 2000

Estrategia	Recomendaciones a seguir	¿Quiénes lo realizarán?	¿Qué necesita la solución del problema?	Término de ejecución
Limpieza periódica de los componentes del sistema	Se recomienda una limpieza periódica del sistema que evite el crecimiento de cepas bacterianas	La comunidad de Los Andes-El Progreso, ha delegado la responsabilidad de jornadas de limpieza a un grupo de personas que han venido prestando tal servicio. Sería de gran ayuda la distribución de estas tareas como fue expresado en las encuestas realizadas a la población	Se necesitan materiales y herramientas de limpieza como Hipoclorito con una concentración de 100mg/L, para desinfectar y que no quede residuos en las paredes del tanque, además de escobas, baldes, etc.	El término de ejecución de dicha actividad es de corto plazo, ya que se demanda su limpieza constantemente para evitar acumulación de maleza y sedimentos en paredes y fondo del tanque respectivamente.
Cambio de tuberías e instalaciones en mal estado en las viviendas	Se recomienda una inspección hecha por los habitantes de cada vivienda a las acometidas y tuberías internas, para remplazar las	Integrantes de cada familia.	Los materiales serán acordados a los cambios que haya que hacer a las tuberías que se encuentre en mal estado, pero	Como es una tarea propia de cada vivienda, el plazo de ejecución va

Estrategia	Recomendaciones a seguir	¿Quiénes lo realizarán?	¿Qué necesita la solución del problema?	Término de ejecución
	de caucho, por un material según lo estipulado en la RAS 2000 Título B		pueden incluir tubería PVC, pegante, tijeras, uniones PVC, etc.	afectado por la disposición que tenga cada quien de mejorar la calidad de agua entrante a su hogar, hay que resaltar que un 47% la población es arrendada, lo que limita el interés para realizar estas adecuaciones
Monitoreo y al sistema	Se recomienda realizar al menos en el año 2 jornadas de monitoreo a la cuenca, siguiendo pautas de la guía de vigilancia y control de la OMS <sup>80</sup> o la reglamentación nacional vigente.	La comunidad puede realizar las jornadas de aforo y monitoreo, ya se había tomado antes una muestra de agua con ayuda de la población	Se necesita material de muestreo como recipientes, etiquetas de marca, neveras, accesorios de protección como guantes, tapabocas, botas pantaneras, etc.	Esta estrategia puede ser a mediano plazo pues se necesita obtener los recursos para realizar este seguimiento.

<sup>80</sup> ROJAS R., "Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano," Organ. Mund. la Salud, p. 353, 2002

Estrategia	Recomendaciones a seguir	¿Quiénes lo realizarán?	¿Qué necesita la solución del problema?	Término de ejecución
		<p>beneficiada. Además como una estrategia es la capacitación de la comunidad, se les hará más fácil en el camino ir manejando la problemática</p>		

### **3. CONCLUSIONES**

Durante el desarrollo del proyecto fue esencial la revisión de literatura confiable para definir los indicadores de calidad y cantidad más representativos según las condiciones de la zona de estudio. La Organización Mundial de la Salud (OMS), en sus publicaciones más recientes sobre el agua y saneamiento, fue una de las fuentes utilizadas ya que aportó guías, artículos y reportes de la calidad del agua. Ahora, resulta importante resaltar que tuvieron que ser adaptados a la condición rural del sistema de abastecimiento, los documentos referentes de la problemática, puesto que la mayoría de estas publicaciones no ofrece acceso a contextos rurales de pequeña escala y mucho menos a ecosistemas de páramo, donde se considera un resultado sorpresivo la existencia de problemas de calidad de agua.

La inspección preliminar hecha a la zona de estudio representó el punto de partida para la selección de los puntos más representativos del sistema luego de comparar todas las variables ambientales, técnicas, económicas y sociales, además de aportar información clave para el desarrollo de inventarios de la cuenca acerca de las actividades potenciales de contaminación al sistema de abastecimiento de agua no tratada.

Las estructuras del sistema de abastecimiento como la bocatoma y el desarenador presentan fallas en su diseño debido a que fueron construidas por miembros pertenecientes a la zona que no tienen la suficiente experiencia en cuestiones de ingeniería, esto aumenta el riesgo de contaminación del agua debido a que no suplen la finalidad de su diseño y además de la probabilidad de que puedan ingresar a estas agentes externas que aumenten la contaminación fisicoquímica y microbiológica del agua.

El tratamiento más adecuado teniendo en cuenta las condiciones en términos de calidad del agua existentes en el sistema de distribución es la aplicación de cloro en el tanque de almacenamiento, lo que permitirá controlar la proliferación de microorganismos que afecten la calidad del agua.

La oferta hídrica en términos de cantidad del sistema fue determinada y se concluyó que, en la estructura de captación, la fuente aporta un caudal total de 18 L/s aproximadamente para la microcuenca de los Andes –El Progreso. Para el tanque de almacenamiento se tienen dos suministros: uno proveniente de la bocatoma y que aporta un caudal promedio de 1.48 L/s y otro de aguas arriba a la estructura de captación, el cual suministra al tanque un caudal de 1.41 L/s. De acuerdo con esto, el sistema de acueducto rural está suministrando un caudal total de 2.89 L/s a la población de la zona. Se concluye a partir de los datos obtenidos de caudal, que es esencial tramitar la concesión de agua de consumo para garantizar el derecho legal a obtener el caudal suministrado por la quebrada “Las Puentes”.

