

**CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 10719-08 suscrito entre la Corporación
Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga y la Universidad
Industrial de Santander “UIS”**

***EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE ABASTECIMIENTOS DE
AGUA RURALES COLECTIVOS EN ECOSISTEMA DE PÁRAMO: CASO
DE ESTUDIO BERLÍN (SANTANDER – COLOMBIA)***



**GRUPO DE INVESTIGACIÓN
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL -
GPH**

Bucaramanga, diciembre del 2017

**Evaluación de la sostenibilidad de abastecimientos de agua
rurales colectivos en ecosistema de páramo: Caso de estudio
Berlín (Santander – Colombia)**

INFORME FINAL

Preparado por:

Grupo de Investigación en Recursos Hídricos y Saneamiento
Ambiental (GPH)
Escuela de Ingeniería Civil
Universidad Industrial de Santander

Presentado a:

Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga
(CDMB)

Este informe fue desarrollado en el proyecto “Evaluación de la sostenibilidad de abastecimientos de agua rurales colectivos en ecosistema de páramo: Caso de estudio Berlín (Santander – Colombia)” en el marco del CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 10719-08, suscrito entre la Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) y la Universidad Industrial de Santander (UIS).

El informe fue elaborado por el grupo de investigación en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH) de la UIS, con la participación continua de la comunidad beneficiaria del sistema de abastecimiento “Los Andes - El Progreso”, y funcionarios de la CDMB.

Participaron en este proyecto:

Directora	Isabel Cristina Domínguez, Ing. MSc, PhD.
Co-investigadores	Edgar Ricardo Oviedo, Ing. MSc, PhD. Mario García Solano, Ing. MSc
Estudiantes vinculados	Andrés Gabriel Barón Botero Cristian Danilo Hernández Figueroa Ángela Liliana Puentes Reyes
Personal de apoyo	Sebastián Elías Patiño Gutiérrez, Ing. Karen Melissa Hurtado Arciniegas
Comité de Seguimiento CDMB	María Carmenza Vicini, Ing. Pedro Anaya, Ing.
Grupo de apoyo comunitario	Hernando Rodríguez Edmundo Portillo Alonso Rincón Pedro Rojas Jackeline Rodríguez Jennifer Torres Jerson Rodríguez Jesús Torres Omaira Contreras Yuli Rodríguez Benito Contreras Alonso Rojas Abel Rojas

Se extiende un agradecimiento a todos los usuarios del acueducto que participaron de una u otra manera en el proyecto y a la señora alcaldesa del municipio de Tona, Carmen Lucero Ramírez, por apoyar la realización de este proyecto en el corregimiento de Berlín.

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS	4
2.1	GENERAL	4
2.2	ESPECÍFICOS	4
3	METODOLOGÍA	5
3.1	REVISIÓN DE LITERATURA	5
3.2	EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN EL CONTEXTO DEL CASO DE ESTUDIO	5
3.2.1	<i>Selección del sistema de abastecimiento caso de estudio</i>	6
3.2.2	<i>Revisión de información secundaria</i>	6
3.2.3	<i>Organización de un grupo de apoyo</i>	7
3.2.4	<i>Entrevistas semi-estructuradas</i>	7
3.2.5	<i>Mapa social</i>	8
3.2.6	<i>Inspección</i>	9
3.2.7	<i>Encuesta de hogares</i>	10
3.2.8	<i>Línea de tiempo</i>	11
3.2.9	<i>Aforo y monitoreo</i>	12
3.2.10	<i>Análisis de datos</i>	14
3.3	FORMULACIÓN PARTICIPATIVA DE PROPUESTAS DE MEJORA.....	15
4	REVISIÓN DE LITERATURA	17
4.1	SOSTENIBILIDAD	17
4.2	ABASTECIMIENTOS DE AGUA RURALES	17
4.3	EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN ABASTECIMIENTOS DE AGUA RURALES	18
4.3.1	<i>Marcos conceptuales para el análisis de sostenibilidad</i>	18
4.3.2	<i>Dimensiones de la sostenibilidad</i>	20
4.3.3	<i>Indicadores de sostenibilidad</i>	21
5	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CASO DE ESTUDIO	24
6	EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN EL CONTEXTO DEL CASO DE ESTUDIO	26
6.1	DIMENSIÓN SOCIAL	26

6.1.1	Aspectos demográficos	26
6.1.2	Usos del agua y el suelo	28
6.1.3	Percepción sobre el sistema	30
6.1.4	Acción colectiva.....	33
6.1.5	Aspectos legales.....	41
6.1.6	Aspectos administrativos	47
6.2	DIMENSIÓN TÉCNICA.....	51
6.2.1	Estado de la infraestructura.....	53
6.2.2	Operación y Mantenimiento	59
6.2.3	Fallas en el servicio.....	60
6.3	DIMENSIÓN AMBIENTAL	61
6.3.1	Cantidad de agua	62
6.3.2	Calidad de agua.....	63
6.3.3	Disponibilidad de agua y prácticas de uso	78
6.4	DIMENSIÓN ECONÓMICA	80
6.4.1	Metodología tarifaria.....	80
6.4.2	Morosidad	80
6.4.3	Recuperación de costos.....	80
6.4.4	Fondo de ahorro.....	81
7	PROPUESTAS DE MEJORA	83
8	CONCLUSIONES	94
9	REFERENCIAS.....	98
	ANEXOS	103

Lista de Figuras

FIGURA 2 LOCALIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO.....	24
FIGURA 3 LÍNEA DE TIEMPO DEL ACUEDUCTO LOS ANDES- EL PROGRESO	39
FIGURA 3 MAPA SOCIAL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO LOS ANDES – EL PROGRESO	53

Lista de Gráficas

GRÁFICA 1 NIVEL EDUCATIVO DE LOS ENCUESTADOS	27
GRÁFICA 2 TIEMPO DE RESIDENCIA EN LA ZONA.....	27
GRÁFICA 3 PROPIEDAD DE LA VIVIENDA	28
GRÁFICA 4 FUENTES DE AGUA ALTERNATIVAS.....	28
GRÁFICA 5 USOS DEL AGUA DEL ACUEDUCTO	29
GRÁFICA 6 FUENTE DE AGUA USADA PARA LA BEBIDA DE ANIMALES	30
GRÁFICA 7 CONTINUIDAD DEL SERVICIO.....	30
GRÁFICA 8 HORAS DE SUMINISTRO DIARIAS	30
GRÁFICA 9 SATISFACCIÓN CON LA CANTIDAD PARA SATISFACER LA DEMANDA	31
GRÁFICA 10 PRESENCIA DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN LA VIVIENDA	31
GRÁFICA 11 PERCEPCIÓN SOBRE LA VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CALIDAD DEL AGUA	32
GRÁFICA 12 PREOCUPACIÓN POR LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	33
GRÁFICA 13 OCURRENCIA DE PROBLEMAS DE SALUD ASOCIADOS AL AGUA	33
GRÁFICA 14 TRATAMIENTO AL AGUA A NIVEL DE LA VIVIENDA.....	33
GRÁFICA 15 CONOCIMIENTO DEL NOMBRE DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO	34
GRÁFICA 16 PARTICIPACIÓN EN PROYECTOS RELACIONADOS CON EL AGUA	35
GRÁFICA 17 FORMAS DE PARTICIPACIÓN.....	35
GRÁFICA 18 ARGUMENTOS PARA LA FALTA DE PARTICIPACIÓN	36
GRÁFICA 19 PARTICIPACIÓN Y TENENCIA DE LA VIVIENDA	36
GRÁFICA 20 PARTICIPACIÓN EN EL PROCESO DE PLANIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	37
GRÁFICA 21 CONOCIMIENTO DE LOS ENCARGADOS DE LA ADMINISTRACIÓN DEL SISTEMA	37
GRÁFICA 23 CONOCIMIENTO DE LAS ACTIVIDADES DE O&M REALIZADAS AL SISTEMA	60
GRÁFICA 24 CONOCIMIENTO DE LA FRECUENCIA DE ACTIVIDADES DE O&M REALIZADAS AL SISTEMA	60
GRÁFICA 25 OCURRENCIA DE FALLAS EN EL SERVICIO.....	60

GRÁFICA 26 TIPOS DE FALLAS EN EL SERVICIO.....	60
GRÁFICA 27 OCURRENCIA DE PROBLEMAS DE PRESIÓN EN LA VIVIENDA	61
GRÁFICA 28 TIEMPO DE RESPUESTA A FALLAS EN EL SERVICIO	61
GRÁFICA 28. CAUDAL DE ACUERDO AL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN EN LA BOCATOMA.....	62
GRÁFICA 29. CAUDAL DE ACUERDO AL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO	63
GRÁFICA 31 PH Y TURBIEDAD DE ACUERDO AL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN EN BOCATOMA.....	64
GRÁFICA 32 COLOR Y CONDUCTIVIDAD DE ACUERDO AL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN EN BOCATOMA.	65
GRÁFICA 33 SULFATOS Y CLORUROS DE ACUERDO AL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN EN BOCATOMA.....	66
GRÁFICA 34 DUREZA TOTAL Y ALCALINIDAD TOTAL DE ACUERDO AL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN EN BOCATOMA.....	67
GRÁFICA 35 SÓLIDOS TOTALES DE ACUERDO AL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN EN BOCATOMA.	67
GRÁFICA 36 COLIFORMES TOTALES Y E. COLI DE ACUERDO AL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN EN BOCATOMA.	68
GRÁFICA 37 TURBIEDAD DE ACUERDO AL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN EN TANQUE	69
GRÁFICA 38 COLIFORMES FECALIS Y E. COLI DE ACUERDO AL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN EN TANQUE	69
GRÁFICA 39 TURBIEDAD DE ACUERDO AL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN EN VMARD.....	70
GRÁFICA 40 COLIFORMES TOTALES Y E. COLI DE ACUERDO AL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN EN VMARD.....	71
GRÁFICA 41 VARIACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA TURBIEDAD	73
GRÁFICA 42 VARIACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL PARA COLIFORMES TOTALES	74
GRÁFICA 43 VARIACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL PARA E. COLI	75
GRÁFICA 45 DISPONIBILIDAD A PAGAR POR EL SERVICIO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA	82
GRÁFICA 46 VALOR A PAGAR POR EL SERVICIO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.....	82

Lista de Tablas

TABLA 1 PARÁMETROS ANALIZADOS EN LOS PUNTOS SELECCIONADOS PARA EL MUESTREO.	13
TABLA 2. MARCOS CONCEPTUALES PARA EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA	19
TABLA 3 INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD DE ACUERDO A DIMENSIONES.....	21
TABLA 4 EVALUACIÓN DE ASPECTOS DE ACCIÓN COLECTIVA PARA EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO LOS ANDES – EL PROGRESO.....	41
TABLA 5. EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE ASPECTOS LEGALES PARA EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO LOS ANDES – EL PROGRESO.....	46
TABLA 6. EVALUACIÓN DE INDICADORES DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO LOS ANDES – EL PROGRESO.....	50

TABLA 7 CLASIFICACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO EN SALUD SEGÚN EL IRCA POR MUESTRA.	76
TABLA 8 PARÁMETROS QUE SUPERAN EN VALOR MÁXIMO ADMISIBLE EN ÉPOCA SECA	76
TABLA 9 PARÁMETROS QUE SUPERAN EN VALOR MÁXIMO ADMISIBLE EN ÉPOCA DE LLUVIA.	77
TABLA 10. EVALUACIÓN DE ASPECTOS DE GESTIÓN FINANCIERA PARA EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DEL CASO DE ESTUDIO	81
TABLA 11 COMPARACIÓN ENTRE EL ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA Y LO PROPUESTO POR LA LITERATURA – DIMENSIÓN SOCIAL	83
TABLA 12 COMPARACIÓN ENTRE EL ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA Y LO PROPUESTO POR LA LITERATURA – DIMENSIÓN TÉCNICA	84
TABLA 13 COMPARACIÓN ENTRE EL ESTADO DEL SISTEMA Y LO PROPUESTO POR LA LITERATURA – DIMENSIÓN AMBIENTAL	87
TABLA 14 COMPARACIÓN ENTRE EL ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA Y LO PROPUESTO POR LA LITERATURA – DIMENSIÓN ECONÓMICA.....	88
TABLA 15 PROPUESTAS DE ESTRATEGIAS DE MEJORA.....	89

Lista de Fotos

FOTO 1 PRIMER ENCUENTRO CON LA COMUNIDAD.....	6
FOTO 2 PERSONAS PARTICIPANDO EN EL GRUPO DE APOYO DURANTE DIFERENTES ACTIVIDADES	7
FOTO 3 ENTREVISTAS SEMI-ESTRUCTURADAS	8
FOTO 4 MIEMBROS DE LA COMUNIDAD DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DEL MAPA SOCIAL	9
FOTO 5 GRUPO DE APOYO DURANTE LA INSPECCIÓN TÉCNICA AL SISTEMA	10
FOTO 6 ESTUDIANTES DEL GRUPO GPH APLICANDO LA ENCUESTA DE HOGARES	11
FOTO 7 ASPECTOS DE LA ELABORACIÓN DE LA LÍNEA DE TIEMPO	12
FOTO 8 JORNADAS DE AFORO Y MONITOREO	14
FOTO 9 FORMULACIÓN PARTICIPATIVA DE ESTRATEGIAS DE MEJORA.....	16
FOTO 10 CAPTACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO	54
FOTO 11 PRESENCIA DE GANADO EN LA CAPTACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO	55
FOTO 12 ADUCCIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO	56
FOTO 13 DESARENADOR DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO	57
FOTO 14 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO	58
FOTO 15 CONDUCCIÓN Y RED DE DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO.....	59

Lista de Anexos

ANEXO 1 MÉTODOS UTILIZADOS POR EL LABORATORIO DE CONSULTAS INDUSTRIALES PARA EL ANÁLISIS DE MUESTRAS

ANEXO 2 FORMATOS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS DILIGENCIADOS

ANEXO 3 RESUMEN ESTADÍSTICO PARA VARIABLES DE CALIDAD

ANEXO 4 PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA EVALUACIÓN DE LA VARIACIÓN ESTACIONAL DE LAS MUESTRAS

ANEXO 5 PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA CALIDAD DEL AGUA

1 INTRODUCCIÓN

Uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos [1]. Para el año 2010, la proporción de población sin acceso a una fuente de abastecimiento sostenible se redujo a la mitad [2], sin embargo, aún existen inequidades en el suministro de agua entre zonas urbanas y rurales [3]. Debido a las dificultades de acceso en lugares remotos, en Colombia es común el uso de sistemas de abastecimiento colectivo en zonas rurales [4]. En estos, el servicio de abastecimiento está a cargo de miembros de la comunidad, que asumen la toma de decisiones, control y administración del sistema [5]. Según el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), aproximadamente el 50% de la población rural colombiana, se abastece por medio de sistemas colectivos manejados por organizaciones comunitarias [6]. No obstante, los sistemas colectivos rurales alrededor del mundo, especialmente aquellos en países en desarrollo, se caracterizan por el déficit en infraestructura, tecnología, y falta de información adecuada por parte de la comunidad para la toma de decisiones [7].

Los registros existentes de diferentes estudios realizados en sistemas colectivos rurales indican que un gran porcentaje de proyectos terminan en fracaso o de forma prematura [8]. Diferentes autores sugieren que la causa de que estos proyectos no terminen exitosamente es la indebida interpretación de la sostenibilidad, pues generalmente se suelen excluir fases posteriores a la construcción de los proyectos y las comunidades que usan los sistemas no siempre son tenidas en cuenta para la toma de decisiones [9], [10].

El acceso a servicios de agua sostenibles es considerado uno de los activos fundamentales para lograr resultados positivos en los medios de vida de las comunidades rurales. Por esta razón, es necesario identificar las variables que determinan la sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento de agua rurales y determinar el comportamiento de estos indicadores en contextos específicos. Aunque se han realizado varias investigaciones relacionadas con la sostenibilidad de sistemas de abastecimiento de agua urbanos [9] y rurales [10], no se conocen estudios sobre este tema en comunidades de páramo. Adicionalmente, en diferentes campos relacionados con la sostenibilidad es reconocida la importancia de variables

contextuales para ayudar a entender los factores que dificultan o promueven el funcionamiento en el tiempo de los sistemas y la necesidad de entender estos factores en sus contextos específicos como insumo fundamental para diseñar políticas e intervenciones adecuadas a las necesidades particulares de diferentes regiones [11].

El páramo de Berlín está ubicado al norte de la Cordillera Oriental de Colombia, en la Unidad biogeográfica de Santurbán. En el área, las talas, quemas, la presencia de viviendas rurales sobre espacios de importancia ambiental, y la práctica de actividades agrícolas sobre áreas protegidas, productos de la falta de organización y control adecuado en el uso del recurso hídrico, propician el deterioro de las fuentes de abastecimiento [12]. Adicionalmente, hay presencia de acueductos en condiciones técnicas y financieras deficientes [13]. Como respuesta a estos problemas, se han desarrollado diferentes políticas, reglamentos y directrices que buscan identificar los principales problemas y promover la recuperación, protección y uso sostenible de las fuentes hídricas de la región, como por ejemplo, la creación de un “Distrito de manejo integrado de los recursos naturales renovables DMI” [12], [14]. El DMI Páramo de Berlín comprende los municipios de Tona (Santander), Silos y Mutiscua (Norte de Santander); fue creado por un acuerdo mutuo entre la Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) y la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR).

Ante el contexto presentado anteriormente, el grupo de investigación en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH) de la Universidad Industrial de Santander (UIS) adelantó una investigación financiada por la CDMB en el DMI del páramo de Berlín. Esta investigación tuvo como objetivo general evaluar el funcionamiento de los sistemas de abastecimiento de agua colectivos en el corregimiento de Berlín, bajo criterios de sostenibilidad. Para ello, se propusieron tres objetivos específicos: i) revisar literatura sobre marcos conceptuales e indicadores para evaluar la sostenibilidad de sistemas de abastecimiento de agua colectivos en comunidades rurales; ii) evaluar el desempeño de los sistemas de abastecimiento de agua colectivos en el corregimiento de Berlín frente a indicadores de sostenibilidad seleccionados; iii) proponer estrategias para mejorar el funcionamiento de los sistemas de abastecimiento de agua colectivos en el corregimiento de Berlín, en las áreas en las cuales se identifiquen problemas.

La metodología empleada involucró estrategias de recolección de datos como: revisión de literatura, entrevistas semi-estructuradas, inspecciones, aforo y monitoreo de la calidad de agua y encuestas de hogares. La información fue analizada utilizando narrativas, análisis estadístico, y se identificaron participativamente propuestas de mejora.

Este documento constituye el informe final del mencionado proyecto. El documento comprende ocho capítulos, de los cuales este primero es la introducción. El Capítulo 2 contiene los objetivos del estudio. El Capítulo 3 describe la metodología empleada para el estudio. El Capítulo 4 sintetiza los resultados de la revisión de literatura sobre los aspectos en los que se basa la investigación: i) Sostenibilidad, ii) Abastecimientos de agua rurales; y iii) Evaluación de la sostenibilidad en abastecimientos de agua rurales. Este capítulo incluye además los marcos conceptuales, dimensiones e indicadores para estudiar la sostenibilidad en sistemas de abastecimiento de agua rurales. El Capítulo 5 describe de manera general el caso de estudio. El Capítulo 6 aborda en detalle la evaluación de la sostenibilidad en el sistema caso de estudio, considerando las dimensiones social, técnica, ambiental y económica, donde se aplica al caso, el aprendizaje de la revisión de literatura. El Capítulo 7 define las estrategias de mejora identificadas participativamente con la comunidad como resultado de la evaluación de las dimensiones de sostenibilidad. Finalmente, el Capítulo 8 presenta las conclusiones emanadas del estudio.

De esta manera, el informe plasma los resultados del proyecto, que contribuyó a aumentar el conocimiento sobre los factores que inciden en la sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento rurales y el comportamiento de estos factores en comunidades de páramo. La disponibilidad de este nuevo conocimiento permitirá informar el diseño de estrategias de mejoramiento que contribuyan a garantizar el funcionamiento de largo plazo de los sistemas de abastecimiento de agua rural, alineado con las aspiraciones de los Objetivos de Desarrollo Sostenible que buscan entre otros, reducir la brecha urbana-rural en el acceso al agua.

2 OBJETIVOS

2.1 General

Evaluar el funcionamiento de los sistemas de abastecimiento de agua colectivos en el corregimiento de Berlín, bajo criterios de sostenibilidad.

2.2 Específicos

Revisar literatura sobre marcos conceptuales e indicadores para evaluar la sostenibilidad de sistemas de abastecimiento de agua colectivos en comunidades rurales.

Evaluar el desempeño de los sistemas de abastecimiento de agua colectivos en el corregimiento de Berlín frente a indicadores de sostenibilidad seleccionados.

Proponer estrategias para mejorar el funcionamiento de los sistemas de abastecimiento de agua colectivos en el corregimiento de Berlín, en las áreas en las cuales se identifiquen problemas.

3 METODOLOGÍA

El presente capítulo describe los métodos cualitativos y cuantitativos usados en la investigación para abordar los objetivos específicos propuestos y conducir como resultado a evaluar el funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua colectivo en el corregimiento de Berlín, bajo criterios de sostenibilidad.

3.1 Revisión de literatura

Se realizó una revisión de literatura sobre marcos conceptuales e indicadores utilizados para evaluar la sostenibilidad de sistemas de abastecimiento de agua rurales. Para esto, se buscó literatura publicada en revistas arbitradas en bases de datos como Scopus y Web of Science. La búsqueda incluyó palabras clave como: framework or indicators AND sustainability AND water supply AND rural. Se revisó literatura de áreas del conocimiento como: salud pública, ciencias ambientales, ingeniería, ecología, sostenibilidad, desarrollo rural y gestión del agua.

Los marcos conceptuales e indicadores revisados fueron analizados y comparados para seleccionar el conjunto de indicadores más adecuado para evaluar la sostenibilidad de sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano en el páramo de Berlín.

3.2 Evaluación de la sostenibilidad en el contexto del caso de estudio

A partir de la lectura y análisis de los artículos científicos, se eligieron y adaptaron los indicadores y métodos más convenientes para ser aplicados en el contexto del proyecto y generar instrumentos de recolección de información pertinentes. Posteriormente, se recogió información relacionada con indicadores de sostenibilidad identificados en la etapa anterior, en uno de los sistemas de abastecimiento de agua comunitarios existentes en el corregimiento de Berlín. Esto implicó: seleccionar el sistema caso de estudio, revisar información secundaria, organizar un grupo de apoyo comunitario al proyecto; y recopilar información relacionada con aspectos: sociales, técnicos, ambientales, y económicos. Para la recolección de esta información se utilizaron métodos cualitativos y cuantitativos. A continuación, se describen las estrategias empleadas:

3.2.1 Selección del sistema de abastecimiento caso de estudio

Debido a la cercanía e interés de la CDMB, se optó por estudiar el sistema que suministra agua a los habitantes de la vereda “El Progreso”, en el DMI Páramo de Berlín, sobre el kilómetro 54 en la vía Bucaramanga-Pamplona. El primer contacto con la comunidad se realizó a través de funcionarios de la CDMB, encargados de varios proyectos en el DMI, teniendo en cuenta que en esta vereda se había identificado interés en soluciones sostenibles para los diferentes problemas que se presentan en la región. Con el objetivo de acercarse a la comunidad de manera adecuada y generar un nivel de confianza alto que garantice la honestidad y el compromiso de los usuarios [15], se socializó el proyecto con los habitantes del sector por medio de reuniones y presentaciones que permitieron el diálogo y la aclaración de inquietudes sobre las diferentes fases del desarrollo del proyecto (Foto 1).



Foto 1 Primer encuentro con la comunidad

3.2.2 Revisión de información secundaria

Se buscó información existente, en internet y en instituciones relacionadas con el suministro de agua en el área de estudio, alrededor de aspectos como: diseños, documentos de la organización administradora, información hidroclimatológica, de vigilancia de la calidad del agua; planes y documentos emitidos por organizaciones que cumplen actividades misionales relacionadas con el abastecimiento de agua en el área de caso de estudio. Cuando estaba disponible, esta información fue revisada para extraer datos relevantes para el análisis de sostenibilidad e integrada a los resultados del presente estudio.

3.2.3 Organización de un grupo de apoyo

Con ayuda de un líder de la comunidad, se conformó un equipo de trabajo compuesto por varias personas de la zona, los estudiantes vinculados al proyecto y profesores del Grupo GPH de la UIS. Los miembros de la comunidad que participaron en el proceso fueron aquellos que demostraron interés en el proyecto de investigación y que, además, estaban involucrados en diferentes iniciativas adelantadas por la comunidad relacionadas con el acueducto. Los miembros del grupo, institucionales y comunitarios, participaron de manera continua en las actividades propuestas en el desarrollo de la investigación (Foto 2).