La oferta hídrica en términos de calidad del sistema en términos fisicoquímicos es aceptable, pero la presencia de E. coli y de Coliformes Totales evidencia problemas de contaminación del sistema. En la bocatoma, tanque y vivienda más alejada se encontraron en promedio 203, 240 y 232 UFC/100 ml de Coliformes Totales, así como 49, 96 y 36 UFC/100 ml de E. coli, lo que infiere un no cumplimiento de la normativa colombiana que exige la no presencia de este indicador en agua de consumo.

La presencia de E. coli es un indicio de contaminación fecal reciente, por lo que tras su detección debería considerarse la toma de medidas adicionales, como la realización de muestreos adicionales y la investigación de las posibles fuentes de contaminación, como un tratamiento inadecuado o alteraciones de la integridad del sistema de distribución, ya que en diversas partes del sistema de abastecimiento se

encontraron problemas técnicos y ambientales que aumentan el riesgo de contaminación.

El Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para consumo humano según el puntaje de riesgo asignado a las variables de Turbiedad, Carbono Orgánico Total, Coliformes Totales y E. coli arrojó un nivel de riesgo *ALTO*, según la Resolución 2115 de 2007, lo que, de acuerdo con esta norma, representa que el agua no es apta para consumo humano.

La disponibilidad de la comunidad para atender problemas relacionados con aspectos de mantenimiento, administrativos de acueducto rural es buena en su mayoría, esto favoreció las actividades de monitoreo hechas durante el periodo de estudio al sistema. Para futuras tareas de reconocimiento o cualquier otra que tenga como fin el mejoramiento del sistema será de gran ayuda la participación de la comunidad, debido a que son ellos los directamente afectados, así como la identificación de las amenazas principales y su respectiva priorización.

En Colombia se considera al agua como un recurso abundante, cayendo en la ignorancia con tal apreciación, es por eso que el generar políticas para su preservación sostenible, es un reto. Las responsabilidades de administración del recurso se encuentran fragmentadas y no existe una maniobra central de uso racional del agua. Las actividades antrópicas como los cultivos, la invasión de áreas protegidas, la deforestación etc. genera grandes amenazas en las microcuencas abastecedoras de acueductos rurales.

## BIBLIOGRAFÍA

ANÓNIMO, “Conductividad eléctrica,” Química, pp. 1–3, 2014

ASHBOLT N., GRABOW W., and SNOZZI M., “Indicators of microbial water quality,” Water Qual. Guidel. Stand. Heal., no. Grabow 1996, pp. 289–316, 2001

AVELLANEDA-TORRES L. M., TORRES ROJAS E., and LEÓN SICARD T. E., “Alternativas ante el conflicto entre autoridades ambientales y habitantes de áreas protegidas en páramos colombianos,” Mundo Agrar., vol. 16, no. 31, p. 26, 2015

BARRENECHEA A., “Aspectos físicoquímicos de la calidad del agua,” Trat. agua para Consum. humano. Plantas Filtr. rápida. Man. I teoría., vol. 1, pp. 2–56, 2004

C. A. R. PARA LA D. DE LA M. DE B. CDMB, “Procedimiento para toma y preservación de muestras de aguas,” 2012

C. O. N. L. A P. DE, N. OMAR, V. MARTÍNEZ, AND R. V. SARMIENTO, Guía Para El Monitoreo Y Seguimiento Del Agua. 2004

CUALLA R. A. L., Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados., Segunda ed.

FALLIS A. ., “Guía Para El Monitoreo De Vertimientos, Aguas Superficiales Y Subterráneas.,” 2013

GABRIEL A., BOTERO B., CRISTINA I., and RIVERA D., “Evaluación de la dimensión técnica de la sostenibilidad de abastecimientos de agua colectivos rurales en ecosistemas de páramo,” p. 62, 2017

GORCHEV H. G. and OZOLINS G., “Guidelines for Drinking-water Quality,” Who, vol. 1, p. 564, 2011

GREENPEACE, “Páramos en Peligro,” 2013

I. DE H. M. Y E. A. IDEAM, “Boletín de predicción climática y alertas para agosto.,” 2017

I. DE H. M. Y E. A. IDEAM, “Boletín de predicción climática y alertas para septiembre.,” 2017

MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Instituto de Hidrología Metereología y Estudios Ambientales, “Informe de Gestión de 2015,” Bogotá, 2016

MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, “Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales,” 2005

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, “Reglamenta los Aspectos Técnicos para el sector Agua Potable y Saneamiento Básico. Resolución No. 1096 del 17 de noviembre de 2000.,” no. 1096, pp. 1–106, 2000

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, “Reglamento técnico del sectode de agua potable y saneamiento básico RAS - 2000,” Reglam. Técnico Del Sect. Agua Potable Y Saneam. Basico Ras -2000, vol. TITULO B, p. 206, 2000

MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL AND MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, “Resolución Numero 2115,” Minambiente, p. 23, 2017

MINISTERIO DE PROTECCION SOCIAL AMBIENTE DESARROLLO Y VIVIENDA, “Resolución numero 2115,” Resoluc. 2115, p. 23, 2007

MINISTERIO DEL AMBIENTE, “Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible,” 2014

NELSON MARTÍNEZ V. and SARMIENTO R. V., “Guía Para El Monitoreo Y Seguimiento Del Agua,” 2004

OMS, “Aspectos microbiológicos,” Guías para la Calid. Agua Potable la Organ. Mund. la Salud, pp. 105–126, 2004

OMS, “Aspectos relativos a la aceptabilidad,” Guías la OMS para la Calid. del agua potable, pp. 183–190, 2010

OMS, “Hojas de información microbiológica,” Guías para la Calid. del agua, pp. 191–241, 2006.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO), “32a Conferencia Regional de la FAO para América Latina y el Caribe,” Ciudad de México, 2012

PRTR España. and Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, “Carbono orgánico total (COT)(Como C total o DQO/3) | PRTR España,” 2012. [Online]. Available: <http://www.prtr-es.es/Carbono-organico-total-COTComo-C,15663,11,2007.html>

RESTREPO J., SUÁREZ C. A., and ÁLVAREZ M. Y., “Plan integral de manejo del Distrito de Manejo Integrado de los recursos naturales ‘Páramo de Berlín,’” 2008

ROJAS R., “Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano,” Organ. Mund. la Salud, p. 353, 2002

UNICEF, “La infancia, el agua y el saneamiento básico en los planes de desarrollo departamentales y municipales,” El agua potable y el Saneam. básico en los planes Desarro., p. 16, 2006

WHO/UNICEF JMP, “Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines,” 2017

WORLD HEALTH ORGANIZATION, “sh,” 2015. [Online]. Available: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/monitoring/jmp-2015-key-facts/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp-2015-key-facts/es/).

## ANEXOS

### Anexo A: Aforo volumétrico

Cuando se trata de medir caudales pequeños en condiciones que no permitan el uso del molinete, o no se cuenta con este equipo, se utiliza el aforo volumétrico, que consiste en recolectar en un recipiente previamente calibrado, un volumen de agua conocido y tomar con precisión el tiempo de recolección, preferiblemente con cronómetro<sup>81</sup>.

La calibración del recipiente y el tiempo de recolección deben ser precisos para garantizar la buena calidad de la medición del caudal. Para tal efecto, se recurre a recipientes de uso común como un balde o caneca que tenga registros de volumen; en otros casos, el aforo se realiza en tanques de mayor tamaño que tengan dimensiones precisas, de tal manera que mediante la medición de un diferencial de nivel se determina un incremento de volumen y tomando el tiempo de incremento de volumen se puede calcular directamente el caudal que lleva la corriente o el canal<sup>1</sup>.

Se debe garantizar que ingrese el 100% del flujo, es decir que no se presenten pérdidas y que la medición del tiempo sea muy exacta, para lo cual en algunos casos es necesario adelantar adecuaciones en el cauce con el propósito de transportar el total del flujo al recipiente mediante ayudas adicionales, por ejemplo, una canaleta [8].

El caudal se obtendrá mediante la relación existente entre el volumen colectado en litros y el tiempo correspondiente en segundos, representado en la Ecuación 1.

---

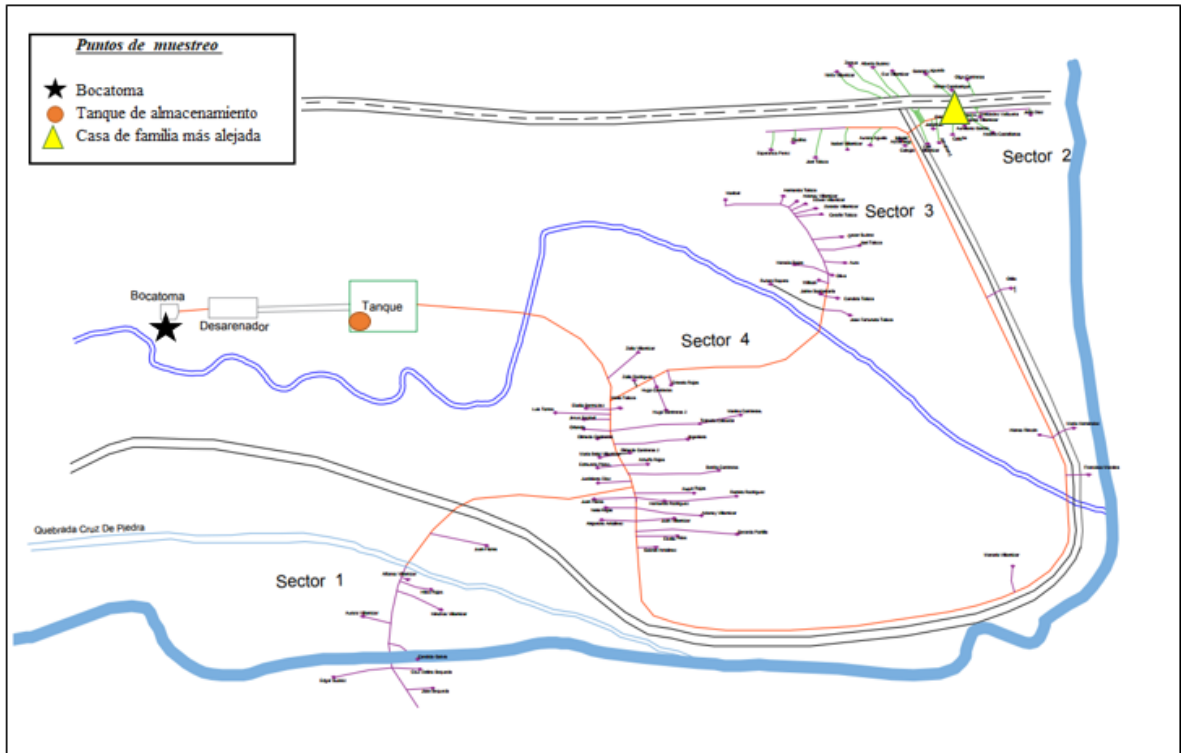
<sup>1</sup> Martínez Nelson, Vargas Sarmiento Raquel Vanegas, and R. V. Sarmiento, *Guia Para El Monitoreo Y Seguimiento Del Agua*. 2004.

$$Q = \frac{VOLUMEN}{TIEMPO} \quad \text{Ecuación 1.}$$

#### Requerimientos

1. Definir y adecuar la sección
2. Canaleta para la conducción del flujo al recipiente.
3. Recipiente (balde, caneca, tanque) aforado en litros.
4. Cronómetro.
5. Cartera de aforos y planillero
6. Personal

**Anexo B. Localización de los puntos de monitoreo para el sistema de acueducto rural en el Páramo de Berlín.**



Fuente: Grupo de Investigación en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental  
GPH

**Anexo c. Evaluación del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para consumo humano (IRCA)**

Tabla 3.1: Puntaje de Riesgo para los parámetros, tomados de la Resolución 2115 de junio de 2007 <sup>2</sup>.


<b>Características</b>	<b>Puntaje de Riesgo</b>	<b>Valor máximo aceptable</b>	<b>MÉTODO/NORMA</b>
Color aparente	6	15	Espectrofotométrico /SM 2120 B
Turbiedad	15	2	Nefelométrico /SM 2130 B
pH	1.5	6.5-9.0	Potenciométrico/SM 4500 -H <sup>+</sup> B)
<b>Elementos, compuestos y mezclas químicas</b>	<b>Puntaje de Riesgo</b>	<b>Valor máximo aceptable (mg/L)</b>	<b>MÉTODO/NORMA</b>
Cloro residual Libre	15	0.3 y 2.0	
Alcalinidad Total (CaCO <sub>3</sub> )	1	200	Gravimétrico /SM 2540 B
Calcio (Ca)	1	60	SM 4500 -P E
Fosfatos (PO <sub>4</sub> )	1	0.5	SM 3030 E y SM 3111 B
Manganeso (Mn)	1	0.1	SM 3030 E y SM 3111 B
Molibdeno (Mo)	1	0.07	SM 3030 E y SM 3111 D
Magnesio (Mg)	1	36	SM 3030 E y SM 3111 B
Zinc (Zn)	1	3	SM 3030 E y SM 3111 B
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	1	300	Titrimétrico - EDTA/SM 2340 C


Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	1	250	Espectrofotométrico /SM 4500- E
Hierro Total (Fe)	1.5	0.3	Espectrofotométrico /SM 3500-Fe
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	1	250	Argentométrico /SM 4500-CI-B
Nitratos (NO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	1	10	RODIER, Método del salicilato sódico
Nitritos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	3	0.1	Espectrofotométrico /SM 4500- B
Aluminio (Al <sup>3+</sup> )	3	0.2	
Fluoruros (F <sup>-</sup> )	1	1.0	SM 4500 -F <sup>-</sup> D
Carbono Orgánico total (COT)	3	5.0	SM 5310 C
Aspectos microbiológicos.	<b>Puntaje de Riesgo</b>	<b>Valor máximo aceptable (UFC/100 cm<sup>3</sup>)</b>	<b>MÉTODO/NORMA</b>
Coliformes Totales	15	0	Filtración por Membrana /SM 9222B
Escherichia Coli	25	0	Filtración por Membrana /SM 9222B
<u>Sumatoria de puntajes asignados</u>	<u>100</u>		<u>82</u>


<sup>2</sup> Ministerio de la Protección Social and Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, "Resolución Numero 2115," *Minambiente*, p. 23, 2017.