Foto 2 Personas participando en el grupo de apoyo durante diferentes actividades

3.2.4 Entrevistas semi-estructuradas

Se realizaron entrevistas semi-estructuradas para recoger información específica del acueducto acerca de su estructura organizativa, participación comunitaria, aspectos legales, financieros, recurso humano y físico, autogestión, y presencia de apoyo externo, entre otros. Para esto, se seleccionaron las personas a entrevistar, teniendo en cuenta su liderazgo en la comunidad, en lo referente al manejo del agua, y a su experiencia directa como partícipes en la construcción, gestión y mantenimiento del acueducto (Foto 3).



Foto 3 Entrevistas semi-estructuradas

3.2.5 Mapa social

Por medio de una reunión con el grupo de apoyo, se generó un mapa en el que podían observarse propiedades de la vereda, tales como número de usuarios del acueducto con sus respectivos propietarios, localización de fuentes hídricas, ubicación de los componentes del sistema y propiedades de la red de distribución (Foto 4). Este tipo de herramienta participativa es particularmente útil para generar un diagnóstico, usado para identificar los problemas existentes y en este caso, como un punto de partida para organizar la logística de la aplicación de las encuestas [15].



Foto 4 Miembros de la comunidad durante la construcción del mapa social

3.2.6 Inspección

Las inspecciones técnicas consisten de visitas al sitio y entrevistas con personal encargado. Involucran aspectos técnicos, operacionales y ambientales que puedan generar amenazas en el sistema de abastecimiento [16]. Adicionalmente, cumplen la función de explicar a los usuarios los defectos del sistema de una manera sencilla y fácil de entender, así como una guía que permita identificar pasos a seguir para dar solución a los problemas encontrados [17]. En este caso, para la recolección de información, se adaptaron formatos de inspecciones técnicas propuestos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). 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. La información fue recopilada a través de observaciones enfocadas en los componentes, el estado, y los riesgos potenciales a la calidad del agua. Las inspecciones fueron realizadas por el grupo de apoyo previamente conformado (Foto 5).



Foto 5 Grupo de apoyo durante la inspección técnica al sistema

3.2.7 Encuesta de hogares

Se aplicó una encuesta de hogares, teniendo como población los usuarios del servicio, identificados mediante la realización del mapa social, previamente descrito (85 usuarios). Para informar sobre la realización de la encuesta se ubicaron carteles informativos en puntos específicos (tiendas y otros lugares frecuentados por la comunidad) que indicaban la fecha y el motivo de la encuesta. La encuesta fue aplicada por los tres estudiantes vinculados al proyecto, durante tres días consecutivos (21, 22 y 23 de Junio de 2017), en jornadas de 8:00 a.m. – 12:00 m y de 14:00 p.m. a 17:00 pm (Foto 6). En estas jornadas, se contó con el acompañamiento de un miembro de la comunidad, que ayudó a identificar cada uno de los usuarios del sistema de abastecimiento a lo largo del recorrido.

Inicialmente se esperaba realizar un censo, pero solo pudo obtenerse información de 65 usuarios, que representan una tasa de respuesta del 76%. No fue posible encuestar a la totalidad de los usuarios, pues algunos no se encontraban en las viviendas al momento de la encuesta, y otros no hacían uso del punto de abastecimiento en el momento. Se encuestó a habitantes de las viviendas usuarias en el sistema, mayores de edad, después de solicitar consentimiento informado.

La primera parte de la encuesta estuvo enfocada en identificar los habitantes que se abastecían del sistema de agua comunitario, continuando con la percepción y conocimiento que los usuarios tenían del agua del acueducto. Posteriormente se indagó sobre los usos del agua y el suelo, la participación de la comunidad en proyectos del acueducto, temas

relacionados con higiene y salud y finalmente, el conocimiento de la comunidad en temas administrativos.



Foto 6 Estudiantes del grupo GPH aplicando la encuesta de hogares

3.2.8 Línea de tiempo

Con el grupo de apoyo se construyó una línea de tiempo. Para esto, se contó con la participación de líderes comunitarios, personas de varias generaciones, incluyendo hombres, mujeres y personas de avanza edad. Con esta estrategia se buscó conocer los cambios significativos en el pasado de la comunidad y el manejo del acueducto [7] en aspectos como la construcción, operación y manejo, así como problemas y/o dificultades que la comunidad ha tenido que enfrentar y la manera de resolverlos.

La dinámica consistió en organizar el grupo de trabajo y explicar el objetivo del ejercicio; hacer una compilación de los cambios que han afectado a la comunidad a través del tiempo, en aspectos relacionados con organización social, recursos naturales y manejo del acueducto, también se resaltó la importancia de recordar los eventos lo más lejos posible en el pasado. A medida que los participantes recordaban eventos se registraban en tarjetas anexando año, evento y comentarios. El uso de tarjetas facilitó la construcción de la línea de tiempo, ya que en ocasiones se tuvieron que mover para mantener el orden cronológico. En la actividad participaron cinco personas; 3 hombres y 2 mujeres, el tiempo de residencia en la zona de las personas participantes fue de 6, 15, 23, 30 y 40 años. La actividad fue desarrollada el 15 de septiembre de 2017, facilitada por tres estudiantes; 2 vinculadas al proyecto de investigación, y una estudiante de quinto semestre de trabajo social (Foto 7).



Foto 7 Aspectos de la elaboración de la línea de tiempo

3.2.9 Aforo y monitoreo

Se recopilaron datos sobre cantidad de agua disponible en la fuente abastecedora y su variación espacio-temporal a partir de aforos. Al mismo tiempo, se realizó un muestreo y evaluación de parámetros de calidad del agua. Para esto, se realizaron once muestreos, que incluyeron el sitio de captación, el tanque de almacenamiento del sistema, y la vivienda más alejada en la red de distribución. La recolección se hizo para época seca y época lluviosa.

A partir de información reportada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para el 2017 [18] [19] [20], se planteó realizar las jornadas de aforo y monitoreo los días 23, 25, 28, 30 de agosto y 01 de septiembre de 2017 para la época seca. Las jornadas de época lluviosa se adelantaron el 20, 21, 27, 28 y 29 de septiembre de 2017.

Para determinar la oferta de agua en términos de cantidad, teniendo en cuenta la inspección realizada a la zona de estudio y las recomendaciones de la revisión de literatura, se decidió realizar un aforo volumétrico [21]. En el caso de la bocatoma, se adaptó una “estructura de estancamiento” removible, con la ayuda de costales llenos de arena, y con una teja se canalizó el flujo hacia un tanque de 250 L de capacidad, midiendo el tiempo de llenado con un cronómetro. En el caso del tanque de almacenamiento, al que llegaban dos suministros de agua cruda mediante dos mangueras: una proveniente de la bocatoma y otra de un punto ubicado a unos 300 metros aguas arriba de la captación, también se utilizó el método

volumétrico, usando un balde aforado con 30 L de capacidad y un cronómetro para medir el tiempo de llenado.

Para determinar la oferta hídrica en el sistema en cuanto a calidad, se tomaron muestras en los tres puntos mencionados: Bocatoma, Tanque de almacenamiento y Vivienda Más Alejada en la Red de Distribución. En campo se midieron indicadores de calidad como pH y temperatura, utilizando un peachímetro portátil (Referencia HI98103 Checker pH tester) y termómetro de laboratorio, respectivamente. Para las muestras de agua recolectadas, tanto en época seca como en época lluviosa, se realizaron análisis de los parámetros físico-químicos y microbiológicos que aparecen 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

Así mismo, teniendo en cuenta la normatividad colombiana, se evaluó el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA), reglamentado por la Resolución 2115 de 2007 [22]. Los parámetros involucrados en el cálculo del IRCA son: Color aparente, Turbiedad, pH, Cloro residual libre, Alcalinidad Total, Calcio, Fosfatos, Manganeso, Molibdeno, Magnesio, Zinc, Dureza Total, Sulfatos, Hierro Total, Cloruros, Nitratos, Nitritos, Aluminio (Al^{+3}), Fluoruros, COT, Coliformes Totales y Escherichia Coli [22]. Para este análisis, se dispuso de las jornadas de muestreo puntual del 14 de agosto de 2017 (época seca) y 27 de noviembre de 2017 (época lluviosa). Este muestreo se hizo únicamente para la bocatoma.

Durante las jornadas de muestreo, la toma y preservación de muestras se hizo teniendo en cuenta los procedimientos recomendados por el IDEAM y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [23]. Las muestras recolectadas fueron entregadas al laboratorio de

consultas industriales de la UIS, el cual hizo el análisis fisicoquímico y microbiológico siguiendo los lineamientos exigidos por el IDEAM. En el Anexo 1 se sintetizan los métodos empleados para los análisis de los parámetros evaluados.

La Foto 8 muestra aspectos de las jornadas de aforo y monitoreo, llevadas a cabo en el sistema.



Foto 8 Jornadas de aforo y monitoreo

3.2.10 Análisis de datos

Los datos obtenidos a partir de información secundaria, entrevistas semi-estructuradas, mapa social, línea de tiempo e inspecciones fueron analizados de acuerdo a temas, clasificándolos en categorías basadas en los objetivos de investigación. Los datos de las encuestas, aforos y muestreos se analizaron transformando los datos, para su interpretación y análisis, mediante gráficos y diagramas para representar los sistemas de categorías.

Con la información de calidad de agua, fue posible profundizar en el análisis cuantitativo, mediante el tratamiento estadístico de los datos. Primero, se elaboraron diagramas de Boxplot, en relación con el régimen de precipitación (época seca y lluviosa), acompañados de un resumen estadístico descriptivo para cada variable y los valores obtenidos fueron comparados con el valor máximo permisible por la Resolución 2115 de 2007 [24], que estipula las concentraciones límite para destinar el agua a consumo humano.

Así mismo, se evaluó cuantitativamente la diferencia estadística entre los regímenes de precipitación empleando la prueba t de Student de dos muestras para la media en cada uno de los parámetros estudiados. Paralelamente se calculó el intervalo de confianza de 95% para la media y para la diferencia, con el objetivo de determinar de forma veraz si existe o no una diferencia significativa estacional en la concentración del parámetro. Se empleó un nivel de significancia del 5% tanto para la prueba t como para el cálculo de los intervalos de confianza.

Se investigó si existían diferencias estadísticamente significativas entre los puntos de muestreo, teniendo en cuenta el régimen de precipitación, usando la prueba de Kruskal-Wallis. Se utilizó un nivel de significancia del 5% y se tomó como factor de análisis el Valor P de la prueba. Esta información también fue contrastada con el valor máximo permisible dispuesto en la Resolución 2115 de 2007 [24]. Por último, se comparó el Índice de Riesgo a la Calidad del Agua (IRCA) para la época seca y lluviosa, siguiendo los lineamientos de la Resolución 2115 de 2007 [24].

El análisis de la información obtenida desde los diversos instrumentos aplicados, cualitativos y cuantitativos, se hizo mediante triangulación, es decir, cruzando los resultados obtenidos a partir de cada método de recolección de información empleado [25].

3.3 Formulación participativa de propuestas de mejora

La formulación de estrategias de mejora se hizo mediante talleres participativos a través de las cuales se le presentaba a miembros de la comunidad los resultados de la comparación del estado en la comunidad de los diferentes indicadores de sostenibilidad estudiados, frente a las condiciones deseables expresada en los referentes teóricos o normativos. Con estos insumos, la comunidad realizaba una síntesis de aspectos por mejorar y planteaba estrategias de solución, que luego eran priorizadas a partir de matrices de comparación por pares [15]. Aspectos de la aplicación de esta estrategia pueden observarse en la Foto 9.

4 REVISIÓN DE LITERATURA

Este capítulo sintetiza los resultados de la revisión de literatura sobre los aspectos en los que se basa la investigación: i) Sostenibilidad, ii) Abastecimientos de agua rurales; y iii) Evaluación de la sostenibilidad en abastecimientos de agua rurales. Se abordan además los marcos conceptuales, dimensiones e indicadores para estudiar la sostenibilidad en sistemas de abastecimiento de agua rurales que pueden ser aplicados en el contexto de páramo.

4.1 Sostenibilidad

A partir del informe de la Comisión Brundtland, “Nuestro futuro común”, publicado en 1987, donde se acuñó el término de Desarrollo Sostenible, definido como: “*el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades*” [5], ha habido varias corrientes en relación con el concepto de sostenibilidad. Por ejemplo, una de las corrientes está relacionada con tres dimensiones que deben estar en armonía: social, económica y ambiental; otra corriente distingue entre una sostenibilidad fuerte y otra sostenibilidad débil [26]. En el caso de la primera corriente, las tres dimensiones se conocen como tres pilares de la sostenibilidad [13]. En el caso de la segunda corriente, la sostenibilidad fuerte está relacionada con umbrales que no pueden ser cruzados y la sostenibilidad débil está asociada a servicios ambientales que pueden ser sustituidos por otros servicios. La fijación de los umbrales está ligada al concepto de resiliencia que es la capacidad de un sistema de recuperarse de choques y estrés [26].

4.2 Abastecimientos de agua rurales

Aun cuando las comunidades rurales pueden aparecer en estadísticas oficiales como con acceso a fuentes mejoradas de agua [27], el agua suministrada no es necesariamente segura [3], y a menudo los sistemas rurales presentan deficiencias tecnológicas, financieras y operativas que impiden a la gente gozar de servicios sostenibles y buena salud [28].

Los abastecimientos de agua rurales presentan múltiples problemas entre los cuales la literatura ha identificado: envejecimiento de la infraestructura; dificultad para llevar a cabo reparaciones; baja recuperación de costos; recursos humanos inadecuados; pobre entrenamiento de los empleados y gestión financiera; falta de información para la toma de

decisiones; inadecuado tratamiento del agua y monitoreo de la calidad; fugas y contaminación microbiológica; abastecimiento intermitente; ausencia de apoyo político, y fondos insuficientes, entre otros [4].

La nueva agenda de Desarrollo Sostenible reconoce que las tecnologías y los recursos hídricos necesarios para alcanzar los nuevos objetivos existen y que la necesidad es asegurar que las soluciones funcionan en la práctica y en su contexto [29]. Por lo tanto, la comprensión de los factores que contribuyen a la sostenibilidad en los sistemas colectivos de abastecimiento de agua rurales puede ser un insumo para la formulación de políticas que permitan mejorar el funcionamiento de estos sistemas, diseñando estrategias adaptadas a la diversidad y la complejidad de los sistemas y contextos rurales.

4.3 Evaluación de la sostenibilidad en abastecimientos de agua rurales

Un sistema de abastecimiento es sostenible si cumple con la demanda del recurso hídrico para toda la población, y en condiciones aceptables, sin comprometerlo en el futuro [30]. A pesar de la intención por parte de diferentes organizaciones y entidades públicas de generar sistemas de abastecimiento seguros en países en vía de desarrollo, la situación actual sigue siendo crítica [31]. Esto ha despertado el interés en la comunidad académica por comprender aquellos factores que afectan la sostenibilidad de sistemas de abastecimiento rurales [32]. Como respuesta a esta problemática diferentes autores han empleado distintos marcos conceptuales e indicadores que permitan evaluar y replicar sistemas de abastecimiento rurales sostenibles. A continuación, se describen brevemente algunos de estos marcos conceptuales e indicadores.

4.3.1 Marcos conceptuales para el análisis de sostenibilidad

En la evaluación de la sostenibilidad, marcos conceptuales ampliamente utilizados incluyen el marco presión-estado-respuesta (PSR) [33], el marco fuerza motriz-presión-estado-impacto-respuesta (DPSIR) [34], y el marco para el análisis de sistemas socioecológicos (SES) [35]. La Tabla 2 presenta una breve descripción de estos marcos conceptuales.

Tabla 2. Marcos conceptuales para evaluación de la sostenibilidad en sistemas de abastecimiento de agua

Marco conceptual	Descripción
PSR	Considera que las actividades humanas ejercen presiones en el ambiente y afectan su calidad, por ende, la sociedad responde ante estos cambios a través de políticas ambientales y económicas que buscan generar conciencia y mejorar el comportamiento de la población [33]. Divide las presiones en dos: las presiones indirectas, generadas debido a las actividades que el ser humano ejerce para su desarrollo (transporte, agricultura, etc.), y las presiones directas, asociadas a la contaminación y a la generación de residuos.
DPSIR	Se deriva del PSR. Considera unas fuerzas motrices (conocidas como presiones indirectas en el PSR) y ciertos indicadores de impacto, que reflejan los efectos sobre la salud humana y los ecosistemas [34].
SES	Considera que los sistemas socioecológicos están compuestos por cuatro subsistemas (unidades de recurso, sistemas de recurso, sistemas de gobierno y usuarios). El marco conceptual estudia la relación entre estos subsistemas, así como la interacción de las variables de segundo orden, que dependen específicamente del tipo de investigación que se esté realizando [35].

Los marcos conceptuales encontrados en la revisión de literatura llevada a cabo, generalmente se basan en el análisis de múltiples dimensiones de la sostenibilidad que son propuestas para evaluar el estado de un sistema de abastecimiento rural. Por lo general, se suele plantear un objetivo, así como una definición y características de la sostenibilidad. Con base en esta información se identifican factores que afectan la sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento de agua colectivos en entornos rurales y según las características de la zona estudiada, se emplean diferentes criterios para hacer una evaluación y generar un diagnóstico de la situación.

Es importante tener en cuenta que cada caso de estudio es único, algunas dimensiones de la sostenibilidad pueden tener más jerarquía o peso según el objetivo planteado y por lo tanto el marco conceptual empleado debe ser flexible y abierto a la interpretación. Así mismo, la evaluación de los indicadores puede realizarse de la manera que se considere más adecuada según los recursos y el tiempo disponible. Como resultado de la evaluación, se obtendrá una

idea general del estado del sistema, así como de las áreas o factores de la sostenibilidad que requieran de una mayor atención.

4.3.2 Dimensiones de la sostenibilidad

Mediante la revisión de los artículos, fue posible identificar cuatro dimensiones de la sostenibilidad que se consideran en la mayoría de las evaluaciones realizadas aplicadas a casos de estudio específicos: técnica, social, ambiental y económica.

La dimensión social tiene como objetivo evaluar si el sistema de abastecimiento tiene un impacto positivo en la comunidad. Busca que toda la comunidad se involucre en todas las fases del proyecto y esté al tanto de las decisiones que se toman para optimizar el sistema de abastecimiento. Una comunidad que no esté satisfecha con el sistema perderá el interés por sostenerse en el tiempo y optará por buscar otras alternativas no sostenibles.

La dimensión técnica busca determinar si la tecnología empleada en el sistema es la más conveniente y si esta funciona de manera adecuada. El uso de partes complejas y costosas implica mayores gastos y esfuerzos en actividades de capacitación, que en muchas ocasiones las comunidades rurales no pueden permitirse. También abarca todos aquellos procesos llevados a cabo para que el suministro del recurso hídrico sea constante, como actividades de operación y mantenimiento, entrenamiento de funcionarios y apoyo externo.

La dimensión ambiental promueve el uso del recurso hídrico de tal manera que otros componentes del ecosistema como el suelo, aire y la vegetación no se vean deteriorados. También vela por evitar la contaminación del agua dentro del sistema de abastecimiento, pues el consumo de agua en condiciones no favorables está asociado con enfermedades e infecciones en el hombre.

La dimensión económica busca establecer si la comunidad tiene capacidad para costear los gastos que involucran el correcto funcionamiento del sistema de acueducto. También indaga si la comunidad realiza las prácticas administrativas adecuadas y si estas son conocidas por todos los miembros.

A pesar de que otras dimensiones, tales como: operación y mantenimiento ([36], [37]), entrenamiento de los operarios ([38]), tecnología empleada ([39]), etc., sean usadas en ciertos

casos, es posible considerarlas como indicadores o sub-indicadores de las dimensiones ya mencionadas anteriormente.

4.3.3 Indicadores de sostenibilidad

Debido a que hay varias interpretaciones de la palabra, resulta necesario establecer qué es un indicador. Los indicadores de sostenibilidad categorizan y cuantifican el impacto positivo o negativo de las acciones humanas sobre un sistema [40]. Tienen la capacidad de sintetizar, enfocar y condensar una gran cantidad de información; medidos de manera continua permiten emitir un juicio del grado de sostenibilidad presente en un sistema [41].

En el contexto de esta investigación, se consideró como un indicador a cada una de las variables que se pueden evaluar para conocer la sostenibilidad de un sistema de abastecimiento rural. Los indicadores provienen del estudio de cada caso, de igual forma, se derivan de las dimensiones o factores de la sostenibilidad. Así mismo, cada indicador puede estar compuesto por sub-indicadores o criterios. Es importante resaltar que los criterios evaluados pueden variar en función de los objetivos planteados. Cada uno de los sub-indicadores o criterios es evaluado por medio de distintos instrumentos de recolección de información.

Como resultado de la revisión de literatura fue posible identificar indicadores que se han usado para evaluar la sostenibilidad en acueductos rurales en diferentes contextos. La Tabla 3 presenta una compilación de estos indicadores.

Tabla 3 Indicadores de sostenibilidad de acuerdo a dimensiones

Dimensión	Indicador
Social	Participación de la comunidad en reuniones relacionadas con el acueducto
	Participación de la comunidad en actividades de operación y mantenimiento
	Participación de mujeres en todos los aspectos de gestión y mantenimiento del sistema
	Compromiso organizacional (valores comunes)
	Existencia de mecanismos para manejar conflictos
	Rotación de miembros
	Redes y conectividad horizontal
	Existencia de reglas, normas y sanciones
	Relaciones de confianza y reciprocidad
	Inscripción ante la cámara de comercio
	Inscripción a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
	Reporte al Sistema Único de Información

Dimensión	Indicador
	Inscripción y reporte de tarifas a la Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento
	Permiso o concesión de aguas
	Contrato de condiciones uniformes
	Oficina o proceso de quejas y reclamos
	Existencia de estructura organizativa
	Mecanismos de rendición de cuentas
	Registros contables básicos
	Capacitación del personal
	Inventario de materiales, insumos y herramientas
	Registro de suscriptores
	Apoyo externo
Técnica	Disponibilidad de tecnología
	Uso de partes locales en el sistema
	Tamaño del proyecto
	Presencia de partes complejas en el sistema
	Capacidad de expansión cuando la población aumente
	Suministro del recurso de forma continua
	Entrenamiento de funcionarios
	Soporte externo
	Actividades de operación y mantenimiento continuas
	Compatibilidad con características geográficas
	Implementación según el diseño
	Tiempo de vida del sistema
	Crecimiento poblacional
	Distancia a la fuente
Caudal mínimo	
Ambiental	Contaminación del ambiente
	Contaminación de otra fuente de agua
	Cantidad de energía no renovable empleada
	Cambios en el paisaje debido al sistema
	Usos del agua
	Nivel de eutrofización
	Contaminación del suelo
	Tecnología de desinfección
	Calidad óptima de la fuente de suministro
	Capacidad de usar el recurso de forma segura
	Contaminación del agua en el sistema
Necesidad de recurrir a otras fuentes de abastecimiento	
Económica	Gastos de capital asequibles
	Cantidad de trabajadores locales empleados
	Costo total del proyecto
	Fuente de financiación

Dimensión	Indicador
	Presencia de tarifas
	Registro de pagos de tarifas
	Conocimiento de gastos
	Voluntad de pagar
	Presupuesto
	Riesgo financiero
	Problemas legales por la tierra ocupada
	Problemas legales por propiedad del sistema
	Transparencia en el sistema
	Existencia de estrategia gubernamental de apoyo
	Existencia de donaciones por parte de una entidad privada
	Morosidad
	Recuperación de costos
	Existencia de fondo de ahorro

Los indicadores relacionados en la Tabla 3, son indicadores de sostenibilidad que han sido usados en diferentes contextos y que fueron identificados como resultado de la revisión de literatura. Algunos de ellos serán relevantes para la evaluación de la sostenibilidad en el contexto del páramo de Berlín, mientras otros no. Así mismo, el contexto del caso de estudio hace necesario plantear otros indicadores como se ilustrará en los siguientes capítulos del presente informe.