## Anexo D: Toma y preservación de muestras en campo

**Procedimiento para toma y preservación de muestras para análisis microbiológico y fisicoquímico según pautas del IDEAM y la guía para la toma de muestra de calidad de agua y vertimientos realizados por la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) <sup>3</sup>.**

Punto donde se tomó la muestra	Procedimiento muestra fisicoquímica	Procedimiento muestra microbiológica.	Preservación de la muestra	Observaciones.
Bocatoma	Previamente se purgó el recipiente 3 veces, sumergiéndolo a unos 20 o 30 cm de profundidad, 3 veces y vaciando su contenido. Luego se tomó la muestra de manera transversal al flujo. El recipiente se llena por completo y luego se vacía un poco, tapando	Se tomó sumergiendo el frasco a unos 30 cm de profundidad a contracorriente, llenando el total de volumen y vaciando un poco de muestra dentro de la misma, se tapa inmediatamente para evitar contaminación. Los recipientes fueron previamente	Para evitar alteraciones en la muestra recolectada de la estructura de captación se optó por refrigerar los recipientes en una nevera hermética junto con geles especiales para conservar su temperatura.	 <p><b>Toma de muestra en Bocatoma</b></p>

Punto donde se tomó la muestra	Procedimiento muestra fisicoquímica	Procedimiento muestra microbiológica.	Preservación de la muestra	Observaciones.
	inmediatamente para evitar contaminación.	esterilizados en una olla a presión.		
Tanque de almacenamiento	El nivel de agua en el tanque era bajo cuando se disponía a tomar las muestras; fue necesario cerrar la llave de paso del tanque y esperar alrededor de 15 a 20 minutos, mientras subía el nivel del agua, para poder sumergir el recipiente en su totalidad.	El nivel de agua en el tanque era bajo cuando se disponía a tomar las muestras; fue necesario cerrar la llave de paso del tanque y esperar alrededor de 15 a 20 minutos, mientras subía el nivel del agua, para poder sumergir el recipiente en su totalidad.	Para evitar alteraciones en la muestra recolectada de la estructura de captación se optó por refrigerar los recipientes en una nevera hermetica junto con unos geles especiales para conservar su temperatura.	 <p data-bbox="1493 1036 1812 1109"><b>Toma de muestra en tanque.</b></p>

Punto donde se tomó la muestra	Procedimiento muestra fisicoquímica	Procedimiento muestra microbiológica.	Preservación de la muestra	Observaciones.
<p>Vivienda más alejada (Utilizando agua del acueducto)</p>	<p>Se recolectó muestra solo para analizar turbiedad. Se llenó completamente el recipiente y se dispuso a guardarlo en la nevera.</p>	<p>Se limpió el grifo de aluminio con una solución de hipoclorito con agua al 10% para evitar posibles focos de contaminación a la muestra, se dejó abierta la llave por 4 minutos y se dispuso a llenar el recipiente, dejando un poco de espacio para agitar en laboratorio.</p>	<p>Para evitar alteraciones en la muestra recolectada de la estructura de captación se optó por refrigerar los recipientes en una nevera hermética junto con geles especiales para conservar su temperatura.</p>	 <p><b>Toma de Muestra en vivienda más alejada.<sup>83</sup></b></p>

<sup>83</sup> Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), “Procedimiento para toma y preservación de muestras de aguas,” no. Sol 1177, 2012.

## Anexo E: Especificaciones del ideam para la toma de muestras

Tabla 5.1: ESPECIFICACIONES DE RECIPIENTES, VOLÚMENES Y PRESERVANTES <sup>84</sup>.

<u>SUB MUESTRA</u>	<u>ANÁLISIS</u>	<u>RECIPIENTE</u>	<u>VOLUMEN DE MUESTRA</u>	<u>OBSERVACIÓN</u>
1	DBO, sólidos disueltos, Nitritos y Nitratos, Turbidez , Conductividad, Detergentes y demás parámetros que sólo requieren refrigeración	Garrafas plásticas	Mínimo 2L	El volumen puede variar de acuerdo a los parámetros <b>Refrigerada</b>
2	Coliformes Totales, Coliformes Fecales	Recipientes de Vidrio	100 ml	Frasco esterilizado <b>Refrigerada</b>
3	DQO, Nitrógeno (Amoniacal, Nitrógeno Orgánico NTK), Fósforo total	Frasco /Plástico	Mínimo 1 L	Preservar con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pH<2.0 (1ml es suficiente). <b>Refrigerada</b>
4	Bacteriológico	Vidrio. Boca ancha. Tapa plástica	100 ml	Esterilizado previamente en autoclave. Si el agua es clorada se debe adicionar 0.1 ml de Tiosulfato de

<sup>84</sup> Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, “Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales,” 2005.

<u>SUB MUESTRA</u>	<u>ANÁLISIS</u>	<u>RECIPIENTE</u>	<u>VOLUMEN DE MUESTRA</u>	<u>OBSERVACIÓN</u>
				Sodio al 3 % antes de esterilizar. Suministrado por laboratorio. <b>Refrigerada.</b>
10	Sulfuros	Vidrio	300 ml	Llenar completamente la botella sin dejar burbujas. <b>Refrigerada</b> ; agregar 4 gotas de acetato de zinc 2N/100 ml; agregar NaOH hasta pH>9


**Anexo F: Métodos utilizados por el Laboratorio de Consultas Industriales para el análisis de muestras.**

Tabla 6: Métodos de análisis para los parámetros analizados de las muestras.<sup>85</sup>


<b>Parámetro fisicoquímico</b>	<b>Método/norma</b>	<b>Parámetro fisicoquímico</b>	<b>Método/norma</b>
pH (unidades de pH)	Potenciométrico/SM 4500 -H <sup>+</sup> B)	Cloruros (mg Cl - /L)	Argentométrico /SM 4500-CI-B
Turbiedad (NTU)	Nefelométrico /SM 2130 B	Dureza Total ( mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Titrimétrico - EDTA/SM 2340 C
Color (UPC)	Espectrofotométrico /SM 2120 B	Alcalinidad Total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Titrimétrico /SM 2320 B
Conductividad (µs/cm)	Conductivimétrico /SM 2510	Sólidos Totales (mg/L)	Gravimétrico /SM 2540 B
Hierro total (mg Fe/L)	Espectrofotométrico /SM 3500-Fe	Calcio (mg/Ca/L)	SM 3030 E y SM 3111 D
Nitritos (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L)	Espectrofotométrico /SM 4500- B	Fosfatos (mg PO <sub>4</sub> <sup>- 3</sup> /L)	SM 4500 -P E
Sulfatos (mg SO <sub>4</sub> <sup>- 2</sup> /L)	Espectrofotométrico /SM 4500 E	Manganeso (mg Mn /L)	SM 3030 E y SM 3111 B
Magnesio (mg Mg/L)	SM 3030 E y SM 3111 B	Nitratos ( mg NO <sub>3</sub> -/L)	RODIER, Método del salicilato sódico
Molibdeno (mg Mo/L)	SM 3030 E y SM 3111 D	Fluoruros (mg F <sup>-</sup> /L)	SM 4500 -F <sup>-</sup> D
Zinc (mg Zn/L)	SM 3030 E y SM 3111 B	Carbono Orgánico (mg C/L)	SM 5310 C
<b>Parámetro microbiológico</b>	<b>Método/norma</b>	<b>Parámetro microbiológico</b>	<b>Método/norma</b>
Coliformes Totales (UFC/100 ml)	Filtración por Membrana /SM 9222B	E.coli (UFC/100 ml)	Filtración por Membrana /SM 9222B

<sup>85</sup> Universidad Industrial de Santander, "Laboratorio Químico de Consultas Industriales", 2005

### Anexo G. Formatos de campo

<b>AFORO VOLUMÉTRICO Y TOMA DE MUESTRAS</b>				 Universidad Industrial de Santander
<b><u>TIPO DE MUESTRA</u></b>				
<b><u>CÓDIGO DE LABORATORIO</u></b>				
<b><u>RESPONSABLE DE MUESTREO</u></b>				
<b><u>FECHA DE MUESTREO</u></b>				
<b><u>HORA DE TOMA DE LA MUESTRA</u></b>				
<b><u>NOMBRE DE CORRIENTE DE AGUA</u></b>				
<b><u>MUNICIPIO O VEREDA</u></b>				
<b><u>COORDENADAS DEL LUGAR</u></b>				
<b><u>VALORES QUE SE TOMAN EN EL SITIO</u></b>				
<b><u>PH</u></b>				
<b><u>TEMPERATURA</u></b>				
<b><u>Forma de medición</u></b>		Observaciones		
<b><u>Apariencia de cuerpo de agua</u></b>		<b><u>objetos flotantes</u></b>		
		<b><u>olor</u></b>		
		<b><u>otros</u></b>		
<b><u>Actividades en la zona cercana al punto de muestreo.</u></b>				
	<b><u>SI</u></b>	<b><u>NO</u></b>	<b><u>TIPO</u></b>	Observaciones
<b><u>Agricultura</u></b>				
<b><u>Ganadería</u></b>				
<b><u>Industria</u></b>				
Observaciones				

Etiqueta para marcar los recipientes de muestras en campo.

<b><u>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL</u></b>		<b><u>DE</u></b>
<b><u>SANTANDER</u></b>		
<b><u>Lugar:</u></b>		
<b><u>Tipo de muestreo:</u></b>		
<b><u>Hora muestreo:</u></b>		
<b><u>Análisis a realizar:</u></b>		
<b><u>Responsable de muestreo en campo :</u></b>		
<b><u>Código Muestra: .....</u></b>		

**Anexo H: Formatos para aforo de caudal.**

Cartera de campo para Aforo volumétrico  
( medición de caudal en Bocatoma )

Tiempo de llenado de Tanque (s)	Volumen del Tanque ( L )	Caudal Transportado ( L/s)
<b>CAUDAL PROMEDIO</b>		L/s m <sup>3</sup> /s

Cartera de campo para Aforo volumétrico  
( medición de caudal en Tanque de almacenamiento :Manguera de 2”  
aguas arriba )

Tiempo de llenado de balde (s)	Volumen del balde ( L )	Caudal Transportado ( L/s)
<b>CAUDAL PROMEDIO</b>		L/s m <sup>3</sup> /s

Cartera de campo para Aforo volumétrico  
( medición de caudal en Tanque de almacenamiento: Manguera de 3”  
bocatoma )

Tiempo de llenado de balde (s)	Volumen del balde ( L )	Caudal Transportado ( L/s)