5 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CASO DE ESTUDIO

La evaluación de la sostenibilidad de un acueducto rural en ecosistema de páramo fue aplicada al caso de estudio del Acueducto Andes-El Progreso, localizado en el DMI Páramo de Berlín. El DMI Páramo de Berlín está ubicado al norte de la Cordillera Oriental de Colombia, comprende los departamentos de Santander (33.6%, municipio de Tona) y Norte de Santander (66.4%, municipios de Silos y Mutiscua). El municipio de Tona comprende el 33.57% del DMI, con una extensión de 14860 has. y una población de 2507 habitantes en el corregimiento de Berlín [42]. La comunidad beneficiaria del sistema en estudio está ubicada en el municipio de Tona, al sur del DMI como se muestra en la Figura 1.

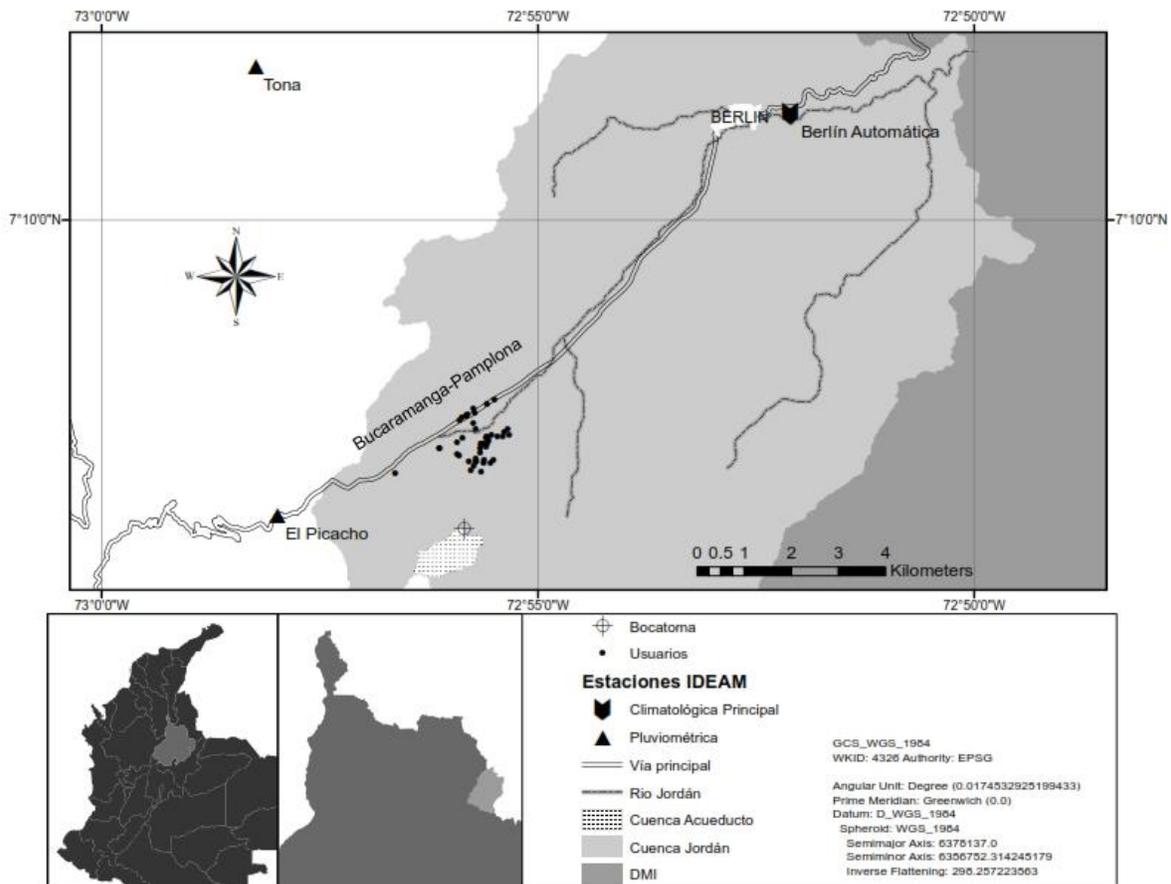


Figura 1 Localización del caso de estudio

A partir del año 1990, se empezó a asentar la comunidad abastecida por el sistema, con aproximadamente 6 viviendas que fueron fraccionando los predios y adecuando sus tierras al uso agrícola. Con la constante inmigración y el desplazamiento de los pueblos vecinos se fue poblando rápidamente la zona, teniendo el cultivo de cebolla como principal factor de atracción; no obstante, la fluctuación en el precio de este producto, también ha generado una dinámica de emigración en algunas épocas. La actividad de producción agrícola más representativa en el sector es el cultivo de cebolla, principal fuente de ingresos económicos para la población [43].

El siguiente capítulo, abordará una descripción más profunda al analizar los distintos factores contextuales en relación con la sostenibilidad en el sistema de abastecimiento estudiado.

6 EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN EL CONTEXTO DEL CASO DE ESTUDIO

Con el fin de realizar una valoración de la sostenibilidad en sistemas de abastecimiento de agua rurales colectivos en ecosistemas de páramo, se relacionó la información adquirida por medio de cada uno de los instrumentos de recolección de información empleados con algunos de los indicadores identificados a través de la revisión de literatura y otros considerados pertinentes para la situación en análisis. Este capítulo aborda la evaluación de la sostenibilidad en el sistema caso de estudio, considerando las dimensiones: social, técnica, ambiental y económica. A continuación, se describen los resultados de este análisis.

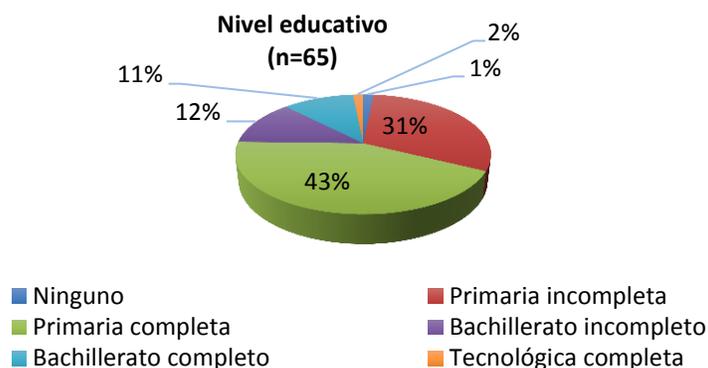
6.1 Dimensión social

La siguiente sección presenta la valoración de aspectos sociales, que incluyen elementos relacionados con características de la comunidad, usos del agua y el suelo, acción colectiva, administración y requisitos de orden legal, aplicados al caso de estudio del acueducto de Los Andes – El Progreso, en el distrito de Manejo Integrado del Páramo de Berlín en Santander.

6.1.1 Aspectos demográficos

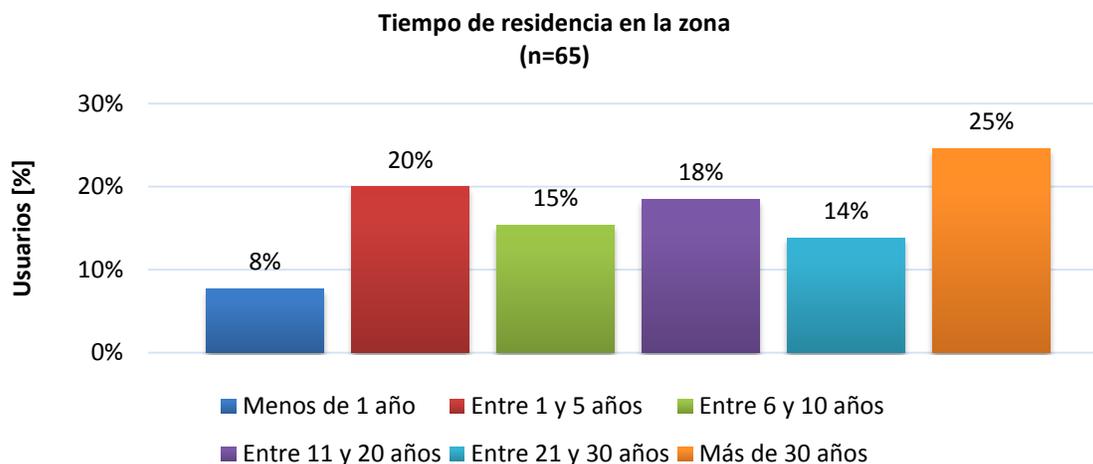
En la actualidad, existen 85 viviendas beneficiarias del sistema de abastecimiento Los Andes – El Progreso, con una densidad poblacional de 4 habitantes por vivienda (aproximadamente 340 habitantes), y una distribución equitativa de género, es decir, 2 mujeres y 2 hombres por vivienda.

El nivel educativo de la comunidad, que se puede inferir a partir de las respuestas de los encuestados, no es alto, pues la mayoría de los encuestados cuentan con primaria completa e incompleta, como se muestra en la Gráfica 1.



Gráfica 1 Nivel educativo de los encuestados

En relación con el tiempo de residencia en la zona, según la Gráfica 2, se evidencia que hay un 25% de la comunidad que lleva residiendo más de 30 años en la zona. El 62% de los encuestados ha residido en el sector por más de 10 años. En general, hay una distribución de las familias similar, en los diferentes tiempos de residencia, con una mezcla interesante de personas muy recientemente en la zona, con personas con larga historia en el caserío.



Gráfica 2 Tiempo de residencia en la zona

Se encontró que el 49% de los encuestados residía en viviendas propias, mientras que el 43% lo hacía en arriendo (Gráfica 3). Por lo general, los ocupantes de las viviendas arrendadas se encargan del cultivo de la cebolla y al final de cada periodo de cosecha las ganancias son divididas entre el propietario y el arrendatario.



Gráfica 3 Propiedad de la vivienda

6.1.2 Usos del agua y el suelo

El cultivo de la cebolla es la principal fuente de ingresos económicos para la población [12], esto se refleja en el uso del suelo, donde se encontró que el 95.4% de los usuarios tiene cultivos de cebolla y el 4.7 % de los usuarios cultiva papa (3 encuestados).

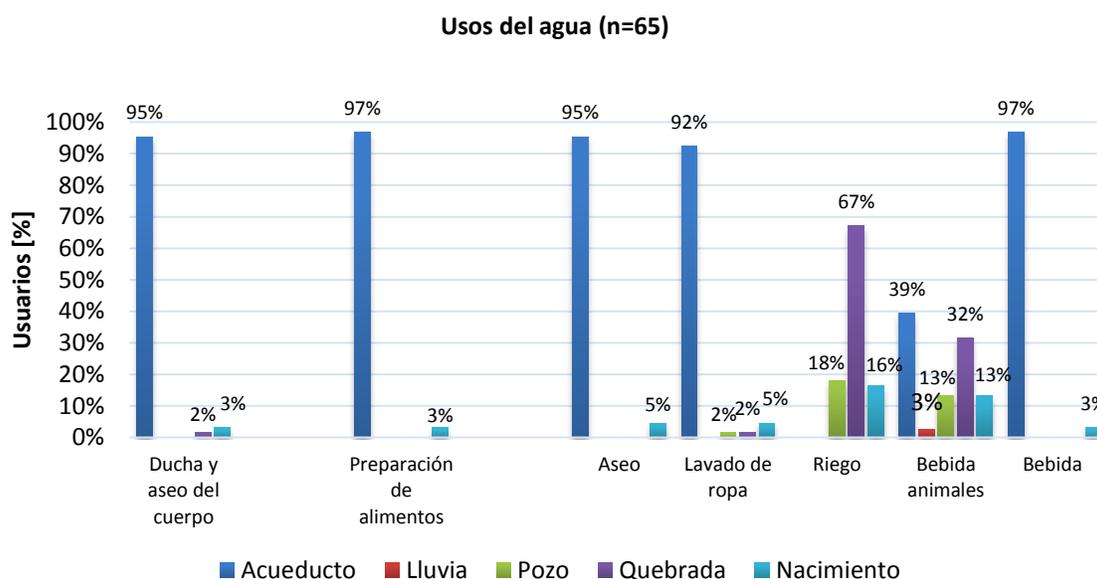
En cuanto al uso del agua, los encuestados manifestaron disfrutar de acceso a varias fuentes de abastecimiento, además del agua del acueducto, tales como: quebradas, nacimientos, río, y pozos (Gráfica 4).



Gráfica 4 Fuentes de agua alternativas

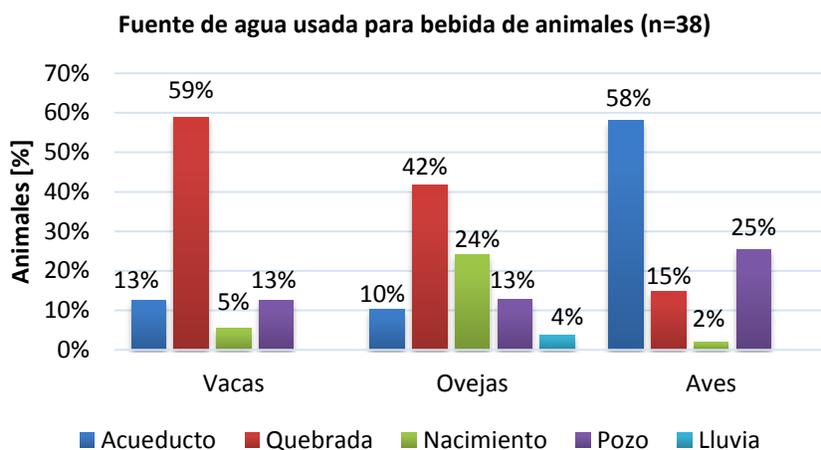
En cuanto a los usos del agua del acueducto, quienes respondieron la encuesta indicaron que emplean el líquido suministrado por el sistema principalmente para usos domésticos como la preparación de alimentos, para el aseo del cuerpo y para lavar ropa (Gráfica 5).

Los encuestados expresaron realizar actividades de riego por medio de aspersores entre tres y cuatro meses al año, es decir, en temporada seca. Este riego se realiza dos veces a la semana, con una duración de ocho horas al día. Como puede observarse en la Gráfica 5, ningún usuario declaró usar el agua del acueducto para el riego, afirmando usar la quebrada como fuente principal para satisfacer esta necesidad. Sin embargo, mediante conversaciones informales con miembros de la comunidad, algunos habitantes manifestaron que sus vecinos efectivamente usaban el agua del acueducto para el riego de la cebolla.



Gráfica 5 Usos del agua del acueducto

En relación al sector pecuario, 58% de los usuarios del sistema expresó tener animales en el predio. Se reportó la presencia de 0.86 cabezas de ganado vacuno, 1.21 de ganado ovino y 3.77 aves por vivienda. El 39% de los usuarios poseedores de animales manifestó usar el agua del acueducto para satisfacer las necesidades del animal, sin embargo, también predomina el uso de la quebrada (Gráfica 6).



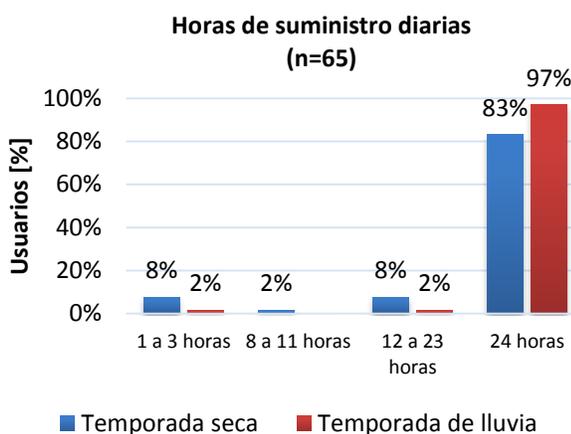
Gráfica 6 Fuente de agua usada para la bebida de animales

6.1.3 Percepción sobre el sistema

Se indagaron aspectos relacionados con la percepción de los usuarios en relación con: i) continuidad; ii) cantidad y iii) calidad. Como es común en los acueductos veredales en Colombia, la comunidad no cuenta con un mecanismo para medir el consumo por usuario del recurso hídrico. Al preguntar a los encuestados si recibían el servicio de forma continua durante todo el año, 89% respondieron afirmativamente (Gráfica 7). Así mismo, solo unos pocos usuarios manifestaron recibir el agua menos de 24 horas en época seca (18%) y en época de lluvia (3%) (Gráfica 8).



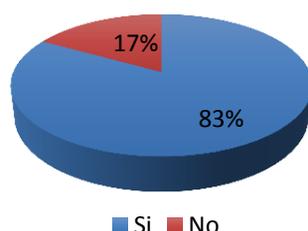
Gráfica 7 Continuidad del servicio



Gráfica 8 Horas de suministro diarias

Al preguntar si la cantidad del agua del acueducto era suficiente para todas las necesidades del hogar, 83% de los usuarios respondieron positivamente. Los usuarios que expresaron insatisfacción (17%), argumentaron que en verano el agua no era suficiente o que el suministro de agua no se realizaba continuamente (Gráfica 9).

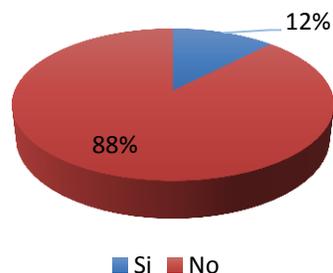
Satisfacción con la cantidad de agua que recibe del acueducto para todas las necesidades (n=65)



Gráfica 9 Satisfacción con la cantidad de agua para satisfacer la demanda

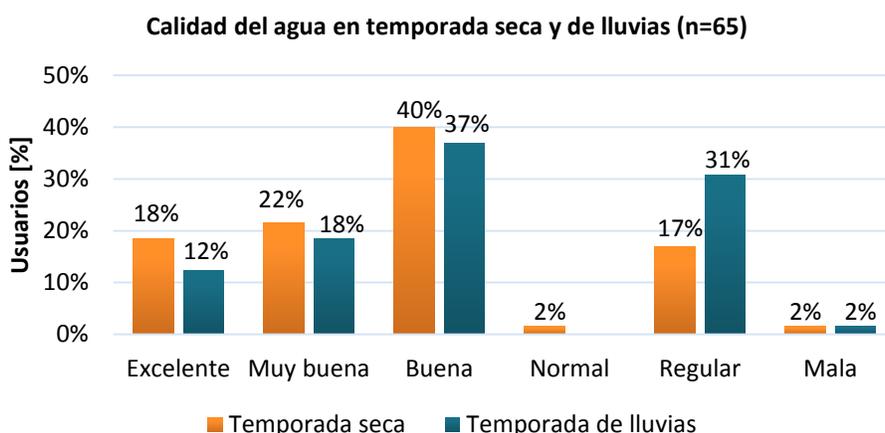
El hecho de recibir el agua de manera continua y suficiente para todas las necesidades por parte de la mayoría de los usuarios, coincide con el hecho de que un 88% de las viviendas no tienen tanque de almacenamiento domiciliario (Gráfica 10).

Presencia de tanques de almacenamiento en la vivienda (n=65)



Gráfica 10 Presencia de tanques de almacenamiento en la vivienda

Así mismo, una gran cantidad de usuarios respondió que la calidad del recurso en temporada de lluvia era buena porque nunca hacía falta, lo que denota una confusión entre cantidad y calidad. Sin embargo, el 33% de los encuestados afirmó que la calidad del agua en temporada de lluvia era regular o mala, pues llegaba turbia a los hogares (Gráfica 11).

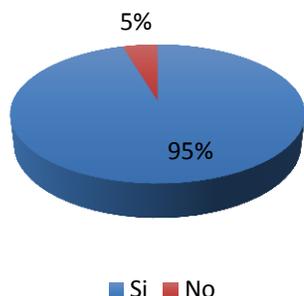


Gráfica 11 Percepción sobre la variación estacional de la calidad del agua

El 95% de los encuestados expresaron que les preocupa la contaminación del agua del acueducto. Las personas preocupadas por la contaminación argumentaron que el tema era de interés pues representaba problemas de salud y deterioro del medio ambiente. Los encuestados que no están preocupados por la contaminación aseguraron que esta no existe en el sistema de abastecimiento (Gráfica 12).

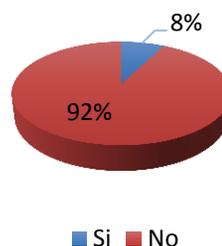
Al preguntar a los encuestados si consideraban que el consumo del agua del acueducto era causante de problemas de salud, únicamente el 8% respondió afirmativamente, siendo el dolor de estómago la enfermedad reportada en todos los casos. Sin embargo, solamente un encuestado considera que los problemas de salud tienen gran impacto en sus labores cotidianas (Gráfica 13).

Preocupación sobre la contaminación del acueducto (n=65)



Gráfica 12 Preocupación por la contaminación del agua

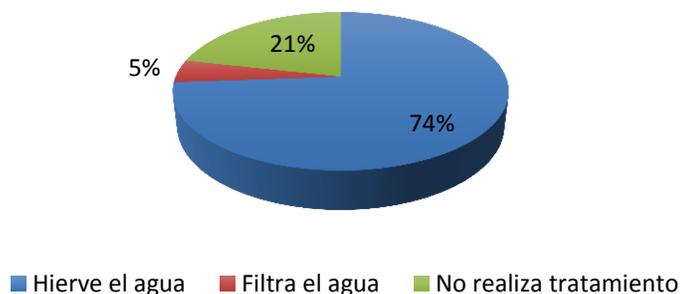
Ocurrencia de problemas de salud relacionados con el agua usada para beber (n=65)



Gráfica 13 Ocurrencia de problemas de salud asociados al agua

A pesar de que la mayoría de las personas manifestaron estar preocupadas por la posible contaminación del agua del acueducto, el 74% de los encuestados no realizan ningún tratamiento al agua que reciben antes de ser consumida (Gráfica 14).

Tratamiento al agua que recibe del acueducto antes de ser consumida (n=65)



Gráfica 14 Tratamiento al agua a nivel de la vivienda

6.1.4 Acción colectiva

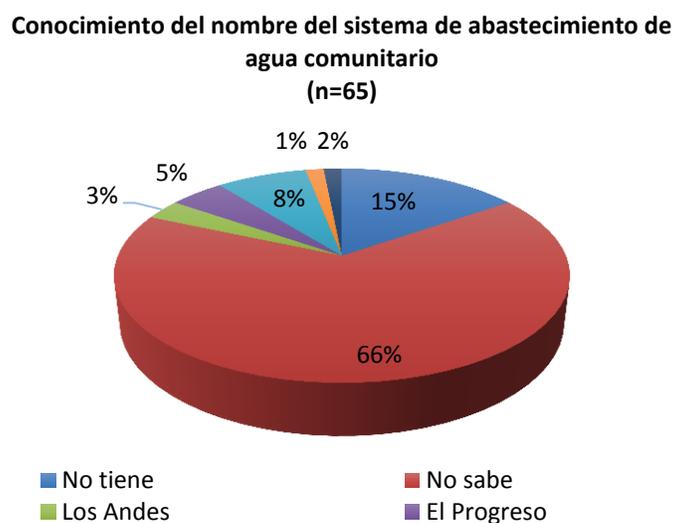
La acción colectiva establece los fundamentos para lograr objetivos comunes. Se centra principalmente en la comprensión de las interacciones entre los miembros de la comunidad, la elaboración de normas y mecanismos para supervisar el cumplimiento y resolver los

problemas [44]. Los mecanismos para lograr un entorno social más solidario y cohesionado incluyen la participación, la cohesión social y el capital social.

6.1.4.1 Participación

La participación aumenta el sentido de propiedad sobre el suministro de agua dentro de la comunidad. La participación de los beneficiarios contribuye directamente con la eficacia en la el suministro del servicio, sin participación es poco probable que los sistemas sean sostenibles [45]. Este parámetro incluye entre otros aspectos, contribución de mano de obra para construcción, instalación o suministro del sistema, asistencia a reuniones relacionadas con la prestación del servicio y contribuciones económicas al sistema [46].

Para tener una idea sobre el nivel de participación de los usuarios se realizaron varias preguntas en la encuesta de hogares, entre ellas, si los encuestados conocían el nombre que recibía el sistema de acueducto, a lo cual, el 66% manifestó no saber. La persona que tuvo la iniciativa de legalizar el acueducto afirmó que para el proceso de legalización el acueducto había adoptado el nombre de “El Progreso, Los Andes” (Gráfica 15).

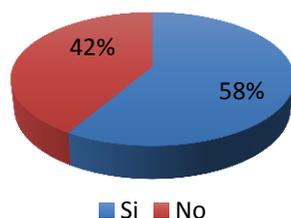


Gráfica 15 Conocimiento del nombre del sistema de abastecimiento

Así mismo, el 58% de los encuestados expresó haber participado en el desarrollo de alguna actividad relacionada con el acueducto como se observa en la Gráfica 16, las actividades

donde se evidencia más participación incluyen reuniones con la comunidad, participando económicamente y apoyando labores de operación y mantenimiento, como lo muestra la Gráfica 17.