CAUDAL PROMEDIO		L/s m <sup>3</sup> /s
-----------------	--	--------------------------

**Anexo I: Registros de aforos de caudal en puntos evaluados del sistema de abastecimiento.**

Tabla 9.1. Resultados de Aforos – Bocatoma Acueducto Los Andes – El Progreso

<b>Fecha de aforo</b>	<b>Tiempo de llenado de balde (s)</b>	<b>Caudal Transportado ( L/s)</b>	<b>Caudal promedio (L/s)</b>
18/08/2017	14.5	23.0	22.0
	13.1	21.7	
	13.6	21.2	
	14.7	22.0	
23/08/2017	15.2	16.4	16.0
	15.8	15.9	
	17.12	14.60	
	14.5	17.2	
25/08/2017	10.9	23.0	21.8
	11.5	21.7	
	11.8	21.2	
	11.4	22.0	
	11.8	21.2	
28/08/2017	21.8	11.5	12.2
	21.2	11.8	
	19.8	12.6	
	19.3	13.0	
30/08/2017	14.6	17.1	18.0
	14.4	17.4	
	14.2	17.6	
	12.6	19.9	
01/09/2017	12.8	19.5	20.9
	11.9	21.0	
	11.9	21.1	
	11.4	21.9	
	11.8	21.2	

Nota: En campo se utilizó un tanque tipo Eternit de 250 L de capacidad para aforar el caudal.

**Anexo J Registros de aforos de caudal en puntos evaluados del sistema de abastecimiento.**

Tabla 10.1. Resultados de Aforos – Manguera de 2” y 3 “en Tanque de almacenamiento Acueducto Los Andes – El Progreso

<b>Fecha de aforo</b>	<b>Tiempo de llenado de balde (s) con manguera de 3”</b>	<b>Tiempo de llenado de balde (s) con manguera de 2”</b>	<b>Caudal (L/s) Manguera de 2”</b>	<b>Caudal ( L/s) Manguera de 3”</b>	<b>Caudal promedio (L/s) Manguera de 2”</b>	<b>Caudal promedio (L/s) Manguera de 3”</b>
23/08/2017	19.26	20.2	1.5	1.6	1.4	1.6
	19.85	21.36	1.4	1.5		
	18.1	21.78	1.4	1.7		
25/08/2017	18.31	21.37	1.4	1.6	1.4	1.6
	18.41	21.88	1.4	1.6		
	18.65	21.37	1.4	1.6		
	18.28	21.14	1.42	1.6		
28/08/2017	19.15	22.38	1.3	1.6	1.4	1.6
	19	22.43	1.3	1.6		
	19.34	22.5	1.3	1.6		
	19.47	21.9	1.4	1.5		
30/08/2017	18.31	21.87	1.4	1.6	1.4	1.6
	18.47	21.12	1.4	1.6		
	18	20.66	1.5	1.7		
	18.22	20.69	1.5	1.7		

<b>Fecha de aforo</b>	<b>Tiempo de llenado de balde (s) con manguera de 3"</b>	<b>Tiempo de llenado de balde (s) con manguera de 2"</b>	<b>Caudal (L/s) Manguera de 2"</b>	<b>Caudal ( L/s) Manguera de 3"</b>	<b>Caudal promedio (L/s) Manguera de 2"</b>	<b>Caudal promedio (L/s) Manguera de 3"</b>
01/09/2017	28.88	20.38	1.5	1.0	1.5	1.0
	29.47	19.84	1.5	1.0		
	30.13	20.31	1.4	1.0		
	29.6	21.54	1.4	1.0		

Nota: En campo se utilizó un balde de 30 L de capacidad para aforar el caudal entrante al tanque de almacenamiento.

**Anexo K: Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse<sup>86</sup>**

Tabla 11.1: Clasificación del Nivel de riesgo en salud, según el IRCA.

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo	IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)
80.1 - 100	INVIABLE SANITARIAMENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.
35.1- 80	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD.
14.1- 35	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador
5.1-14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE
0 - 5	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia

Nota: Las abreviaturas para las autoridades sanitarias en la Tabla 10.1 son:

COVE: Comité de Vigilancia Comunitaria en Salud.

SSPD: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

MPS: Ministerio de la Protección Social


INS: Instituto Nacional de Salud

MAVDT: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

<sup>86</sup> Ministerio de la Protección Social and Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial I, "Resolución Numero 2115," *Minambiente*, p. 23, 2017.