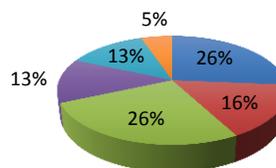
¿Usted o algún miembro de su familia ha participado en el desarrollo de proyectos relacionados con el agua?
(n = 65)



Gráfica 16 Participación en proyectos relacionados con el agua

- Participando en reuniones con la comunidad
- Apoyando labores de OyM
- Económicamente y reuniones y apoyando OyM
- Económicamente y reuniones
- Reuniones y apoyando OyM
- Económicamente y apoyando OyM

¿Cómo ha sido la participación?
(n = 38)



Gráfica 17 Formas de participación

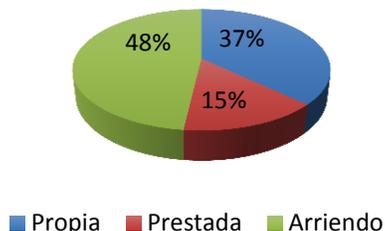
Así mismo, un 29% de los encuestados afirmó que no participa en las actividades del acueducto debido a que tienen otras responsabilidades y otro 29% de los encuestados se refirió a que se debe a la falta de tiempo, como se observa en la Gráfica 18, resaltando que estos son los principales motivos por los que las personas no participan. Para indagar si había relación entre el nivel de participación y la tenencia de la tierra, se construyó la Gráfica 19, donde se observa que el 37% de las personas que no participan en ninguna actividad son propietarios de la vivienda, lo que da evidencia que no se presenta desinterés de los proyectos relacionados con el acueducto solo por parte de las personas que viven en arriendo o en vivienda prestada, sino en todas las categorías de tenencia del predio.

¿Por qué no estaría dispuesto a participar en actividades relacionadas con el acueducto?



Gráfica 18 Argumentos para la falta de participación

Falta de participación de acuerdo a la modalidad de tenencia de la vivienda

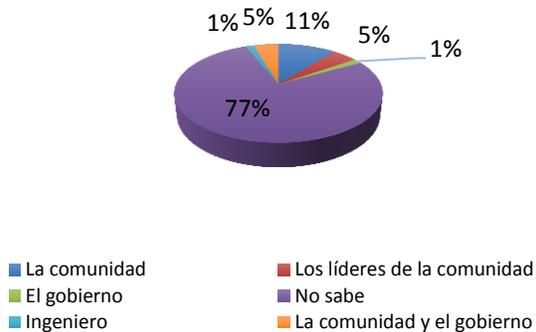


Gráfica 19 Participación y tenencia de la vivienda

Por otro lado, 77% de los encuestados afirmó desconocer quién y cómo se definieron las características del acueducto (diseño, localización, financiación), lo que indica que la participación de la comunidad en la planificación e implementación del sistema fue escasa (Gráfica 20).

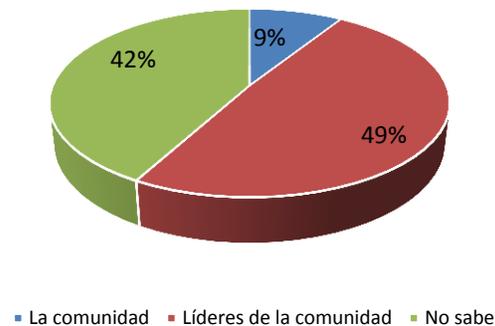
Se evidencia participación de las mujeres en todos los aspectos de gestión y mantenimiento del sistema, pues un 37% afirmó que las mujeres se involucran en todas las actividades relacionadas con el acueducto; así mismo la comunidad considera que la participación de las mujeres debe estar en igualdad con la participación de los hombres. En este mismo sentido, el 42% de los encuestados afirmaron que no saben quién se encarga de las labores de administración del sistema (Gráfica 21).

¿Conoce quien definió las características del acueducto? (n=65)



Gráfica 20 Participación en el proceso de planificación e implementación del sistema

¿Quién se encarga de las labores de administración?



Gráfica 21 Conocimiento de los encargados de la administración del sistema

6.1.4.2 Cohesión social

La cohesión social es un elemento de empoderamiento de la comunidad que une a todos sus miembros para analizar, articular y definir el acceso al servicio [47]. En este sentido, fue revelador identificar el proceso a través del cual la comunidad ha logrado suministrar el servicio de abastecimiento de agua, prácticamente sin ningún apoyo externo. Una vez iniciada, la construcción del sistema quedó inconclusa y este nunca fue entregado oficialmente a la comunidad. Por ello, la comunidad se organizó para realizar las conexiones domiciliarias, tenían la necesidad del servicio y con recursos propios (mano de obra y dinero) adecuaron el sistema. El costo de mano de obra y manguera para terminar la adecuación del sistema de distribución, en el año 2012, fue de COP \$15, 000,000. Cuando el sistema empezó a funcionar hubo una conexión de aproximadamente 40 puntos, a medida que las personas tenían recursos se conectaban al sistema, actualmente hay 85 conexiones (ver Figura 2).

Al organizarse para terminar la red de distribución ellos manifestaron que “*el agua se llevaría hasta donde alcanzara*”, procurando que el servicio cubriera la mayoría de las viviendas. Con esto se evidencia que aportan a mejorar sus niveles de cohesión ya que identificaron la necesidad de un recurso común, se organizaron y tuvieron acceso al servicio buscando así mejorar su calidad de vida. El servicio ha mantenido a la comunidad unida, ya que son conscientes de la importancia del recurso y de su necesidad.

El 98% de los encuestados no ha tenido conflictos con otros miembros de la comunidad por el agua. La mayoría de los miembros del comité encargado del manejo del acueducto han servido por aproximadamente cinco años, cumpliendo los mismos roles, siendo un aspecto negativo, pues sin cambio de roles y rotación de personal disminuye el compromiso y participación del grueso de la comunidad. La población tiene poca educación formal, lo que dificulta abordar aspectos legales y financieros y acceder a fuentes de financiamiento.

6.1.4.3 Capital social

El capital social expresa la capacidad de los miembros de la comunidad para combinar sus fortalezas y trabajar juntos para alcanzar objetivos comunes, dentro de grupos y organizaciones que apuntan al desarrollo [48]. Algunas características del capital social se expresan en confianza, normas comunes, sanciones y conexión entre la comunidad [46].

En esta investigación, el capital social fue valorado de acuerdo a tres categorías de indicadores. Primero, la conectividad horizontal y las redes de apoyo, que implica que los individuos con intereses compartidos aumenten su confianza y capacidad para trabajar juntos y tengan acceso a instituciones más amplias, como organismos gubernamentales o locales [49]. En cuanto a conectividad horizontal, se refiere al desarrollo de lazos fuertes o apoyo mutuo con personas que comparten actividades comunes que llevan a encuentros frecuentes.

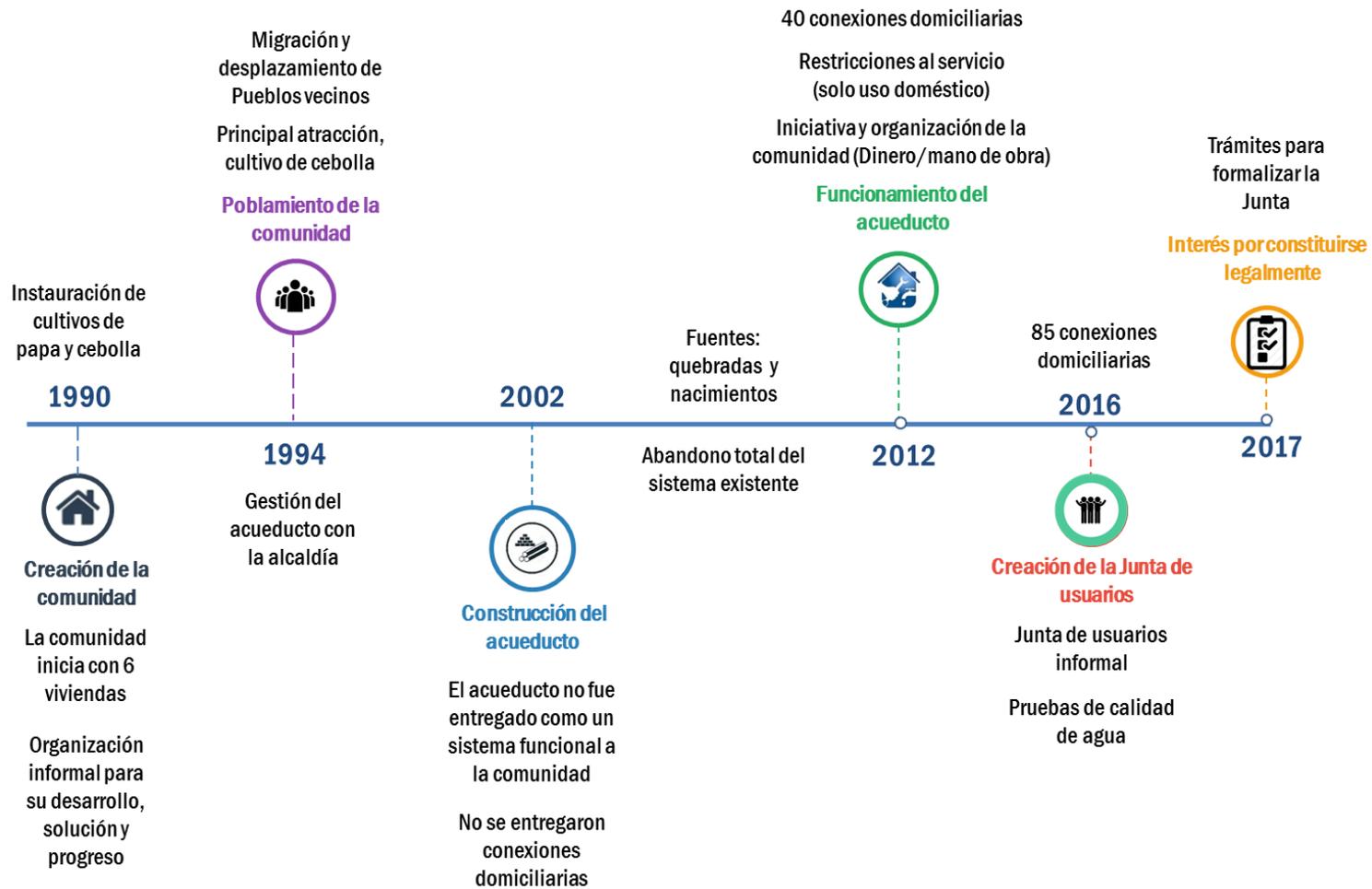


Figura 2 Línea de tiempo del Acueducto Los Andes- El Progreso

Al evaluar la existencia de redes de apoyo en Los Andes-El Progreso se evidencia la escasa relación con algún tipo de entidad externa respecto al manejo del agua, solo un 37% se mostró a favor de trabajar con la ayuda de una institución o grupo de apoyo externo. El motivo del poco interés por la mayoría de los miembros de la comunidad en trabajar con ayuda de una institución se debe a malas experiencias en la realización de proyectos en el pasado, generalmente, por incumplimiento de acuerdos pactados. Este hecho ha generado desconfianza hacia las entidades gubernamentales y por tal motivo la comunidad prefiere trabajar sin este tipo de apoyo [43]. Este tipo de conectividad es fundamental para fortalecer el capital social y contribuir a que el sistema sea sostenible, ya que generalmente estas organizaciones tienen limitaciones para generar internamente los recursos, o las funciones requeridas para su mantenimiento, y por lo tanto deben iniciar transacciones y relaciones con elementos en su entorno, que puedan proveerle recursos y servicios [50].

El segundo conjunto de variables hace referencia a la composición de grupos formales; implica la adhesión por mutuo acuerdo aceptando reglas, normas y sanciones [49]. Cuando la comunidad se organizó estableció cierto conjunto de reglas informales para acceder al servicio y así mismo mantenerlo. Por ejemplo: i) solo se podían conectar las personas que hicieran un aporte económico o con mano de obra; ii) el servicio de acueducto era solo para uso doméstico y está restringido para el riego de cultivos. Aun así, debido a que son reglas informales, si se incumple alguna de estas reglas no hay sanciones, algunos usuarios manifestaron que hay personas que en época de verano utilizan el agua del acueducto para riego de cultivos, cuando esto sucede informan a un líder de la comunidad (para evitar tener conflictos) y esa persona hace un llamado de atención. Establecer normas y sanciones comunes permite vincular en un grado más alto a la comunidad para defender sus intereses y formar nuevas organizaciones.

Las relaciones de confianza y reciprocidad constituyen el tercer tipo de variables; facilita la cooperación y reduce los costos de transacción [49]. La presencia de líderes comunitarios facilita la conexión entre la comunidad y así mismo la confianza, en el manejo de los recursos del acueducto. La comunidad de los Andes – El Progreso ha reducido los costos de mantenimiento y operación del sistema gracias al trabajo conjunto de miembros de la comunidad, desde la construcción del sistema hasta su operación y mantenimiento, es decir que de manera informal han hecho un intercambio de bienes y trabajo para conseguir un bien común. Aun así, el trabajo esta recargado en un pequeño grupo de personas que lo hacen sin

ninguna remuneración, debe existir una distribución más equitativa de estas tareas que involucre la participación e interés de todos los usuarios para garantizar una buena gestión del sistema buscando que sea sostenible.

La Tabla 4 presenta la evaluación de los indicadores relevantes a la acción colectiva en el caso de estudio.

Tabla 4 Evaluación de aspectos de acción colectiva para el sistema de abastecimiento Los Andes – El Progreso

Indicador		Cumplimiento	
		Si	No
Participación	Participación de la comunidad en reuniones relacionadas con el acueducto	x	
	Participación de la comunidad en actividades de operación y mantenimiento	x	
	Contribución económica	x	
	Participación de mujeres en todos los aspectos de gestión y mantenimiento del sistema	x	
Cohesión social	Compromiso organizacional (valores comunes)		x
	Presencia de conflictos entre los miembros de la comunidad		x
	Rotación de miembros		x
Capital social	Redes y conectividad horizontal		x
	Existencia de reglas, normas y sanciones	x	
	Relaciones de confianza y reciprocidad	x	

6.1.5 Aspectos legales

El marco regulatorio de las políticas públicas se compone de instrumentos jurídicos de distinto rango, ubicándose en el nivel superior la Constitución de la República y las leyes nacionales, y a nivel inferior decretos, resoluciones y otros recursos normativos de Ministerios, Municipios y otras entidades de gobierno [51]. A continuación, se describen brevemente las disposiciones legales vigentes emitidas por diferentes entidades del gobierno referente a normativa en páramos, la prestación del servicio de abastecimiento de agua, y la administración de las entidades prestadoras de este servicio, relevantes para la zona rural.

6.1.5.1 Normativa relacionada con el ecosistema de páramo

En relación con los ecosistemas de páramo, existe normativa vigente de aplicación nacional relacionada con su protección. En el orden nacional, la legislación se contempla en la Constitución Política Colombiana de 1991, en la Ley 99 de 1993, y en la Resolución 769 de 2002. En el ámbito local, existe el Acuerdo No. 017 de 2007 y el Acuerdo 037 y 038 de 2009. A continuación, se describen aspectos relevantes de estas normas.

Constitución Política Colombiana (1991)

En la Constitución Política, el Estado asume como obligaciones: proteger la diversidad e integridad del medio ambiente; salvaguardar las riquezas naturales de la Nación; conservar las áreas de especial importancia ecológica; fomentar la educación ambiental, planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para así garantizar su desarrollo sostenible, conservación o restauración; prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, e imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados al ambiente [52]. La expresión “áreas de especial importancia ecológica”, resalta la relevancia de ecosistemas que por su importancia y valores merecen especial protección, como los páramos [51].

Ley 99 de 1993

Por medio de esta Ley se crea el Ministerio del Medio Ambiente (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medioambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. En el artículo 1º, numeral cuarto, de esta ley se señala como principio general ambiental que *“Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial”*. Este texto ha permitido el desarrollo de un marco jurídico de protección en el que la Corte Constitucional colombiana ha tenido una influencia constante [52].

Resolución 769 de 2002

Esta resolución fue expedida el 5 de agosto de 2002, por parte del Ministerio del Medio Ambiente. En ella se incluyen disposiciones para contribuir a la protección, conservación y sostenibilidad de los páramos en el territorio nacional, siendo esta la única norma legal existente en la legislación colombiana, específica y expresamente dirigida a regular aspectos relacionados con el bioma páramo [51].

En el 2002, se diseñó y promovió el “Programa para el manejo sostenible y restauración de ecosistemas de alta montaña colombiana: Páramos”, por el Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible, con el principal objetivo de orientar la gestión ambiental nacional, regional y local en ecosistemas de páramo, y de adelantar acciones para su manejo sostenible y restauración, mediante la generación de conocimiento y socialización de su estructura y función [51].

Resolución 839 de 2003

Mediante esta resolución se establecen los términos de referencia para la elaboración del Estudio sobre el Estado Actual de Páramos y del Plan de Manejo Ambiental de los Páramos, se comienzan los trabajos en conjunto con otras entidades como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC; el Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander von Humboldt – IAVH; el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, para la elaboración de dichos insumos y productos [52].

Acuerdo 17 de 2007

Este acuerdo constituye la declaratoria por parte de la CDMB y la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR), del Distrito de Manejo Integrado (DMI) del páramo de Berlín, el 23 de noviembre de 2007. Este DMI tiene una extensión de 44,272 hectáreas, distribuidas en los municipios de Mutiscua (1,932 hectáreas) y Silos (27,480 hectáreas), en el departamento de Norte de Santander y Tona (14,860 hectáreas), en el departamento de Santander. La Declaratoria se da en reconocimiento de la invaluable riqueza florística, faunística y paisajística del páramo de Berlín, junto con su importancia para el abastecimiento de agua para las áreas metropolitanas de Bucaramanga y Cúcuta, que se encuentran amenazados de manera significativa por la expansión de las actividades agrícolas y ganaderas tradicionales y por el incremento de la minería aurífera. Esta declaratoria compartida obedeció al interés de desarrollar esfuerzos conjuntos para recuperar, conservar y preservar el Páramo de Berlín, buscando orientar y regular las actividades socioeconómicas hacia su conservación y manejo adecuado [12].

Acuerdo 37 de 2009

CORPONOR en cumplimiento de la Resolución 769 de 2002 y en aplicación de los Términos de Referencia de la Resolución 839 de 2003, elaboró y socializó, entre octubre de 2008 y mayo de 2009, el Estudio sobre el Estado Actual de los Páramos (EEAP) y el Plan de Manejo

Ambiental (PMA) del complejo de páramos de Almorzadero y Santurbán. Estos estudios fueron realizados a escala 1:25,000, y para el caso de Santurbán, fueron aprobados mediante el Acuerdo 37 de 2009, del Consejo Directivo de COPONOR. En este Acuerdo se establece legamente una zonificación de usos del suelo en la que la conservación constituye el uso principal y se prohíbe la actividad minera y el uso agropecuario intensivo. La zonificación obtenida y aprobada en este acuerdo se constituye en determinantes ambientales que los municipios deben incorporar en sus ajustes a sus ordenamientos territoriales [12]. El DMI Páramo de Berlín pertenece al complejo del páramo de Santurbán, que tiene una extensión aproximada de 150,000 hectáreas, entre los 2,800 y 4,290 m.s.n.m [12]. Según el DMI Páramo de Berlín, el sector Los Andes-El Progreso se encuentra en la zona de recuperación para la producción, en la cual se puede dar explotación al recurso suelo con carácter moderado, sin que se presenten alteraciones significativas del medio natural, haciendo uso racional de recursos conexos como el agua.

6.1.5.2 Normativa relacionada con la prestación del servicio de agua potable en comunidades rurales

La responsabilidad en la prestación del servicio de abastecimiento de agua en comunidades rurales ha quedado en cabeza de los municipios [14]. El municipio tiene una competencia como garante y gestor en materia de servicios públicos domiciliarios, porque debe hacer que los servicios sean prestados efectiva y eficientemente a su comunidad. Cuando la prestación la hace el mismo municipio, es directa; cuando terceros particulares o las comunidades organizadas se encargan de tal actividad, es indirecta [53]. Es deber de los municipios garantizar la prestación eficiente del servicio, asegurando la participación de los usuarios a través de los comités de desarrollo, control social y capacitación a la comunidad. Se debe disponer el otorgamiento de subsidios en el consumo básico de acueducto y de saneamiento básico. También corresponde a los municipios, directa o indirectamente promover o financiar proyectos de interés municipal y en especial, realizar directamente o a través de terceros, en materia de servicios públicos, la construcción, ampliación y mejoramiento de la infraestructura de los mismos. Así mismo, asesorar a los suscriptores o usuarios que deseen presentar peticiones, quejas o reclamos en materia de prestación del servicio a través de las personerías municipales [26].

Adicionalmente, la normatividad colombiana incluye elementos que reflejan requerimientos legales para los prestadores del servicio público de abastecimiento de agua, de acuerdo con el marco de exigencias de la Ley 142 de 1994 (Ley general de servicios públicos domiciliarios).

- Inscripción ante la Cámara de Comercio: Constituirse como persona jurídica sin ánimo de lucro, de acuerdo a las exigencias contempladas en el Decreto 421 de 2000; hacer el registro con jurisdicción en su respectivo domicilio y prestar los servicios en municipios menores, zonas rurales y áreas urbanas específicas [54]. Esta inscripción le permitirá a la organización ejercer derechos y cumplir con los deberes necesarios como entidad prestadora del servicio público [55].
- Inscripción a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD): Es obligación de todos los prestadores del servicio público realizar dicha inscripción, para que la entidad ejerza inspección, vigilancia y control, así como de informarle el inicio de sus actividades, en cumplimiento del numeral 18 de artículo 11 de Ley 142 de 1994 [55].
- Reporte al Sistema Único de Información de Servicios Públicos (SUI): Es una herramienta administrada por la SSPD que centraliza las necesidades de información de las Comisiones de regulación y los organismos gubernamentales que intervienen en la prestación de servicios públicos. Busca estandarizar requerimientos de información y aportar datos que permitan a las entidades del gobierno evaluar la prestación de los servicios públicos [55].
- Inscripción y reporte de tarifas a la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA): Esta entidad regula los monopolios en la prestación de los servicios públicos y promueve la competencia entre quienes presten estos servicios, para que las operaciones sean económicamente eficientes, no impliquen abuso y produzcan servicios de calidad. Dentro de sus funciones está el establecer metodologías para la fijación de tarifas de los servicios públicos y adoptar las medidas necesarias para que se apliquen las normas técnicas sobre calidad de agua potable que establezca el Ministerio de Salud [26].

- Permiso o concesión de aguas: Esta concesión es otorgada por la Corporación Autónoma Regional (CAR), y es el mecanismo para adquirir el derecho a usar o aprovechar las aguas de uso público para el abastecimiento doméstico en los casos que requiera derivación [55]. Para el caso de estudio (Berlín-Santander), la concesión de aguas es otorgada por la CDMB, por estar en el área de su jurisdicción territorial [12].
- Contrato de condiciones uniformes: En este contrato se especifican y se aclaran aspectos de obligaciones y derechos de las partes, facturación, suspensión y reinstalación del servicio, obligaciones accesorias y fallas del servicio [56]. Así mismo, debe someterse a consideración de la CRA para dar concepto sobre la legalidad de las condiciones uniformes del contrato [26].
- Oficina o proceso de quejas y reclamos: Todos los prestadores deben tener constituida una oficina de peticiones, quejas y reclamos. Si el usuario o suscriptor presenta recurso de apelación, la organización debe remitir el expediente a la SSPD para que ésta última decida sobre tal curso [57].

Los indicadores descritos incluyen los elementos que reflejan requerimientos de carácter legal para los prestadores del servicio público de abastecimiento de agua de acuerdo con el marco de exigencias de la Ley 142 de 1994 (Ley general de servicios públicos domiciliarios). La Tabla 5 presenta la evaluación de los indicadores relacionados con la sostenibilidad en función de los aspectos legales, para el sistema de abastecimiento Los Andes-El Progreso, que se extrajeron como resultado de la revisión de la normativa vigente.