## Anexo L: Formatos con resultados para época de verano.

(época de verano)

AFORO VOLUMÉTRICO Y TOMA DE MUESTRAS							 Universidad Industrial de Santander
<b><u>TIPO DE MUESTRA</u></b>	Puntual						
<b><u>CÓDIGO DE LABORATORIO</u></b>							
<b><u>RESPONSABLE DE MUESTREO</u></b>	Cristian D. Hernández Figueroa						
<b><u>FECHA DE MUESTREO</u></b>	18/08/2017	23/08/2017	25/08/2017	28/08/2017	30/08/2017	01/09/2017	
<b><u>HORA DE TOMA DE LA MUESTRA</u></b>	09:20 a. m.	10:50 a. m.	10:13 a. m.	09:15 a. m.	10:12 a. m.	09:12 a. m.	
<b><u>NOMBRE DE CORRIENTE DE AGUA</u></b>	Quebrada las Puentes						
<b><u>MUNICIPIO O VEREDA</u></b>	Andes el Progreso						
<b><u>COORDENADAS DEL LUGAR</u></b>	7 ° 6,456' N 72 ° 55,848' O (Bocatoma)						
<b><u>VALORES QUE SE TOMAN EN EL SITIO</u></b>							
<b><u>PH</u></b>	8.21	8.06	8.3	8.19	8.06	8.04	
<b><u>TEMPERATURA</u></b>	10° C	13°C	11°C	10°C	11°C	10°C	
<b><u>Forma de medición</u></b>	Observaciones						
<b><u>Apariencia de cuerpo de agua</u></b>	<u>objetos flotantes</u>	no					
	<u>olor</u>	Ninguno					
	<u>otros</u>	Presencia de heces fecales alrededor del sistema					
	-						
<b><u>Actividades en la zona cercana al punto de muestreo.</u></b>							
-	<b><u>SI</u></b>	<b><u>NO</u></b>	<b><u>TIPO</u></b>	Observaciones			
<b><u>Agricultura</u></b>		x					
<b><u>Ganadería</u></b>	X		Vacuna.				
<b><u>Industria</u></b>		x					
Observaciones: la zona en donde se tomaron las muestras presentó precipitaciones esporádicas los 15 días anteriores , la última se presentó el 05 de agosto de 2017.							

**AFORO VOLUMÉTRICO Y TOMA DE MUESTRAS**



<b>TIPO DE MUESTRA</b>		Puntual				
<b>CÓDIGO DE LABORATORIO</b>						
<b>RESPONSABLE DE MUESTREO</b>		Cristian D. Hernández Figueroa				
<b>FECHA DE MUESTREO</b>		18/08/2017	23/08/2017	25/08/2017	28/08/2017	30/08/2017 01/09/2017
<b>HORA DE TOMA DE LA MUESTRA</b>		10:10 a. m.	08:40 a. m.	08:50 a. m.	09:35 a. m.	08:35 a. m.
<b>NOMBRE DE CORRIENTE DE AGUA</b>		Quebrada las Puentes				
<b>MUNICIPIO O VEREDA</b>		Andes el Progreso				
<b>COORDENADAS DEL LUGAR</b>		7°6.650'N y 72°55.843'O (Tanque de almacenamiento)				
<b>VALORES QUE SE TOMAN EN EL SITIO</b>						
<b>PH</b>		8.1	8.24	8.28	7.98	8.16
<b>TEMPERATURA</b>		14°C	11°C	10°C	10,5°C	10°C
<b>Forma de medición</b>		Observaciones				
		-				
<b>Apariencia de cuerpo de agua</b>		<u>objetos flotantes</u>	no			
		<u>olor</u>	Ninguno			
		<u>otros</u>	Presencia de heces fecales alrededor del sistema			
<b>Actividades en la zona cercana al punto de muestreo.</b>						
-	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>TIPO</b>	Observaciones		
<b>Agricultura</b>		x				
<b>Ganadería</b>	X		Vacuna.			
<b>Industria</b>		x				
Observaciones: la zona en donde se tomaron las muestras presento precipitaciones esporádicas los 15 días anteriores , la última se presentó el 05 de agosto de 2017.						

AFORO VOLUMÉTRICO Y TOMA DE MUESTRAS						
<b>TIPO DE MUESTRA</b>	Puntual					
<b>CÓDIGO DE LABORATORIO</b>						
<b>RESPONSABLE DE MUESTREO</b>	Cristian D. Hernández Figueroa					
<b>FECHA DE MUESTREO</b>	18/08/2017	23/08/2017	25/08/2017	28/08/2017	30/08/2017	01/09/2017
<b>HORA DE TOMA DE LA MUESTRA</b>	12:43 a. m.		11:35 a. m.		12:30 a. m. 10:50 a. m.	
<b>NOMBRE DE CORRIENTE DE AGUA</b>	Quebrada las Puentes					
<b>MUNICIPIO O VEREDA</b>	Andes el Progreso					
<b>COORDENADAS DEL LUGAR</b>	Vivienda más alejada.					
<b>VALORES QUE SE TOMAN EN EL SITIO</b>						
<b>PH</b>	8.5		8.34		8.2 8.1	
<b>TEMPERATURA</b>	14°C		12°C		14°C 13°C	
<b>Forma de medición</b>	Observaciones					
<b>Apariencia de cuerpo de agua</b>	<u>objetos flotantes</u>	no				
	<u>olor</u>	Ninguno				
	<u>otros</u>	Presencia de heces fecales alrededor del sistema				
<b>Actividades en la zona cercana al punto de muestreo.</b>						
	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>TIPO</b>	Observaciones		
<b>Agricultura</b>		x				
<b>Ganadería</b>	X		Vacuna.			
<b>Industria</b>		x				
Observaciones: la zona en donde se tomaron las muestras presentó precipitaciones esporádicas los 15 días anteriores , la última se presentó el 05 de agosto de 2017.						