Tabla 5. Evaluación del cumplimiento de aspectos legales para el sistema de abastecimiento Los Andes – El Progreso

Indicador	Cumplimiento	
	Si	No
Inscripción ante cámara de comercio		x
Inscripción a SSPD		x
Reporte al SUI		x
Inscripción y reporte de tarifas a la CRA		x
Permiso o concesión de aguas		x

Indicador	Cumplimiento	
	Si	No
Contrato de condiciones uniformes		x
Oficina o proceso de quejas y reclamos		x

Fuente: Autor

De acuerdo a la información suministrada por líderes comunitarios, el acueducto no cuenta en el momento con ningún requerimiento exigido por la normativa; los usuarios hace dos años adelantaron el trámite de inscripción ante la Cámara de Comercio, pero no se finalizó el proceso debido a que no contaban con los recursos financieros suficientes y no tuvieron asesoría constante en todo el trámite. Sin embargo, la comunidad quiere tener un modelo organizativo formal, y poder acceder a los recursos brindados a las entidades prestadoras del servicio de abastecimiento de agua. El proceso de quejas y reclamos no es formal, cuando se presenta cualquier inconformidad con el sistema ellos acuden al líder comunitario.

6.1.6 Aspectos administrativos

Los aspectos administrativos se refieren a los elementos mínimos que debe cumplir una organización para ser eficiente en la prestación del servicio y poderse mantener a través del tiempo. Estos indicadores son sugeridos por la literatura revisada.

Si bien en Colombia, la responsabilidad en la prestación del servicio de abastecimiento de agua en comunidades rurales ha quedado en cabeza de los municipios [14], que tienen una competencia como garante y gestor en materia de servicios públicos domiciliarios, la prestación del servicio puede hacerla directamente el municipio, o pueden hacerla terceros particulares o las comunidades organizadas [53]. Por ello, un alto porcentaje de los acueductos rurales en Colombia son manejados por organizaciones comunitarias, quienes son las responsables de la administración del acueducto. Los fundamentos del concepto de gestión comunitaria se basan en los principios de la teoría de los recursos comunes y de la acción colectiva, que señala que los individuos se organizan voluntariamente para obtener beneficios del uso de los recursos naturales, y para eso crean y hacen cumplir reglas para manejarlos [35].

El servicio público de agua potable se puede prestar a través de diferentes formas asociativas. Para su conformación se debe tener en cuenta condiciones o características particulares de

cada zona, tales como: el número de habitantes, sus formas organizativas, la complejidad del sistema de acueducto, la disposición de la comunidad para participar y cooperar, entre otras. Los siguientes factores determinan aspectos administrativos que contribuyen a la sostenibilidad en la prestación de un servicio de agua en comunidades rurales.

Estructura organizativa

La estructura organizativa está conformada por una Junta Directiva que debe estar integrada por un número de miembros establecidos en los estatutos o en las normas que rijan el tipo de asociación, y de un revisor fiscal, el cual debe vigilar la prestación y el manejo de los dineros de la organización [58]. Es así como se encuentran cuatro modelos organizativos por los cuales pueden optar estas comunidades que buscan la debida prestación del servicio: Junta de Acción Comunal, Junta Administradora, Asociación de Usuarios y Administración Pública Cooperativa. Estas entidades se organizan democráticamente, sin ánimo de lucro para conseguir el desarrollo social, económico y moral de los asociados y de las familias que integran las respectivas comunidades [58].

- Juntas de Acción Comunal (JAC): Impulsan los procesos participativos de la comunidad; este tipo de organización es reconocido y apoyado por el Gobierno departamental y nacional, quien asume el papel de vocero de los intereses de las comunidades. Su objetivo es propender por el bienestar de la comunidad mediante el desarrollo de diversas actividades, dentro de las cuales puede ubicarse la administración de los servicios públicos, tales como agua potable y saneamiento básico. Es así, como las JAC apoyan y asumen de manera directa la prestación de los servicios a la comunidad [58].
- Junta Administradora: Encargadas de desarrollar una labor específica como la prestación de un servicio de agua potable y alcantarillado. En estas Juntas hay participación de las JAC, así como otros miembros de la comunidad y del gobierno, ya fuese local o departamental. Su objeto específico es velar por la efectiva prestación del servicio a la comunidad [58].
- Asociación de usuarios: Busca la participación de todos los beneficiarios de un servicio. Todos tienen derecho en igualdad de condiciones a participar en la Junta que administra el servicio, sin que sea obligatorio vincular a los miembros de la JAC, ni a

representantes del Concejo Municipal, o del gobierno local o departamental. Es decir, busca que sea la comunidad la que elija a quienes deben componer dicha Junta, de acuerdo con sus capacidades y a la legitimidad que gozan en sus respectivas localidades [58].

- **Administración Pública Cooperativa:** Es un tipo de organización en el cual los asociados son a la vez aportantes y gestores de la empresa. Busca favorecer la prestación de servicios públicos a la comunidad. Se crean por iniciativa de la Nación, los Departamentos y los Municipios, mediante leyes, ordenanzas y acuerdos [58].

Además de la estructura organizativa, se presentan otros requerimientos de orden administrativo que contribuyen al buen funcionamiento de un sistema de abastecimiento de agua rural:

Mecanismos de rendición de cuentas

Mecanismos para informar a los usuarios sobre la gestión del servicio (asambleas, boletines y actas) para facilitar la participación en la toma de decisiones [28].

Registros contables básicos

Libros de control de ejecución presupuestal mensual y anual, para reportar los estados financieros a la CRA y a la SSPD [28].

Capacitación del personal

Existencia y evidencia de procesos formales de capacitación para el personal directivo y administrativo [28].

Inventario de materiales, insumos y herramientas

Registro de inventario actualizado, continuo y detallado de materiales insumos, y herramientas y su forma de almacenamiento [28].

Registro de suscriptores

Registro formal y actualizado de los usuarios del servicio de acueducto [28].

Relaciones interinstitucionales

Es la relación entre el prestador del servicio y las entidades externas de apoyo, entidades u organizaciones con las que se puede establecer cooperación [28].

Los aspectos administrativos fueron valorados de acuerdo a indicadores identificados y sugeridos en la revisión de literatura. La Tabla 6 presenta la evaluación de cada indicador en Los Andes-El Progreso.

Tabla 6. Evaluación de indicadores de gestión administrativa para el sistema de abastecimiento Los Andes – El Progreso

Indicador	Cumplimiento	
	Si	No
Existencia de estructura organizativa	x	
Mecanismos de rendición de cuentas	x	
Registros contables básicos		x
Capacitación del personal		x
Inventario de materiales, insumos y herramientas		x
Registro de suscriptores		x
Apoyo externo		x

De acuerdo a la información suministrada, se evidencia el escaso cumplimiento de los indicadores identificados en el aspecto de gestión administrativa, debido a que se ha presentado informalidad en la administración del acueducto. El acueducto ha tenido acciones conjuntas de organización desde que inició su operación en el año 2012. La comunidad ha mantenido una estructura organizativa que a pesar de ser informal, ha permitido mantener el sistema en funcionamiento. La comunidad empezó a organizarse formalmente hace aproximadamente un año (2016) para conformar una junta de usuarios de acuerdo con los requisitos exigidos por la legislación, y de esta manera delegar funciones para tener una mejor organización y administración. Sin embargo, hasta el momento, la junta no está conformada legalmente. Aun así, estas funciones se las auto-delegan los líderes comunitarios quienes programan, participan y se vinculan en todas las actividades, y asumen la toma de decisiones en temas del manejo interno del sistema. Cuando alguna entidad externa quiere hacer presencia en la zona, se realiza consulta a todos los usuarios para aceptar o rechazar este tipo de intervenciones.

El mecanismo de rendición de cuentas se hace a través de reuniones donde los líderes informan sobre el funcionamiento del acueducto, si se han presentado daños, y en este caso si se requiere establecer el valor de una cuota para las reparaciones. Cuando esto pasa, se programa una próxima reunión donde se le comunica a la comunidad el total del dinero aportado y el costo de la actividad realizada. En estas reuniones se cuenta con la participación de la mayoría de usuarios (57%), las personas que no asisten argumentan que se debe a falta de información (no informan a tiempo), falta de tiempo (29%) o poco interés (14%).

Las actividades de mantenimiento del sistema de acueducto son realizadas por varios miembros de la comunidad, según su disponibilidad de tiempo; no existe una única persona o grupo encargado de la operación y mantenimiento del sistema, es decir, ninguno de ellos ha participado en procesos de capacitación. Para algunas actividades específicas como realizar nuevas conexiones, recaudar fondos y divulgar información, sí existe un grupo de personas (5 aproximadamente) que son los líderes del acueducto, pero tampoco han recibido capacitación en ningún aspecto relacionado con el manejo de estas actividades. Un 52% de las personas encuestadas mostró interés en recibir capacitación ya que consideran que es un bien propio y podrían mejorar las condiciones del sistema.

El acueducto no cuenta con un inventario de materiales; sin embargo, cuando se realiza una reparación y queda material sobrante, este se guarda para próximos arreglos y se lleva a la vivienda de más fácil acceso. Las herramientas necesarias para las reparaciones son prestadas por los usuarios debido a que el acueducto no cuenta con estas.

El acueducto de Los Andes-El Progreso fue construido en el año 2002 por la alcaldía del municipio de Tona, pero no fue terminado totalmente y no se presentó una entrega oficial, desde ese momento no se ha establecido ninguna relación con alguna entidad u organización y tampoco con el municipio, es decir no ha presentado ningún apoyo externo, la comunidad se ha organizado y son ellos quienes mantienen el sistema de acueducto.

6.2 Dimensión Técnica

Como se mencionó en el Capítulo 4, la dimensión técnica busca determinar si la tecnología empleada en el sistema es la más conveniente y si esta funciona de manera adecuada.

También abarca todos aquellos procesos llevados a cabo para que el suministro del recurso hídrico sea constante, como actividades de operación y mantenimiento.

En cuanto a esta dimensión, el sistema de abastecimiento “Los Andes-El Progreso” está compuesto por una estructura de captación, un desarenador y una red de tuberías de PVC y manguera que se encargan de suministrar el recurso hasta las viviendas. El sistema lleva funcionando aproximadamente 5 años, y según miembros que suelen participar en proyectos relacionados con el agua, las estructuras fueron construidas por el municipio, más nunca se entregó a la comunidad un sistema funcional con conexiones individuales a los usuarios. Fueron estos últimos los que, sin ningún tipo de asesoría profesional, tomaron la iniciativa de terminar la construcción de la red de abastecimiento por medio de la conexión de mangueras. Anteriormente, cuando el sistema de acueducto no se encontraba en funcionamiento, los usuarios poseían conexiones individuales por medio de manguera, provenientes de diversas fuentes (quebradas, nacimientos y pozos). Estas conexiones aún son conservadas por los usuarios y suelen ser usadas junto con el agua proveniente del sistema de acueducto.

A partir del mapa social construido con la comunidad, pudo identificarse que el sistema abastece aproximadamente a 85 viviendas, distribuidas en cuatro sectores a lo largo del territorio (Figura 3).

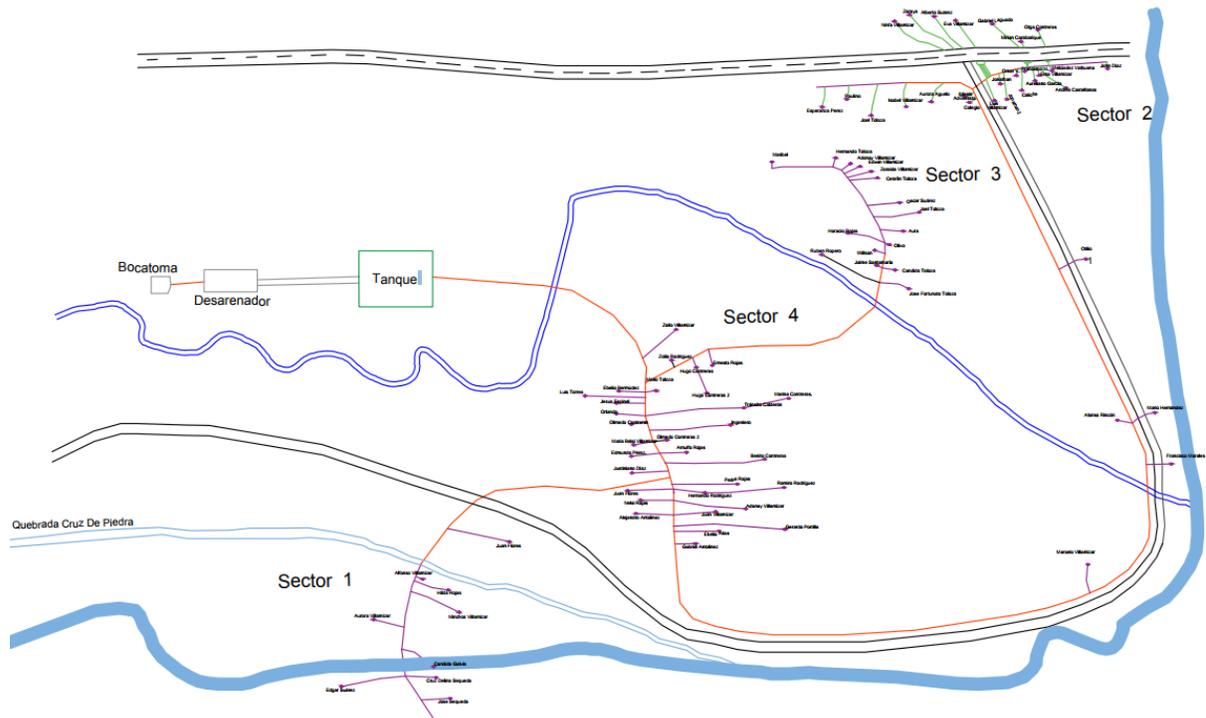


Figura 3 Mapa social sistema de abastecimiento Los Andes – El Progreso

6.2.1 Estado de la infraestructura

A continuación, se describirá el estado de las componentes del sistema de abastecimiento de agua.

6.2.1.1 Captación

La estructura de captación se encuentra ubicada sobre las coordenadas $7^{\circ}6.456' N$ y $72^{\circ}55.848' O$. Consiste en una bocatoma de fondo con un muro transversal de longitud 2.44m y espesor de 40cm sobre el cual se encuentra ubicada la rejilla de 28cmx20cm. Esta última compuesta de 12 barrotes de 5/8" con una separación entre barrotes de 0.6cm. La cámara de recolección se encuentra ubicada entre el muro transversal y un muro oblicuo de 1.2m y espesor de 35cm ubicado a un costado. El muro ubicado al otro costado de la estructura tiene una longitud de 1.5m y espesor de 28cm. La cámara de recolección tiene unas dimensiones de 50cmx50cm y espesor de 28cm. A esta cámara llega agua proveniente de la rejilla y de un orificio que se abrió sobre el muro oblicuo para poder captar un mayor volumen de agua.

Adicionalmente existe una manguera de 2" que capta agua directamente del nacimiento hasta el tanque, sin pasar por una estructura de captación ni desarenador (Foto 10).



Foto 10 Captación del sistema de abastecimiento

A pesar de que no existan una población o cultivos aguas arriba que pueda contaminar la fuente, si se evidenció la presencia de excretas animales cerca al punto de captación. Además, la estructura se encuentra inmediatamente al lado de un talud, que, a pesar de no conocer su comportamiento, podría estar susceptible a deslizamientos, especialmente en temporada de lluvia. Los predios cercanos cuentan con cerca en alambre, aunque la estructura no está protegida (Foto 11). Tampoco se evidenció la presencia de filtros o pantallas en la captación, o de un sistema que garantice la presión mínima o permita controlar el caudal captado. Todos estos factores presentados anteriormente indican un puntaje de riesgo alto, representando una amenaza a la calidad del recurso hídrico.



Foto 11 presencia de Ganado en la captación del sistema de abastecimiento

6.2.1.2 Aducción

La tubería de aducción conecta la estructura de captación con el desarenador por medio de una tubería de PVC de 4". Tiene una longitud de 6m y un apoyo levantado artesanalmente en concreto a 3.30m de la cámara de recolección, pues se encuentra sobre el nivel de la rasante. La distancia vertical existente entre la entrada al desarenador y la salida de la cámara de recolección es de 15cm, lo que representa una pendiente de 2.5%. Como se mencionó anteriormente, también existe un transporte de agua cruda directamente desde la quebrada hasta el tanque de almacenamiento proveniente de una manguera de 2". La Foto 12 muestra aspectos de la aducción.



Foto 12 Aducción del sistema de abastecimiento

6.2.1.3 Desarenador

El desarenador del acueducto “El Progreso-Los Andes” está ubicado 6m aguas abajo de la estructura de captación. Cuenta con una cámara de aquietamiento, una cortina de 70cm de profundidad que obliga al flujo a descender más rápido de tal forma que las partículas más gruesas se sedimenten primero, una zona de sedimentación de 1.67m y una cámara de salida constituida por una pantalla de fondo de 1.15m y el vertedero de salida. La estructura cuenta con una tubería de lavado en el fondo de la cámara de lodos y un desagüe ubicado sobre la cámara de salida.

La cámara de salida mencionada anteriormente no cuenta con una tapa, y el hecho de que la estructura se encuentra al mismo nivel de la rasante, aumenta potencialmente el riesgo de contaminación, especialmente en temporada de lluvia. Se observa que el sistema se encuentra sub-dimensionado, pues una gran parte del caudal captado rebosa por la cámara de salida y desemboca nuevamente en la quebrada. Como producto de este flujo constante de agua, es posible apreciar el deterioro en la estructura de concreto y corrosión en el acero estructural usado para su construcción. La Foto 13 muestra el desarenador.



Foto 13 Desarenador del sistema de abastecimiento

6.2.1.4 Tanque de almacenamiento

El sistema cuenta con un tanque de almacenamiento cuadrado 5.7m de lado, con una profundidad de 2.2m y espesor de muro de 23 cm ubicado sobre las coordenadas 7°6.650'N y 72°55.843'O. Al momento de realizar la visita, el nivel de agua se encontraba en 1.2m. La tapa del tanque presentaba fisuras sobre su superficie de concreto y debido a su gran peso, se requirieron tres personas para poder acceder al tanque.

Se evidenció la presencia de excretas animales sobre la parte superior del tanque, esto debido a que no se encuentra protegido por medio de una cerca. Las válvulas de control usadas al momento de realizar mantenimiento en el tanque se encontraban en una cámara destapada, con facilidad de acceso para cualquier persona y la tubería de paso directo se encontraba rota. El tanque cuenta con dos tuberías de ventilación de 3" de diámetro sin ningún tipo de protección ubicadas en la parte superior. La estructura es usada para almacenar agua proveniente del desarenador y directamente de la quebrada.

La Foto 14 ejemplifica aspectos del tanque de almacenamiento mencionados en la descripción anterior.



Foto 14 Tanque de almacenamiento del sistema de abastecimiento

6.2.1.5 Tratamiento

El agua almacenada no recibe tratamiento. Sin embargo, se difundió el rumor de que el agua es tratada con cloro, que perjudica los cultivos, pues de esta forma los usuarios no usarían el recurso para riego.

6.2.1.6 Conducción y red de distribución

Durante la inspección técnica se recorrió el trazado de la red de distribución desde los hogares hasta el punto de captación del recurso. La red matriz y la red secundaria se caracterizan por contar con tuberías de 4" en PVC, mientras que la conexión domiciliar se realizó por medio de mangueras de 2". El sistema cuenta con una válvula de ventosa artesanal usada para evacuar aire; esta se encuentra en las coordenadas 7°6.912'O y 72°55.827'O. La válvula está cubierta con una roca como medida de protección. Adicionalmente, la comunidad usa fragmentos de ramas para cubrir orificios usados para la evacuación de aire en las coordenadas 7°6.563'N y 72°55.821'O.

En la mayor parte del recorrido, se evidenció que la tubería se encontraba a la vista, por lo general, sobre el nivel de la rasante. En algunos tramos la comunidad decidió levantar la tubería, de tal forma que existen secciones de aproximadamente 10m de longitud en las que la tubería no cuenta con ningún apoyo. Se observó la presencia de excreta animal (en varias ocasiones) en lugares cercanos e incluso sobre la red de conducción, así como fugas que la comunidad intentó controlar artesanalmente. En las coordenadas 7°6.752'N y 72°55.830'O la

red pasa por un talud que, aunque no ha sido estudiado previamente, puede estar susceptible al deslizamiento, especialmente en temporada de lluvia.

Adicionalmente la comunidad manifestó que en ciertos puntos del trazado la tubería solía romperse continuamente, presuntamente por sobrepresiones y el paso de animales sobre esta, que como se mencionó anteriormente, se encuentra sobre la rasante. La Foto 15 muestra tramos de la red de distribución.

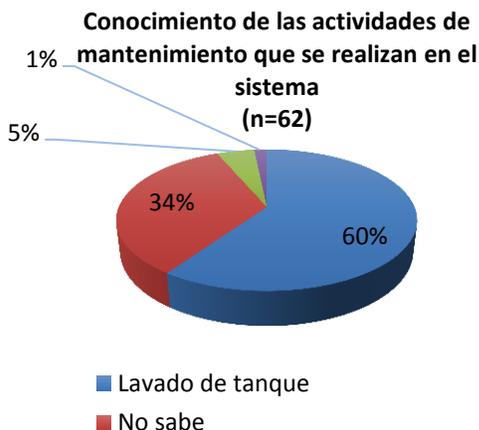


Foto 15 Conducción y red de distribución del sistema de abastecimiento

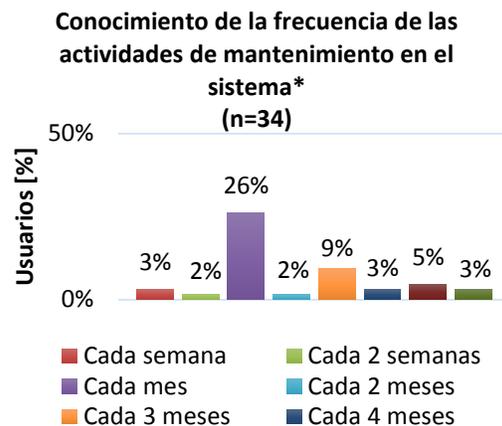
En el Anexo 2 se incluyen los formatos de evaluación de riesgo adaptados de la OMS, para cada una de las componentes del sistema, diligenciados con la información específica del acueducto los Andes-El Progreso.

6.2.2 Operación y Mantenimiento

El 34% de los encuestados manifestó que no conocía las actividades de Operación y Mantenimiento (O&M) necesarias para mantener el sistema en un estado óptimo (Gráfica 22), y, por lo tanto, tampoco estaban pendientes de quién realizaba estas actividades. Miembros de la comunidad interesados en proyectos relacionados con el acueducto aseguraron que se realiza lavado del tanque y desarenador generalmente una vez al mes, aunque la frecuencia puede variar según la intensidad de las lluvias (Gráfica 23). Estas actividades son realizadas por varios miembros de la comunidad, según su disponibilidad de tiempo, es decir, no existe una única persona o grupo encargado de la operación y el mantenimiento del sistema.



Gráfica 22 Conocimiento de las actividades de O&M realizadas al sistema



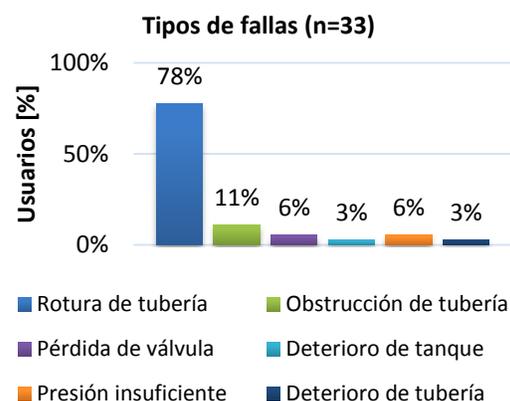
Gráfica 23 Conocimiento de la frecuencia de actividades de O&M realizadas al sistema

6.2.3 Fallas en el servicio

Al preguntar por las fallas en el servicio, 55% de los usuarios expresaban que se presentaban fallas (Gráfica 24), siendo la más frecuente, la rotura de tubería (Gráfica 25). Este tipo de problema puede asociarse con el hecho de que la tubería se encuentra sobre el nivel de la rasante, expuesta al paso de animales, el trabajo de los agricultores y el medio ambiente; así como problemas de presión.



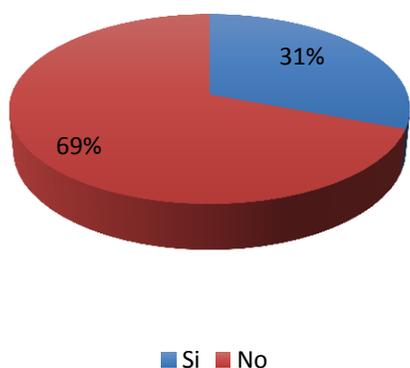
Gráfica 24 Ocurrencia de fallas en el servicio



Gráfica 25 Tipos de fallas en el servicio

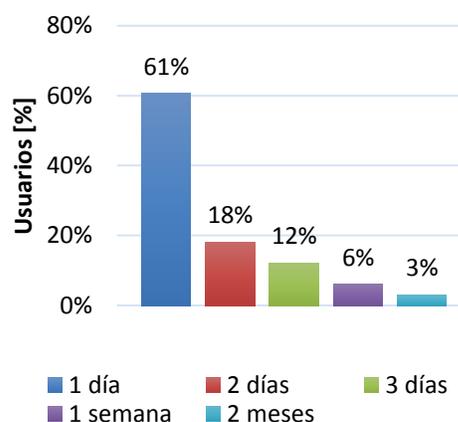
Adicionalmente, el 31% de los encuestados afirmó tener problemas con la presión del agua en sus viviendas, generalmente en temporada seca, manifestando que esta era insuficiente para sus necesidades (Gráfica 26). A pesar de los problemas existentes, el 60% de los usuarios que reportaron fallas manifestó que generalmente no hay que esperar más de un día para que el problema se solucione y el sistema vuelva a funcionar en condiciones adecuadas. Esto supone un impacto positivo para la comunidad (Gráfica 27).

Ocurrencia de problemas de presión en la vivienda (n=65)



Gráfica 26 Ocurrencia de problemas de presión en la vivienda

Tiempo de respuesta a las fallas (n=33)



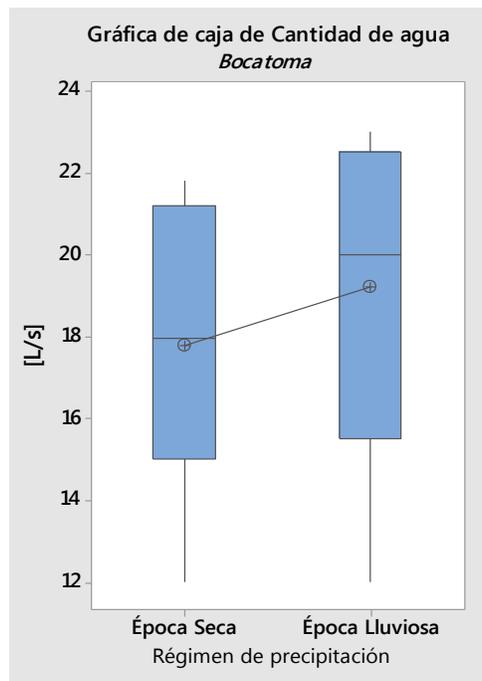
Gráfica 27 Tiempo de respuesta a fallas en el servicio

6.3 Dimensión Ambiental

La dimensión ambiental promueve el uso del recurso hídrico de tal manera que otros componentes del ecosistema como el suelo, aire y la vegetación no se vean deteriorados. También vela por evitar la contaminación del agua dentro del sistema de abastecimiento, pues el consumo de agua en condiciones no favorables está asociado con enfermedades e infecciones en el hombre. La dimensión ambiental se abordó en este caso, evaluando la oferta hídrica en cantidad y calidad; y aspectos relacionados con las prácticas de uso del recurso. A continuación, se describen estos aspectos.

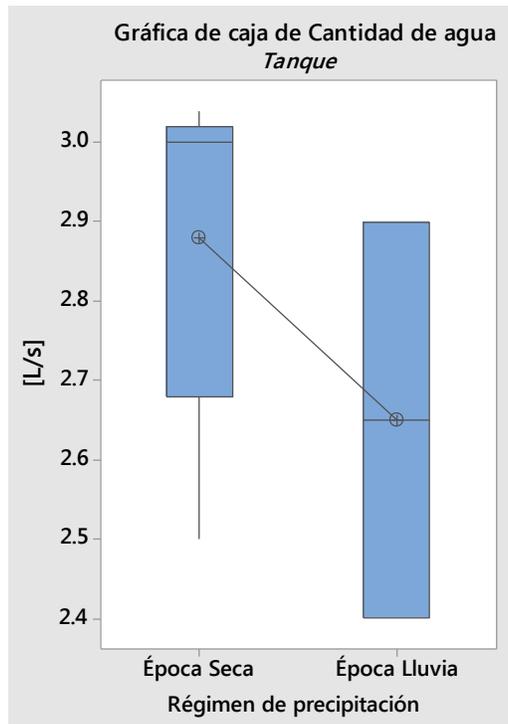
6.3.1 Cantidad de agua

La región que abastece el acueducto Los Andes - El Progreso, tiene dos temporadas lluviosas y dos temporadas secas. Los meses de mayor precipitación son mayo y octubre, mientras que la época más seca comprende los meses de diciembre y enero [59]. En cuanto a la cantidad de agua, en la bocatoma se encontraron valores promedio de 18 [L/s] y 19 [L/s] de agua disponibles en época seca y época lluviosa, respectivamente (Gráfica 28).



Gráfica 28. Caudal de acuerdo al régimen de precipitación en la Bocatoma

Por otro lado, en el tanque de almacenamiento, se evidenció un pequeño descenso del caudal captado en época lluviosa, debido principalmente a inconvenientes que se presentaron en campo para el aforo de la estructura en esta época (Gráfica 29).



Gráfica 29. Caudal de acuerdo al régimen de precipitación en el tanque de almacenamiento

6.3.2 Calidad de agua

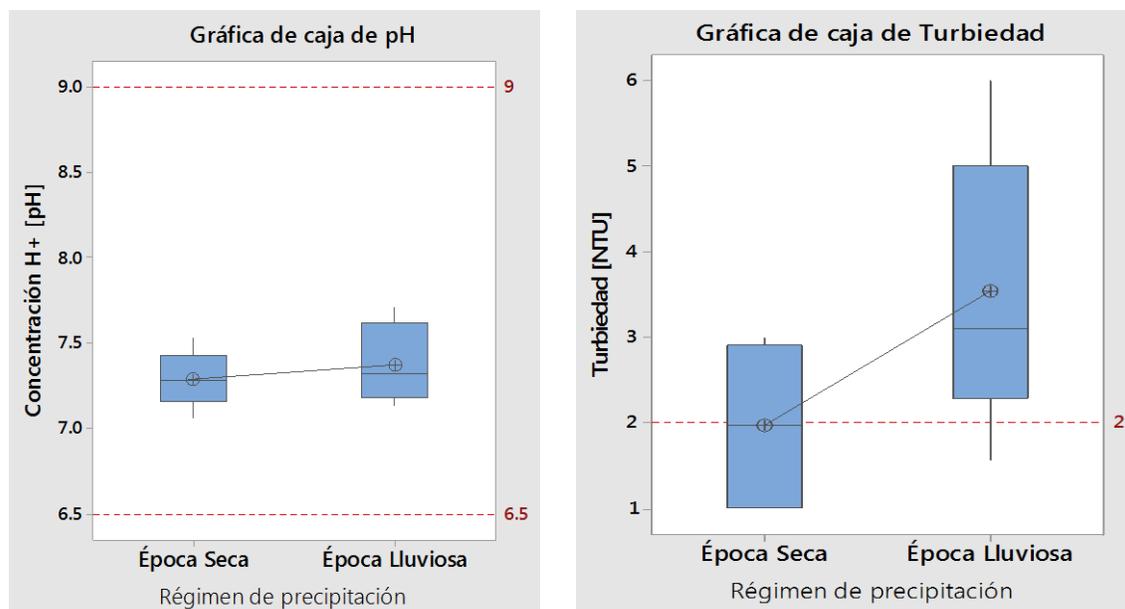
Para determinar la oferta hídrica en el sistema en términos de calidad, se seleccionaron los puntos más representativos: bocatoma, tanque de almacenamiento y la vivienda más alejada en la red de distribución [60]. A continuación, se presentan y discuten los resultados obtenidos.

6.3.2.1 Calidad de agua en Bocatoma

La calidad de agua en la bocatoma presentó características particulares de acuerdo a las propiedades del entorno, exhibiendo anomalías en los parámetros de: Turbiedad, Color, Coliformes Totales y E. Coli, superando en época de lluvia el valor máximo admisible. Así mismo, comparando la época seca con la época lluviosa, se visualiza una diferencia significativa en parámetros como: Turbiedad, Color, Conductividad, Sulfatos, Dureza Total, Alcalinidad Total, Sólidos Totales, Coliformes Totales y E. Coli.

El pH se encontró en rangos normales, siendo 0.1 más alto en época lluviosa, con un máximo registrado de 7.71. Por otro lado, la Turbiedad (fenómeno producido por la adsorción y dispersión de la luz incidente sobre una muestra que contiene partículas en suspensión [61], [62]) en promedio estuvo en el límite admisible en época seca (2 [NTU]), y aumentó 1.56 [NTU] para la época de lluvia; en esta última, el rango intercuartílico estuvo en su totalidad por encima del límite aceptable (Gráfica 30). El pH fue notablemente más estable en época seca, con un mayor ajuste a una distribución normal ($VP=0.955$) y una desviación estándar menor.

La Turbiedad en época seca registró un máximo que superó tres veces el valor máximo admisible; la media y mediana de forma similar superaron este valor. Las fluctuaciones de pH, Turbiedad y Temperatura pueden tener una influencia positiva en el crecimiento de poblaciones bacterianas a pesar de encontrarse en rangos aceptables [63].



Gráfica 30 pH y Turbiedad de acuerdo al régimen de precipitación en bocatoma

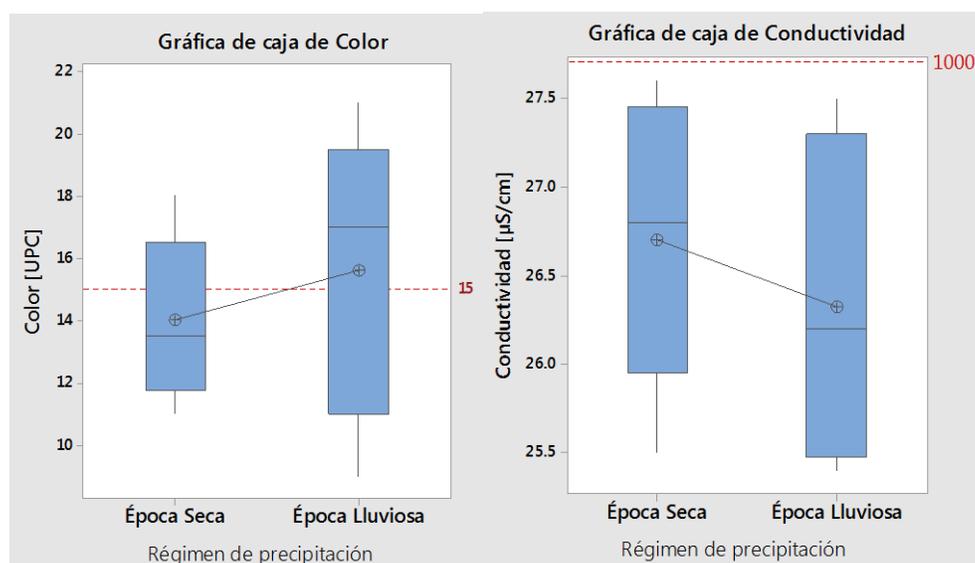
* - - -: Valor máximo admisible para agua destinada a consumo humano

En cuanto al Color, en el diagrama, las cajas oscilan alrededor del valor máximo admisible en ambas épocas, aumentando en concentración en época de lluvia. El color es una indicación de la presencia de partículas disueltas o en suspensión como sales de calcio, hierro, materia orgánica, entre otras, que alteran el tono del agua natural [61], [62]. Las medidas de Color

tuvieron un máximo registrado de 21 [UPC] en época de lluvia, siendo esta época la de mayor variación.

La Conductividad revela la presencia de sustancias iónicas disueltas en el agua [64]; las muestras estudiadas exhibieron características similares en ambas épocas, siendo ligeramente menor la concentración para época de lluvia, pero estando siempre muy por debajo del límite máximo admisible.

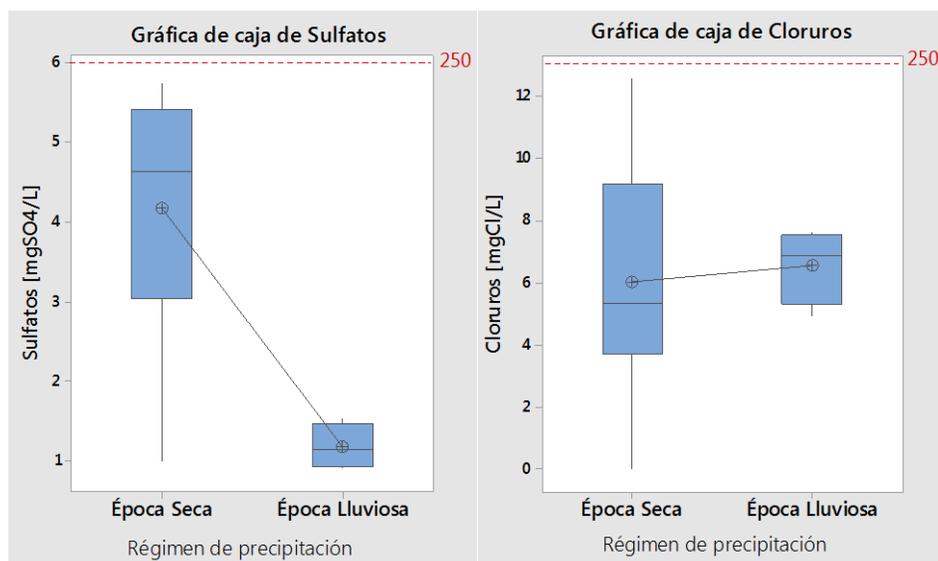
La Gráfica 31 incluye el diagrama de caja que sintetiza el comportamiento de los parámetros Color y Conductividad en la bocatoma.



Gráfica 31 Color y Conductividad de acuerdo al régimen de precipitación en bocatoma.

* - - -: Valor máximo admisible para agua destinada a consumo humano.

Las medidas descriptivas fueron más estables (menores valores de desviación estándar) en época de lluvia para Sulfatos y Cloruros. El Sulfato, relacionado con enfermedades respiratorias y efecto catártico sobre el ser humano [64], fue en promedio 3 [mgSO₄/L] menor en época seca respecto a la época lluviosa. Por otro lado, las medias de Cloruros, que imparten un sabor salado al agua [61], fueron casi iguales, exhibiendo una mayor dispersión en época seca. En ambos casos, las concentraciones promedio de Sulfatos y Cloruros cumplieron con lo establecido en la norma nacional para agua destinada a consumo humano (Gráfica 32).

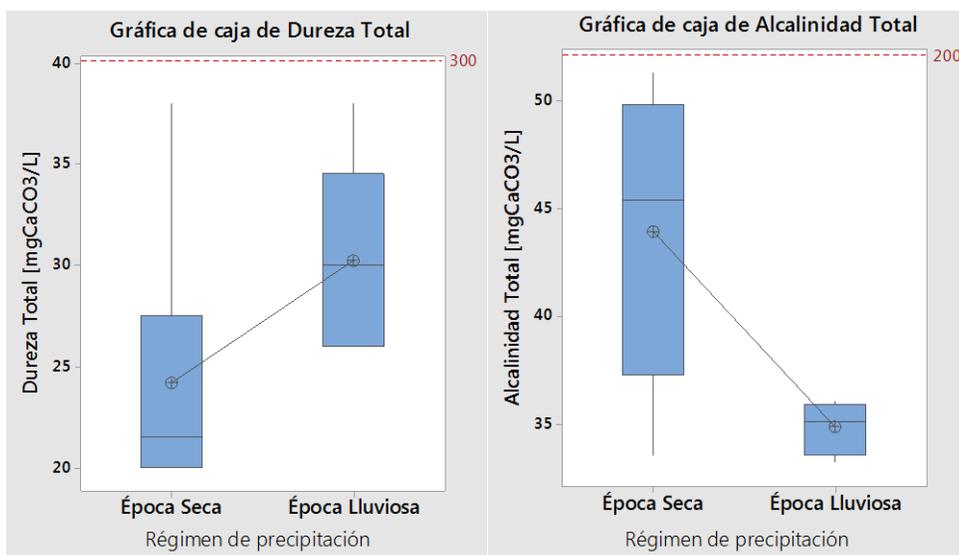


Gráfica 32 Sulfatos y Cloruros de acuerdo al régimen de precipitación en bocatoma.

* - - -: Valor máximo admisible para agua destinada a consumo humano.

La Alcalinidad Total es causada por bases fuertes (hidróxido de sodio o hidróxido de potasio), carbonatos disueltos, bicarbonatos, boratos y fosfatos [64]. En el estudio, las muestras de época seca presentaron una variabilidad superior en comparación con la época de lluvia, teniendo en promedio una concentración superior, registrando valores de hasta 51.3 [mgCaCO₃/L].

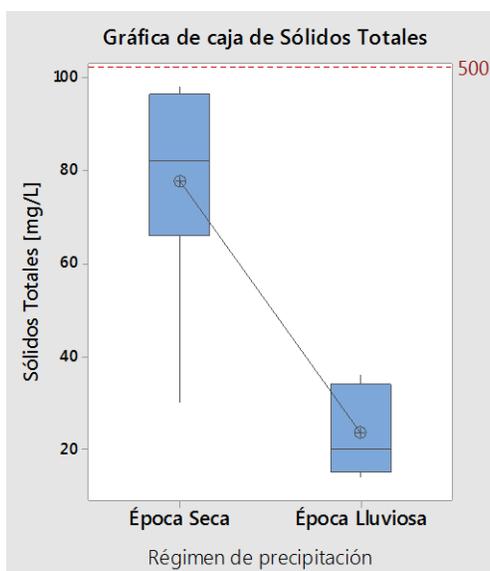
La Dureza Total depende directamente de la cantidad de sales de Calcio y Magnesio presentes en el agua [62]. Las muestras analizadas tuvieron concentraciones más bajas en época seca, siendo menor en 6 [mgCaCo₃/L], con valores que oscilaron entre 20-27 [mgCaCO₃/L] y 26-34 [mgCaCo₃/L], para época seca y lluviosa respectivamente. Ambos parámetros cumplieron con los valores admisibles (Gráfica 33).



Gráfica 33 Dureza Total y Alcalinidad Total de acuerdo al régimen de precipitación en bocatoma.

* - - -: Valor máximo admisible para agua destinada a consumo humano.

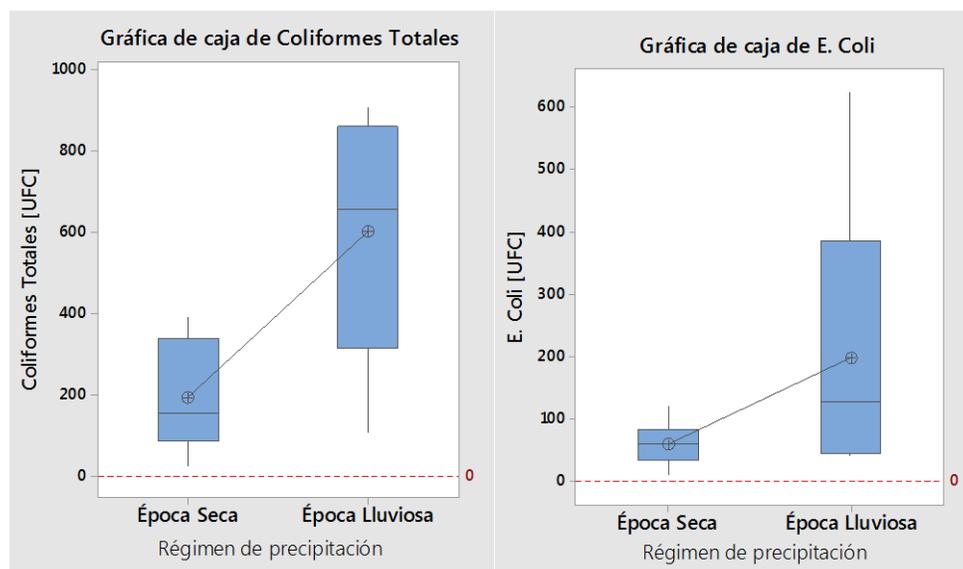
Contrastando los resultados de las época seca y lluviosa, la concentración de Sólidos Totales fue 54 [mg/L] inferior en época lluviosa. Por otro lado, los datos registrados cumplieron con la norma nacional para agua potable, teniendo valores inferiores en el periodo de alta precipitación, algo inusual en temporada de altas precipitaciones que se caracterizan por altas concentraciones de Sólidos Totales (Gráfica 34).



Gráfica 34 Sólidos Totales de acuerdo al régimen de precipitación en bocatoma.

* - - -: Valor máximo admisible para agua destinada a consumo humano.

Tanto los datos de Coliformes Totales como de E. Coli no cumplieron con los valores máximos admisibles dispuestos en la Resolución 2115 de 2007 [22], para uso del agua destinada a consumo humano. Las medias de ambos parámetros fueron superiores en época de lluvia, siendo paralelamente más variables, llegando a tener registros de 905 [UFC/100ml] para Coliformes y 605 [UFC/ml] para E. Coli, en época de lluvia, fenómeno provocado posiblemente por las heces de animales de pastoreo de la zona (Gráfica 35).

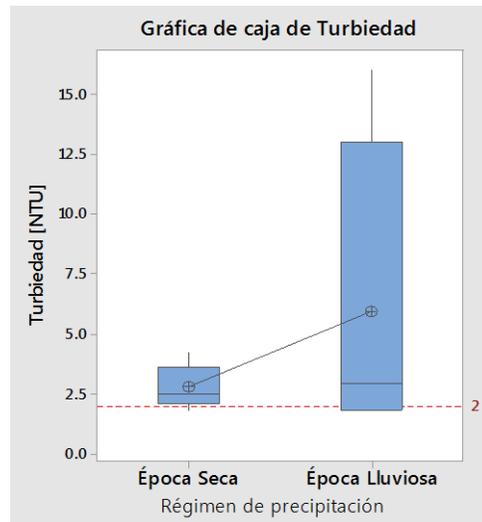


Gráfica 35 Coliformes Totales y E. Coli de acuerdo al régimen de precipitación en bocatoma.

* - - -: Valor máximo admisible para agua destinada a consumo humano

6.3.2.2 Calidad de agua en el tanque de almacenamiento

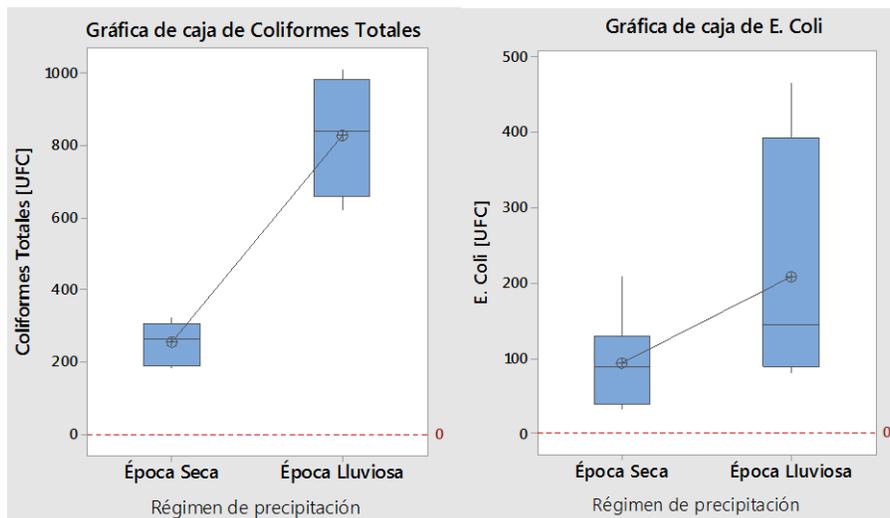
En el tanque de almacenamiento, parámetros como: Turbiedad, Coliformes Totales y E. Coli, no cumplieron con los valores admisibles, según la norma nacional para destinar a consumo humano [22]. La Turbiedad en ambas épocas superó 2 [NTU], valor máximo admisible para este parámetro; y presentó un rango intercuartílico mayor en la época de lluvia, convirtiéndola en una muestra con alta variación (Gráfica 36). El valor máximo ocurrió en época de lluvia con 16 [NTU]. Este valor puede considerarse alto en este contexto, dado el aumento de la escorrentía superficial que llega de las zonas de captación, sumado a la ausencia de obras que impiden el acceso de escorrentía de las áreas aledañas al tanque; y es una muestra que no se ajusta a una distribución normal caracterizada por una alta desviación estándar.



Gráfica 36 Turbiedad de acuerdo al régimen de precipitación en tanque

* - - -: Valor máximo admisible para agua destinada a consumo humano

Los parámetros de Coliformes Totales y E. Coli fueron superiores en época de lluvia. La muestra más variable fue E. Coli en este mismo periodo. Ningún dato cumplió con la norma nacional (Gráfica 37). En época seca, la concentración promedio fue inferior 603 [UFC/100ml] y 115 [UFC/100ml]; en época lluviosa se registraron máximos de 1010 [UFC/100ml] y 464 [UFC/100 ml] para Coliformes Totales y E. Coli respectivamente.



Gráfica 37 Coliformes Fecales y E. Coli de acuerdo al régimen de precipitación en tanque

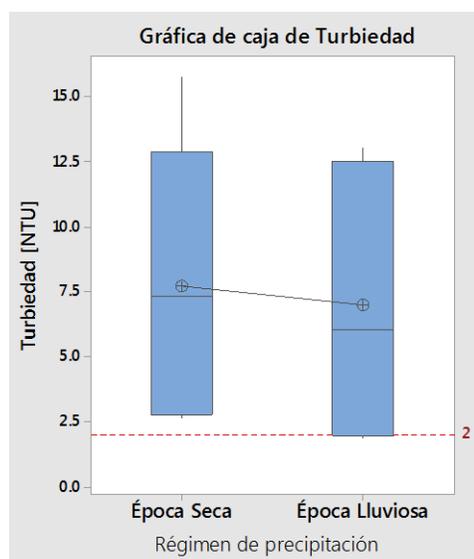
* - - -: Valor máximo admisible para agua destinada a consumo humano

En diferentes investigaciones se atribuye la contaminación bacteriana de origen fecal a los animales de pastoreo que rodean las zonas de abastecimiento, próximas al cauce [65], como se evidencia de igual forma en el acueducto estudiado, en sitios como bocatoma y tanque de almacenamiento.

6.3.2.3 Calidad de agua en la Vivienda más alejada en la red de distribución

De los tres parámetros analizados en la Vivienda más alejada en la red de distribución (VMARD), ninguno cumplió con los valores máximos admisibles, de acuerdo a la norma nacional [22], y de forma general la diferencia en la concentración entre los periodos de precipitación para Turbiedad, Coliformes Totales y E. Coli fue leve.

La diferencia entre los regímenes de precipitación para Turbiedad fue sutil, siendo menor en la época de lluvia en 0.7 [NTU]. Las muestras comparten características similares como desviación estándar, mínimo, máximo y promedio. En el diagrama de caja se visualiza la similitud, siendo ligeramente menor en concentración para la época seca. Así mismo, se puede afirmar que todos los datos son superiores al valor admisible (Gráfica 38).

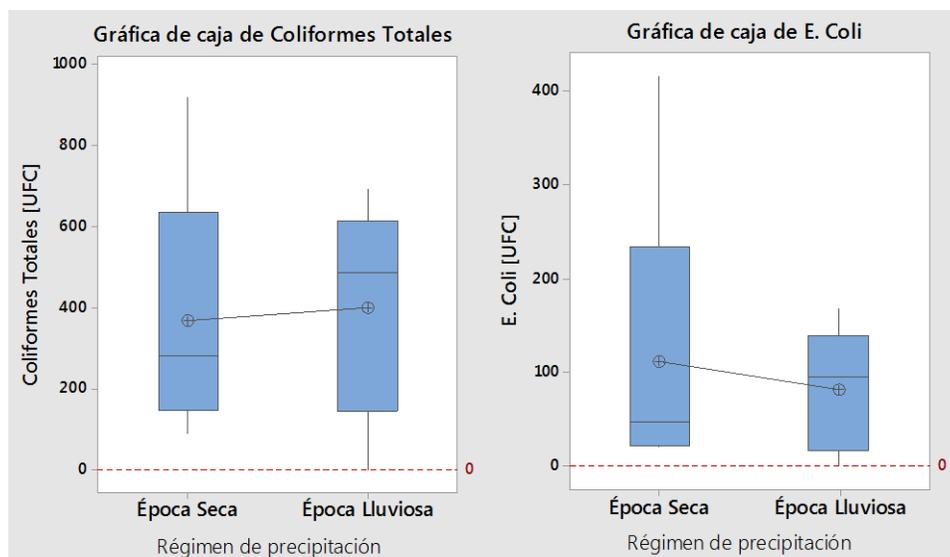


Gráfica 38 Turbiedad de acuerdo al régimen de precipitación en VMARD.

* - - -: Valor máximo admisible para agua destinada a consumo humano.

En relación con la calidad microbiológica en VMARD, el máximo se registró en la época seca con 920 [UFC/100 ml] y 416 [UFC/100 ml] para Coliformes Totales y E. Coli respectivamente,

y mínimo en época de lluvia con 0 [UFC/100 ml]. En ambos casos, hubo valores no detectados que deben ser revisados con detenimiento, pues pueden ser errores de laboratorio. Se tiene para Coliformes Totales entre los periodos de análisis (seco y lluvioso) un ligero aumento de 40 [UFC/100 ml] y para E. Coli un descenso de 31 [UFC/100 ml] (Gráfica 39). En general los valores registrados son superiores a los aceptados por normativa nacional.



Gráfica 39 Coliformes Totales y E. coli de acuerdo al régimen de precipitación en VMARD.

* - - -: Valor máximo admisible para agua destinada a consumo humano.

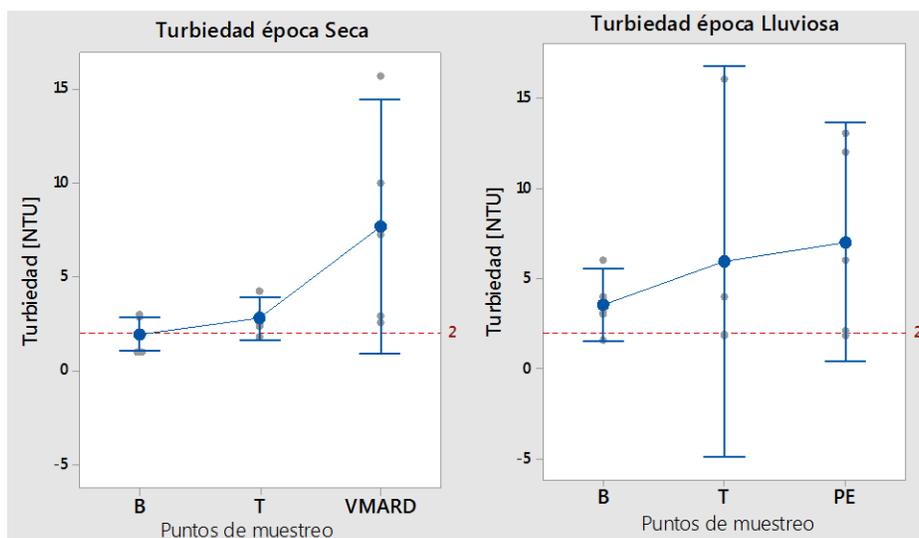
El Anexo 3 incluye la síntesis de las estadísticas descriptivas para los variables de calidad analizadas en los tres puntos de muestreo, en época de invierno y verano.

Por otro lado, se evaluó la diferencia aritmética entre los regímenes de precipitación (Diferencia=Época Seca - Época Lluviosa) en base a la prueba t de Student para las medias, que apoyan los argumentos que discuten la variación en la concentración de algunos parámetros de acuerdo a la época de precipitación en que se tome la muestra, estos resultados se resumen en el Anexo 4. Paralelamente, aprovechando la prueba de Kruskal Wallis, se analizó la igualdad que parámetros como Turbiedad, Coliformes Totales y E. Coli presentan entre los regímenes de precipitación, comprobando de igual forma si un punto de análisis (Bocatoma, Tanque o VMARD) exhibe una mayor o menor simetría, utilizando el valor P como factor de análisis, los resultados se muestran en el Anexo 5.

6.3.2.4 Variaciones en la calidad de agua entre puntos del sistema

Las variables microbiológicas (Coliformes Totales y E. Coli) presentaron un ascenso en época de lluvia en todos los puntos analizados (bocatoma, tanque y VMARD). En el caso de la Turbiedad, se cumple esta misma tendencia a excepción de VMARD, donde ocurrió un ligero descenso. De forma espacial se pudo observar para época seca que las tres variables estudiadas (Turbiedad, Coliformes Totales y E. Coli) aumentaron a medida que el fluido avanzaba en el sistema, con menores valores para los parámetros en la bocatoma y superiores en VMARD. En el caso de época lluviosa, los parámetros estudiados tuvieron un comportamiento particular, se presentó el punto máximo de concentración en tanque, seguido de bocatoma y finalizando con VMARD. Por lo tanto, se presentó un cambio de calidad del agua a lo largo de la distribución, evidenciado en las variaciones de concentración de parámetros críticos que influyen directamente sobre la salud humana. El deterioro físico de la red de distribución, así como deficiencias en el manejo de la misma, influyen directamente en la calidad del agua [66], convirtiéndose en un foco de riesgo de transmisión de patógenos [67].

En el caso de la Turbiedad, se presentó un aumento a medida que se avanzaba de bocatoma a VMARD, tanto en época seca como en época lluviosa. Los datos presentaron una desviación estándar superior en VMARD para ambas épocas y la máxima dispersión se presentó en el tanque, en el periodo de lluvia. La bocatoma en época seca estuvo en el límite del valor máximo admisible. Los puntos restantes no cumplieron con los límites dispuestos en la norma nacional (Gráfica 40). El valor máximo de Turbiedad en época lluviosa (16 [NTU]) y el valor mínimo en época seca (1.82 [NTU]) se registraron en tanque. El sitio de análisis que presentó las peores condiciones fue VMARD en época seca, con una concentración media de 7.70 [NTU] y mejores en bocatoma en la misma época, con un valor promedio de 1.97 [NTU].

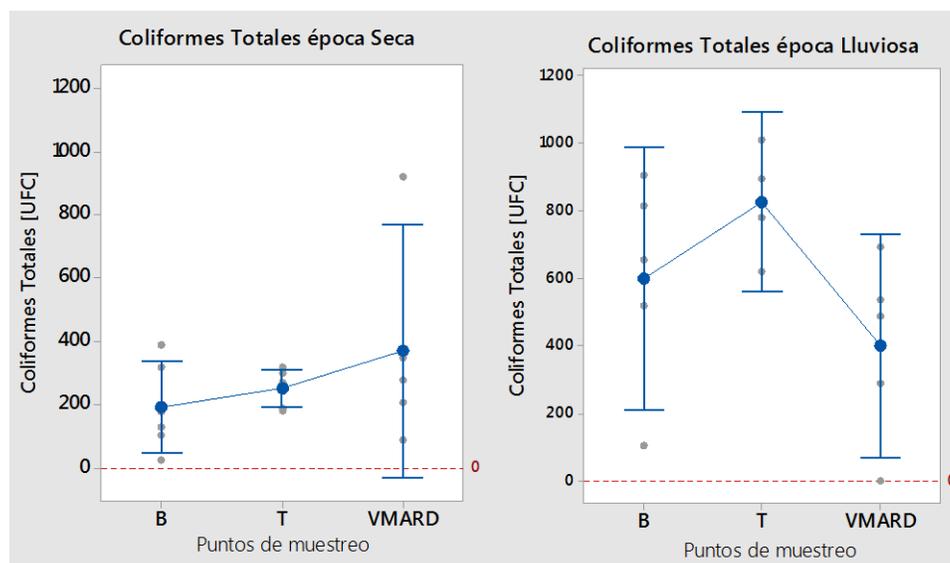


Gráfica 40 Variación espacial y temporal de la Turbiedad

- * B: Bocatoma, T: Tanque y VMARD: Vivienda más alejada de la red de distribución.
- * - - -: Valor máximo admisible para agua destinada a consumo humano.

En época seca, la variable de Coliformes Totales aumentó en promedio a medida que se avanzaba en el sistema, la tendencia en época lluviosa se desvió de este comportamiento, siendo en VMARD menor respecto a los dos otros sitios de muestreo (bocatoma y tanque). Los datos con una mayor dispersión corresponden a la época lluviosa (Gráfica 41).

El punto que presentó las peores condiciones para la variable de Coliformes Totales fue tanque, con un promedio de 857 [UFC/100 ml] en época de lluvia, siendo esta última donde se presentaron las concentraciones más altas. Los datos extremos ocurrieron en época lluviosa, registrando 1010 [UFC/100 ml] y 0 [UFC/100 ml] en tanque y VMARD, respectivamente. La época lluviosa exhibió desviaciones por encima de 160 [UFC/100 ml]. Ninguno de los datos cumplió con normativa nacional [22].



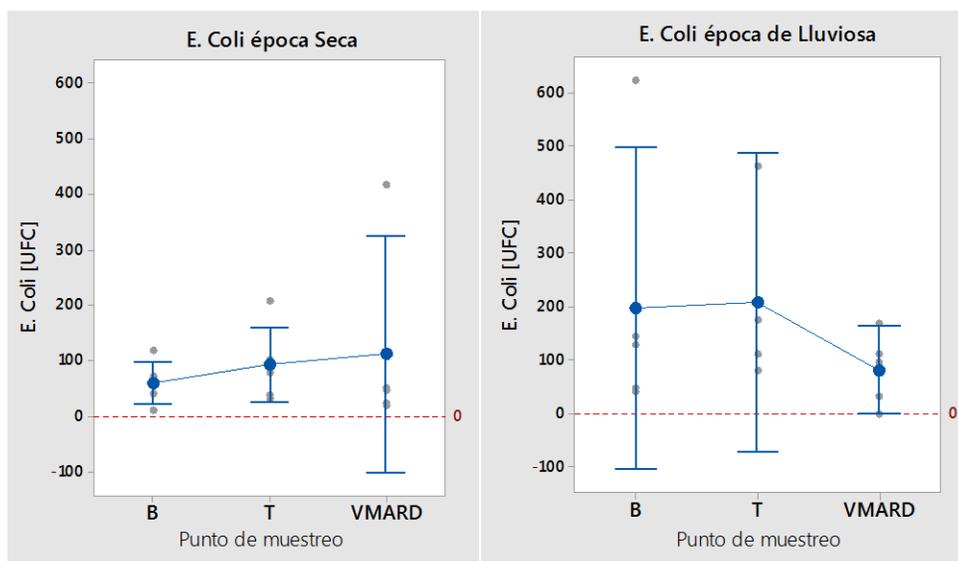
Gráfica 41 Variación espacial y temporal para Coliformes Totales

* B: Bocatoma, T: Tanque y VMARD: Vivienda más alejada de la red de distribución.

* - - -: Valor máximo admisible para agua destinada a consumo humano.

El parámetro de E. Coli tuvo un comportamiento similar a Coliformes Totales, en época seca con una tendencia de aumento. En época de lluvia, la bocatoma y el tanque tuvieron concentraciones similares que difieren de VMARD, siendo en promedio 120 [UFC/100 ml] menor, respecto a las dos primeras. Los datos con una mayor desviación estándar ocurrieron en época de lluvia. Ninguno de los puntos cumplió con los valores máximos admisibles establecidos en la norma nacional de agua para consumo humano [22] (Gráfica 42).

La concentración promedio más alta de E. coli se presentó en el tanque en época de lluvia (208 [UFC/100 ml]). La concentración más baja, ocurrió en la bocatoma (60.83 [UFC/100 ml]), en época seca. En la bocatoma se registró el valor más alto de E. Coli (624 [UFC/100 ml]) en lluvia y el mínimo (0 [UFC/100 ml]) en VMARD de esta misma época. El valor de cero, puede haber sido un error del laboratorio.



Gráfica 42 Variación espacial y temporal para E. Coli

* B: Bocatoma, T: Tanque y VMARD: Vivienda más alejada de la red de distribución.
 * - - -: Valor máximo admisible para agua destinada a consumo humano.

La introducción de microorganismos ocasionado por un evento de contaminación fecal al sistema de distribución de agua, no se distribuye uniformemente por todo el complejo de abastecimiento, éstos típicamente se agrupan en sitios favorables para su desarrollo [68]. En época lluviosa la estructura de regulación (tanque) presentó en promedio la mayor concentración de microorganismos (Coliformes Totales y E. Coli), de acuerdo a [18], las tasas de fuga en conducciones de agua con bajo mantenimiento son altas y experimentan entre un 10-20% de problemas relacionados con la tubería (corrosión, grietas, fisuras o roturas simples) en las articulaciones o pared de la misma, provocando la contaminación del fluido durante su transporte [69]

6.3.2.5 Índice de Riesgo de Calidad del Agua Para Consumo Humano (IRCA)

La Resolución 2115 de 2007 [22], establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano, y en su Artículo 12 define el Índice de Riesgo de Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA) como el grado de riesgo en ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano. En este mismo apartado se encuentra la Ecuación (1), a partir de la cual se calcula el índice de riesgo (IRCA).

$$IRCA(\%) = \frac{\sum \text{Puntajes de riesgo asignados a las características no aceptables}}{\sum \text{Puntajes de riesgo asignados a todas las características analizadas}} * 100 \quad (1)$$

La interpretación del nivel de riesgo de acuerdo al porcentaje calculado aparece en la Tabla 7.

Tabla 7 Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra.

Clasificación IRCA (%)	Nivel de riesgo	Interpretación IRCA
80.1 - 100	Inviabile Sanitariamente	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.
35.1 - 80	Alto	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
14.1 - 35	Medio	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
5.1 - 14	Bajo	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
0 - 5	Sin Riesgo	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia

Fuente: Resolución 2115 de 2007 [22]

En la Tabla 8 se listan los parámetros que no cumplieron con el límite permisible establecido para el agua que se destina a consumo humano en época seca. El IRCA para esta época fue de 73%, ubicando el agua en un nivel de riesgo alto. De acuerdo con la Resolución, este nivel de riesgo implica adelantar una gestión directa con la persona prestadora del servicio, alcalde y gobernador para disminuir el nivel de riesgo en el consumo.

Tabla 8 Comportamiento de los parámetros evaluados por el IRCA en época seca

Medidas Fisicoquímicas	Resultado de laboratorio	Valor máximo admisible por norma	Puntaje de riesgo	Puntaje de riesgo asignado
pH (Unidades de pH)	7.06	6.5-9.0	1.5	0
<i>Turbiedad (NTU)</i>	3	2	15	15
Color (UPC)	14	15	6	0
Conductividad (µS/cm)	25.5	1000		0
Hierro Total (mg Fe/L)	<0.07	0.3	1.5	0
Nitritos (mg NO ₂ /L)	<0.08	0.1	3	0
Sulfatos (mg SO ₄ ²⁻ /L)	5.74	250	1	0
Cloruros (mg Cl/L)	8	250	1	0
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	38	300	1	0

Medidas Físicoquímicas	Resultado de laboratorio	Valor máximo admisible por norma	Puntaje de riesgo	Puntaje de riesgo asignado
Alcalinidad Total (mg CaCO ₃ /L)	51.3	200	1	0
Cloro residual libre (mg Cl/ L)	0	0.2-2.0	15	15
Sólidos Totales (mg/L)	30	500		0
Calcio (mg Ca/L)	1.24	60	1	0
Fosfatos (mg PO ₄ ⁻³ /L)	<0.05	0.5	1	0
Manganeso (mg Mn/L)	<0.014	0.1	1	0
Magnesio (mg Mg/L)	0.43	36	1	0
Molibdeno (mg Mo/L)	<0.12	0.07	1	0
Zinc (mg Zn/L)	<0.059	3	1	0
Nitratos (mg NO ₃ ⁻ /L)	0.71	10	1	0
Aluminio (mg Al/L)	0	0.2	3	0
Fluoruros (mg F/L)	0.05	1	1	0
Carbono Orgánico (mg C/L)	7.24	5	3	3
Coliformes Totales (UFC/100 ml)	130	0	15	15
E. Coli (UFC/100 ml)	120	0	25	25
		Σ	100	73

$$IRCA = \frac{73}{100} * 100 = 73\%$$

En la Tabla 9 se enuncian los parámetros físicoquímicos que no cumplen con los requerimientos planteados en la Resolución 2115 de 2007 [22], en época lluviosa. El IRCA calculado en esta época fue de 61%, presentando consecuentemente un nivel de riesgo alto, que requiere las mismas gestiones recomendadas para el caso de época seca.

Tabla 9 Comportamiento de los parámetros evaluados por el IRCA en época de lluvia.

Medidas Físicoquímicas	Resultado de laboratorio	Valor máximo admisible por norma	Puntaje de riesgo	Puntaje de riesgo asignado
pH (Unidades de pH)	7.14	6.5-9.0	1.5	0
Turbiedad (NTU)	1.56	2	15	0
Color (UPC)	17	15	6	6
Conductividad (µS/cm)	27.5	1000		0
Hierro Total (mg Fe/L)	<0.07	0.3	1.5	0
Nitritos (mg NO ₂ ⁻ /L)	<0.08	0.1	3	0
Sulfatos (mg SO ₄ ⁻² /L)	0.91	250	1	0
Cloruros (mg Cl/L)	6.47	250	1	0
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	26	300	1	0
Alcalinidad Total (mg CaCO ₃ /L)	34.55	200	1	0
Cloro residual libre (mg Cl/ L)	0	0.2-2.0	15	15
Sólidos Totales (mg/L)	14	500		0

Medidas Fisicoquímicas	Resultado de laboratorio	Valor máximo admisible por norma	Puntaje de riesgo	Puntaje de riesgo asignado
Calcio (mg Ca/L)	6.11	60	1	0
Fosfatos (mg PO ₄ ⁻³ /L)	0.04	0.5	1	0
Manganeso (mg Mn/L)	<0.014	0.1	1	0
Magnesio (mg Mg/L)	4.36	36	1	0
Molibdeno (mg Mo/L)	<0.12	0.07	1	0
Zinc (mg Zn/L)	<0.059	3	1	0
Nitratos (mg NO ₃ ⁻ /L)	0.13	10	1	0
Aluminio (mg Al/L)	0	0.2	3	0
Fluoruros (mg F ⁻ /L)	0.12	1	1	0
Carbono Orgánico (mg C/L)	2.96	5	3	0
Coliformes Totales (UFC/100 ml)	105	0	15	15
E. Coli (UFC/100 ml)	42	0	25	25
		Σ	100	61

$$IRCA = \frac{61}{100} * 100 = 61\%$$

De acuerdo a lo anterior, la contaminación microbiana provoca un ascenso del nivel de riesgo (IRCA), en ambos regímenes de precipitación, posiblemente ocasionado por el arrastre de heces de animales de pastoreo que se alimentan en la zona de captación. En trabajos como [65] se atribuye un descenso de la concentración de Unidades Formadoras de Colonias (UFC/100 ml) cuando las estructuras son protegidas de los animales. Por otro lado, autores han demostrado que la presencia de desinfectantes residuales son cruciales para garantizar la seguridad de los usuarios, evitando la re-contaminación durante el transporte [21], que en este caso no se cumple.

6.3.3 Disponibilidad de agua y prácticas de uso

Teniendo en cuenta la población actual (350 personas), su uso del agua (doméstico y productivo), y la disponibilidad en la fuente (18 L/s – en época de verano), la comunidad está usando únicamente el 17% del caudal disponible en la fuente en época seca, dejando recurso en el cauce para usos aguas abajo y preservación del cuerpo hídrico. No obstante, cabe resaltar que tanto en época seca como época lluviosa hubo aforos en que se cuantificaron 12 L/s en el lugar de la bocatoma, lo que representa una reducción del 33% de la disponibilidad, debida a extracciones de flujo aguas arriba de la estructura. Por lo tanto, es necesario tener en cuenta las condiciones de demanda y acceso, y las proyecciones de usos futuros en competencia por parte de diferentes usuarios en la microcuenca abastecedora.

Las condiciones encontradas implican una demanda por habitante de aproximadamente 740 l/día, lo que sobrepasa una demanda netamente doméstica, que es la que usuarios y administradores afirmaron tener para el sistema. En la actualidad, los usos productivos no reconocidos pueden estar relacionados con la necesidad de la comunidad de realizar una conexión adicional a la proyectada en el diseño del acueducto, unos metros más arriba de la estructura de captación, para solventar las necesidades reales de agua. Por lo tanto, las estructuras existentes se encuentran subdimensionadas para los usos actuales y el sistema no cuenta con la capacidad para expandirse cuando la población aumente.

A pesar de la aparente disponibilidad de agua, existen usuarios que afirman no contar con el servicio de acueducto durante las 24 horas en época seca en comparación con la época de lluvia (alrededor del 11%). Esto también se evidenció durante las jornadas de aforo y muestreo, cuando en época seca al aforar el tanque de almacenamiento, este siempre estaba casi vacío y en época lluviosa estaba casi siempre lleno. De igual manera, el 17% de los encuestados manifestó que la cantidad de agua proveniente del acueducto no era suficiente para satisfacer sus necesidades. Este porcentaje corresponde a usuarios que tienen problemas debido a la época seca o ubicación de sus viviendas. En este mismo sentido, la estructura de captación no cuenta con un mecanismo que permita la regulación o medición del caudal captado, tales como vertederos, canaletas o caudalímetros. Tampoco existían registros hidrológicos, aforos o monitoreos realizados en la quebrada abastecedora, previos a la realización de este estudio. En consecuencia, la falta de infraestructura que permita hacer seguimiento a las condiciones de oferta y demanda por parte de la comunidad limita la disponibilidad de información para la toma de decisiones asociadas al manejo del recurso.

La Gráfica 4 mostró la proporción en la que otras fuentes de agua son usadas por los habitantes del sector. La existencia de diversas fuentes de abastecimiento y el pequeño número de habitantes suponen una ventaja en cuanto a la disponibilidad de agua para la población. Al preguntar a los encuestados por los usos del agua y su respectiva fuente, se evidenció que el sistema de acueducto predominaba en las labores domésticas, mientras que otras fuentes como la quebrada o nacimientos predominaban en el uso agropecuario. Vale la pena resaltar que ningún usuario afirmó usar el agua proveniente del acueducto con fines agrícolas, pero sí que otros usuarios lo hacían. Se entiende que la falta de aceptación de los usos productivos del acueducto se debe a que estos generalmente no son aceptados por la reglamentación o las instituciones.

Las situaciones descritas llaman la atención sobre la necesidad de reconocer los usos productivos del acueducto, de tal manera que se diseñen estrategias para un aprovechamiento sostenible. La falta de reconocimiento de estos usos por parte de la propia comunidad usuaria y administradora del sistema puede conllevar a problemas de índole técnica (subdimensionamiento de la infraestructura); administrativa (falta de acuerdo y regulación interna sobre los usos aceptados del recurso); y ambiental (uso del recurso más allá de la oferta disponible); entre otros.

6.4 Dimensión Económica

La dimensión económica de la sostenibilidad fue abordada teniendo en cuenta los aspectos requeridos en la organización para tener una buena gestión financiera, estos aspectos se describen a continuación.

6.4.1 Metodología tarifaria

Adecuar la factura a los requerimientos de la Ley 142 de 1994 y así mismo definir e implementar un proceso de facturación. En sistemas con menos de 2500 usuarios donde no haya micro medición, la reglamentación prevé una manera simplificada para determinar el valor de la factura a cobrar a cada usuario. La Resolución 151 de la CRA, autoriza que, en estos casos, se distribuyan los costos totales entre el número de usuarios [70].

6.4.2 Morosidad

Este indicador se refiere al número de suscriptores del servicio que están atrasados en el pago de la tarifa por más de tres periodos, sobre el total de suscriptores [28].

6.4.3 Recuperación de costos

La recuperación de costos comprende la existencia de planes o proyectos para la reposición de los principales activos del sistema. Se espera que exista un plan formalmente definido, en el cual se identifiquen los mecanismos de financiación (tarifas, otras fuentes) [28].

6.4.4 Fondo de ahorro

La existencia de un fondo de ahorro permite tener la capacidad de cubrir los costos recurrentes (mantenimiento de la infraestructura del suministro de agua) o imprevistos en el sistema [71].

En la Tabla 10, se evalúa cada indicador relacionado dentro de la dimensión económica, en el sistema de abastecimiento de agua rural del caso de estudio.

Tabla 10. Evaluación de aspectos de gestión financiera para el sistema de abastecimiento del caso de estudio

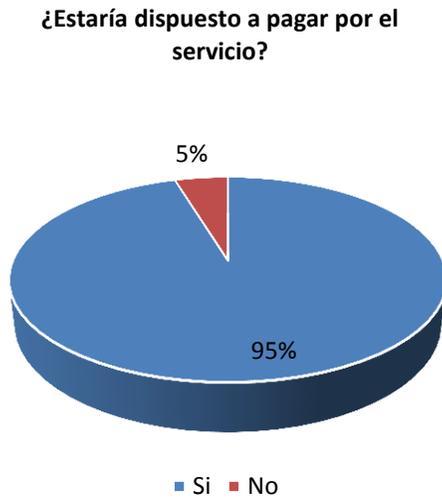
Indicador	Cumplimiento	
	Si	No
Metodología tarifaria		x
Morosidad		x
Recuperación de costos		x
Existencia de fondo de ahorro	x	

Con lo observado en la Tabla 10 queda evidenciado que el cumplimiento de los aspectos relacionados con la gestión administrativa y financiera es una debilidad significativa debido a que solo cumplen con un parámetro contemplado para llevar a cabo una buena gestión financiera y contribuir a que el sistema sea sostenible.

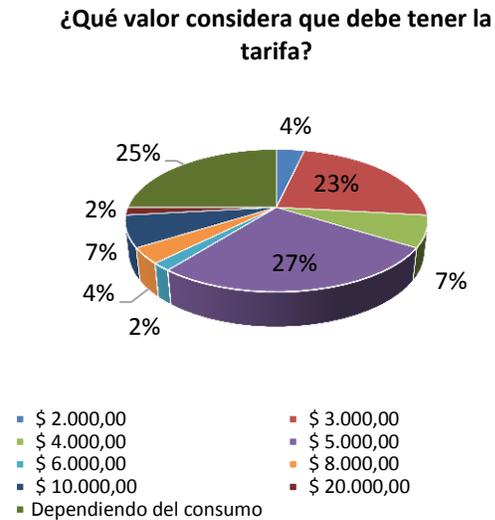
No hay ningún costo por el servicio de agua, el dinero que se maneja en el fondo de ahorro proviene de ingresos de dinero que sobra de las reparaciones que ellos mismos han costado mediante cuotas que se piden a todos los usuarios. También hay algunos fondos disponibles de la realización de nuevas conexiones, ya que la comunidad acordó que se cobraría un valor de \$300,000 (trecientos mil pesos) a usuarios nuevos que deseen acceder al servicio.

Un 95% de los encuestados manifestó que si la comunidad se organizara para atender mejor las necesidades del sistema, estarían dispuestos a pagar una tarifa mensual para recolectar los recursos que se necesitan para la operación, administración y mantenimiento del acueducto. El 5% que no estaría dispuesto a pagar argumentó que “nunca han tenido que pagar por el agua, el agua es de todos y no se debe cobrar” (Gráfica 43). El 25% manifestó que el valor de la tarifa mensual debía depender del consumo, el 75% estuvo de acuerdo en

que la tarifa fuera única y el valor que están dispuestos a pagar oscila entre \$3,000 (tres mil pesos) y \$5,000 (cinco mil pesos), como se observa en la Gráfica 44.



Gráfica 43 Disponibilidad a pagar por el servicio de abastecimiento de agua



Gráfica 44 Valor a pagar por el servicio de abastecimiento de agua

Con base en la evaluación de la sostenibilidad desde las dimensiones social, técnica, ambiental y económica, planteada en esta sección, se formularon las estrategias de mejora que se presentan a continuación, en Capítulo 7

7 PROPUESTAS DE MEJORA

La formulación de propuestas de mejora surgió de la puesta en común de los resultados del diagnóstico con el grupo de apoyo comunitario. La comparación entre las deficiencias actuales con el estado deseado de un sistema sostenible, se presenta en la Tabla 11 a la Tabla 14.

Tabla 11 Comparación entre el estado actual del sistema y lo propuesto por la literatura – Dimensión social

Factor	Estado	Literatura
Existencia de comité de usuario de agua	La comunidad actualmente está organizada informalmente, es decir que no tienen definidos roles dentro de la organización, ni asignación de actividades.	La existencia de los comités de agua funcionales atribuye la fiabilidad de sus puntos de agua a la funcionalidad y la participación activa de los miembros de la comunidad. Estos comités deben contar con los medios técnicos y las competencias financieras y de gestión para ser sostenibles [39].
Existencia de reglas, normas y sanciones	Cuando la comunidad se organizó estableció cierto conjunto de reglas informales para acceder al servicio y así mismo mantenerlo; solo se podían conectar las personas que hicieran un aporte económico o con mano de obra; el servicio de acueducto es solo para uso doméstico y está restringido para el riego de cultivos. No hay ninguna sanción.	Deben existir reglas de uso que restrinjan tiempo, lugar, tecnología y cantidad de unidades del recurso, que se relacionen con las condiciones locales y con las reglas que norman la provisión de trabajo, materiales y dinero requeridos para mantener el recurso y la organización [72].
Participación comunitaria en la gestión del sistema	Un alto porcentaje de la comunidad participa en actividades de operación y mantenimiento, así como de aportes económicos. Sin embargo, en las actividades de administración la participación es escasa y siempre está a cargo de las mismas personas.	La participación tiene como objetivo aumentar el sentido de propiedad sobre el suministro de agua dentro de los miembros de la comunidad [45].
Capacitación en gestión comunitaria	La comunidad no ha recibido capacitación en ningún aspecto, las actividades de operación y mantenimiento, así como de administración del sistema son realizadas de forma empírica.	Cuando se establecen comités de usuarios, estos deben estar equipados con conocimientos técnicos y de gestión a través de capacitaciones, para mejorar su desempeño técnico y administrativo [39].

Factor	Estado	Literatura
Mecanismos de rendición de cuentas	Cuando los costos por mantenimiento del sistema son elevados y la cuota que se solicita a los usuarios es alta, se hace una reunión con los usuarios para informar el costo total por las actividades realizadas y el gasto que se ha tenido.	Los mecanismos de rendición de cuentas (informes a la comunidad) ejercen presión sobre los miembros del comité de agua para que actúen en el mejor interés de los consumidores [73].
Apoyo externo	El acueducto fue construido en el año 2002 por la alcaldía del municipio de Tona, pero no fue terminado totalmente y no se presentó una entrega oficial, desde ese momento no se ha establecido ninguna relación con alguna entidad u organización y tampoco con el municipio, es decir, no ha habido apoyo externo, la comunidad se ha organizado y son ellos quienes mantienen el sistema de acueducto.	La provisión de apoyo externo por parte de las instituciones a nivel regional y nacional a las comunidades locales es indispensable para lograr la sostenibilidad [39].
Normativa	El sistema actualmente no cuenta con ningún requerimiento exigido por la normativa.	La búsqueda exitosa de la certificación externa influye en la percepción de la calidad del agua y gestión de la infraestructura [73].

Tabla 12 Comparación entre el estado actual del sistema y lo propuesto por la literatura – Dimensión Técnica

Factor	Estado	Literatura
Captación	Existe una conexión con manguera (D=2") entre la fuente y el tanque de almacenamiento. Además, la cámara de recolección cuenta con un orificio que permite la entrada de agua sin pasar por la rejilla de captación.	<i>"Deben determinarse medios para evitar la entrada de materiales o cuerpos extraños."</i> (RAS, Título B, p. 65)
	La estructura captaba un caudal de 1.25 L/s. Sin embargo, este caudal no resultó suficiente para las necesidades de la comunidad, por lo que se optó por captar 1.18 L/s adicionales por medio de la manguera (D=2").	<i>"La capacidad de la estructura de toma debe ser hasta de dos veces el caudal máximo diario, 0.67 L/s (calculado a partir de una dotación neta de 90 L/hab*días)"</i> (RAS, Título B, p. 67)

Factor	Estado	Literatura
	No se garantiza el cerramiento de la estructura de captación.	<i>“La zona de la bocatoma debe disponer de los medios de protección y cercado para evitar la entrada de personas y animales extraños.”</i> (RAS, Título B, p. 66)
	Aunque no exista una región habitada, se evidenció la presencia de excretas animales cerca de la zona de captación.	<i>“El lugar de emplazamiento de las obras de captación debe estar suficientemente alejado de toda fuente de contaminación.”</i> (RAS, Título B, p. 65)
	No existe un método que permita regular o medir el caudal captado.	<i>“La estructura de captación debe contar con un mecanismo que permita la regulación y medición de caudales (vertederos, caudalímetros, etc.).”</i> (RAS, Título J, p. 59)
	El ancho de la rejilla es de 20 cm y su longitud es de 28 cm. Los barrotes son de 5/8", con una separación de 0.6 cm.	<i>“El ancho mínimo de la rejilla es de 40 cm y el largo mínimo de 70 cm, pues permiten facilitar actividades de operación y mantenimiento. La separación entre barrotes debe ser de 5 a 10 cm, con diámetros de 1/2", 3/4" ó 1".”</i> (López Cualla, p. 83)
	La cámara de recolección tiene dimensiones de 50 cm x50 cm con un muro de espesor de 14 cm. No cuenta con vertedero de excesos ni una tapa en la parte superior.	<i>“La cámara de recolección debe tener unas dimensiones mínimas de 1m, debe contar con un vertedero de excesos que entregue el agua nuevamente al cauce del río y debe existir una tapa en la parte superior.”</i> (López Cualla, p. 84)
Desarenador	El caudal de trabajo del desarenador es mucho mayor al de diseño.	<i>“Cada desarenador debe tener una capacidad hidráulica igual al Caudal Máximo Diario.”</i> (RAS, Título B, p. 83)
	La cámara de aquietamiento no cuenta con un canal de excesos.	<i>“Debe existir un canal de excesos que se encargue de distribuir nuevamente el caudal sobrante a la fuente.”</i> (López Cualla, p. 154)
	El borde superior del desarenador se ubica al nivel de la rasante, lo que facilita la entrada de sedimentos y materiales ajenos durante la temporada de lluvia.	<i>“El sitio escogido debe proporcionar suficiente seguridad a la estructura y no debe presentar riesgo de inundaciones en invierno.”</i> (RAS, Título B, p. 83)
	No existe estructura que permita el paso directo mientras se ejecutan labores de operación y mantenimiento, salvo una manguera de 2" de diámetro que capta agua directamente de la quebrada (sin pasar por la rejilla	<i>“En los niveles de complejidad bajo y medio, cuando haya estructuras de desarenación, estas pueden estar compuestas por un solo desarenador, acompañado de un canal o estructura para el paso directo del agua mientras se ejecutan labores de operación y</i>

Factor	Estado	Literatura
	de captación) hasta el tanque de almacenamiento.	<i>mantenimiento en la estructura de desarenación.</i> " (RAS, Título B, p. 83)
	Debido al flujo continuo de agua, existen barras de acero a la vista con muestras de corrosión. La cimentación de la estructura presenta irregularidades.	<i>"La estructura debe ser estable para el sismo de diseño de la zona de amenaza sísmica en que se encuentre ubicado el municipio objeto del sistema de acueducto."</i> (RAS, Título B, p. 64)
	El desarenador posee dimensiones de 4.95 m x1.55 m	<i>"El largo debe ser como mínimo 4 veces el ancho."</i> (RAS, Título B, p.85)
	La estructura cuenta con una pantalla superior en la entrada, pero no en la salida. No cuenta con tapa en la cámara de salida.	<i>"La estructura debe contar con una pantalla superior tanto en la entrada como la salida. Además, la cámara de salida debe estar completamente tapada para evitar contaminación."</i> (López Cualla, p. 154)
Tanque de almacenamiento	El tanque posee cubierta, sin embargo, se evidencia la presencia de excretas animales en esta.	<i>"Si el tanque es enterrado o semienterrado, debe estar alejado de cualquier fuente de contaminación posible, tales como depósitos de basura, líneas de alcantarillado, pozos sépticos, etc.; en todos los casos el tanque debe tener cubierta."</i> (RAS, Título B, p. 388)
	Las tapas de acceso al tanque se encuentran deterioradas.	<i>"La estructura debe ser estable para el sismo de diseño correspondiente a la zona de amenaza sísmica en que se encuentre ubicado el municipio objeto del sistema de acueducto."</i> (RAS, Título B, p. 389)
	La tubería de paso directo se encuentra rota.	<i>"Para el nivel de complejidad del sistema bajo y cuando el tanque tenga un solo compartimiento debe colocarse una tubería de paso directo (by pass) que permita mantener el servicio mientras se efectúa el lavado o la reparación del tanque".</i> (RAS, Título B, p. 389)
Conducción y aducción	En la mayor parte del trazado, la tubería se encuentra a la vista, por lo general, sobre el nivel de la rasante y expuesta a contaminación y animales.	<i>"La profundidad mínima a la cual deben instalarse las tuberías de la red de distribución no debe ser menor de 1.0 m, medido desde la clave de la tubería hasta la superficie del terreno. En casos críticos puede instalarse a una profundidad de</i>

Factor	Estado	Literatura
		<i>0.6m, realizando el respectivo análisis estructural. “ (Resolución 1096 de 2000)</i>
	La tubería de aducción se encuentra por arriba del nivel de la rasante, apoyada en un punto por medio de un apoyo artesanal en concreto.	<i>“Cuando por la naturaleza del terreno o por otras razones sea necesario poner la tubería muy próxima a la superficie, deben preverse los elementos de protección que aseguren que la misma no estará sometida a esfuerzos o deformaciones que puedan causar roturas o afectar el funcionamiento hidráulico normal de la tubería.” (RAS, Título B, p. 159)</i>
	Existen pasos aéreos donde se evidencian deflexiones significativas en la red de conducción.	<i>“Todos los pasos sobre quebradas, ríos, canales, depresiones y otras estructuras, deben enterrarse hasta donde sea posible, con el fin de minimizar los pasos aéreos a los estrictamente necesarios.” (RAS, Título B. p. 159)</i>

Tabla 13 Comparación entre el estado del sistema y lo propuesto por la literatura – Dimensión ambiental

Factor	Estado	Literatura
Cantidad de agua	La quebrada las Puentes suministra 18 L/s en el punto de la bocatoma en las condiciones de época seca, lo que excede la demanda para uso doméstico y productivo de la comunidad, y garantiza una proporción importante del flujo ofertado para otros usos y usuarios aguas abajo de la bocatoma. Sin embargo, la estructura de captación carece de un mecanismo para la regulación del caudal captado.	La fuente de abastecimiento debe garantizar el caudal mínimo demandado por la población [47]. La estructura de captación debe contar con un mecanismo que permita la regulación de caudales [74].
	La estructura de captación carece de un mecanismo para la medición del caudal captado. Tampoco existen mecanismos para el registro hidrológico, aforo o monitoreo de la cantidad.	La estructura de captación debe contar con un mecanismo que permita la medición de caudales [74].
Calidad de agua	La oferta hídrica en términos fisicoquímicos es aceptable, pero la presencia de Coliformes	Los valores admisibles, estipulado por la Resolución 2115 de 2007 de Coliformes Totales y E. Coli en agua para consumo

Factor	Estado	Literatura
	Totales y E. coli y de Coliformes Totales evidencia problemas de contaminación del sistema. Los valores encontrados superan los límites máximos permisibles de concentración en agua para consumo humano estipulados por la reglamentación nacional.	humano son ambos caos de 0 UFC/100 mL [24].
Prácticas de uso	Las condiciones encontradas implican una demanda por habitante de aproximadamente 740 l/día, lo que sobrepasa una demanda netamente doméstica.	En sistemas de abastecimiento de agua rural, los usos productivos que garantizan los medios de sustento de las personas deben reconocerse y cuantificarse para resolver aspectos de índole técnica, administrativa y ambiental, que garanticen la prestación de servicios sostenibles [74]

Tabla 14 Comparación entre el estado actual del sistema y lo propuesto por la literatura – Dimensión económica

Factor	Estado	Literatura
Establecimiento de tarifas	No se cobra ningún valor por el servicio de agua, no existe una tarifa definida. Si se requiere dinero para alguna actividad relacionada con el acueducto, se establece una cuota acordada por todos los usuarios y el dinero se recoge casa por casa.	Se debe adecuar un valor por el servicio de agua que se determinará con el fin de lograr la plena recuperación de costos [45].
Fondo de O&M	No se cuenta con un fondo formalmente definido para estas actividades, sin embargo, cuentan con algún dinero que proviene de ingresos que quedan de excedentes de las reparaciones que ellos mismos han costeadado.	La existencia de un fondo de O & M y la adecuación de las contribuciones financieras son fundamentales para la sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento de agua [73] [39].

A partir de la información sintetizada de la Tabla 11 a la Tabla 14, la comunidad participó en la realización de una matriz de comparación entre pares de los factores identificados como aspectos por mejorar, lo que permitió ordenar por frecuencia los factores, estableciendo una jerarquía de mayor a menor importancia. Para el contexto de la investigación, se buscó dar prioridad a los factores con mayor frecuencia identificados en la matriz, que pueda desarrollar la comunidad, sin apoyo externo, ya que en el momento esta es una limitante. La Tabla 15 muestra las estrategias de mejora identificadas con sus requerimientos y plazos propuestos de ejecución.

Tabla 15 Propuestas de estrategias de mejora

Aspecto	Acción a realizar	¿Quién?	¿Qué se necesita?	Plazo de ejecución
Crear una organización formal para la administración del sistema	La organización debe constituirse como persona jurídica sin ánimo de lucro. Esta inscripción le permitirá a la organización ejercer derechos y cumplir con los deberes necesarios como entidad prestadora del servicio de abastecimiento de agua, con reconocimiento del Estado.	La comunidad debe involucrarse y participar. Aunque podría ser un proceso autónomo, sería ideal contar con apoyo externo para acompañar la comunidad en este reto.	La comunidad debe conformar una junta de usuarios en la que se defina presidente, tesorero, secretario y fiscal, deben tener acta de constitución y de elección de directivas. Se deben crear estatutos en los que se establezcan derechos, deberes, normas y sanciones en el acceso al servicio.	Los costos para realizar esta inscripción son bajos, pero se requiere la disposición de la comunidad. Por lo tanto, puede considerarse una alternativa a corto plazo.
Involucrar activamente los usuarios en la gestión del sistema	Se deben identificar las actividades que se requiere realizar en todo el sistema relacionadas con capacitación, protección ambiental, administración, operación y mantenimiento, y crear grupos de trabajo para asignar roles y responsabilidades, que garanticen la participación de toda la comunidad.	Debe existir la acción conjunta de toda la comunidad.	Es necesario identificar aspectos de interés y crear grupos o comités encargados de las tareas asociadas a las áreas prioritarias a intervenir.	Debido a que no se requiere capital económico, esta acción puede desarrollarse a corto plazo.
Formular reglas, normas y sanciones asociadas a la prestación del servicio	Se debe establecer un conjunto de normas y reglas de acceso al servicio, así como del uso del agua, la participación de la comunidad, recolección de tarifas, entre otras. Deben definirse sanciones cuando no se cumpla con las reglas y normas estipuladas (pueden ser multas).	Deben ser propuestas, discutidas y aprobadas por toda la comunidad.	Es importante que toda la comunidad participe en este proceso, ya que facilita su comprensión, aprobación y cumplimiento.	Se considera una alternativa a corto plazo.

Aspecto	Acción a realizar	¿Quién?	¿Qué se necesita?	Plazo de ejecución
Adecuación del desarenador	El desarenador se encuentra al mismo nivel de la rasante. Se recomienda realizar un movimiento de tierra manual (excavación) al lado del muro lateral del desarenador, para evitar la escorrentía de contaminantes presentes en el suelo a esta unidad.	Grupos de personas de la comunidad que realicen esta actividad.	Un grupo de voluntarios y herramienta.	Ya que no es necesario capital económico para desarrollar esta alternativa, puede considerarse como una solución a corto plazo.
Limpieza periódica de estructuras	Se recomienda una limpieza periódica de las estructuras del sistema que evite la acumulación de sedimentos y el crecimiento de bacterias.	Grupos de personas rotativas, para que se logre participación de mayor número de usuarios o remuneración al grupo que ha venido acometiendo esta labor.	Se necesitan personas voluntarias o remuneradas, una planificación para mejorar la periodicidad de esta actividad, y materiales y herramientas de limpieza.	El término de ejecución de esta actividad es de corto plazo y de manera frecuente.
Tramite de la concesión de aguas	Es necesario asesorarse de profesionales que puedan orientar acerca del procedimiento para acceder a la concesión, teniendo en cuenta los requerimientos de agua de la comunidad.	Organización encargada de la administración del acueducto.	Recursos para adelantar los procedimientos asociados a la formalización de la concesión y posiblemente para asesoría.	Esta actividad debe ser realizada de corto a mediano plazo, pues, aunque pueda requerir apoyo externo, es crítica para garantizar el derecho al aprovechamiento de las aguas superficiales

Aspecto	Acción a realizar	¿Quién?	¿Qué se necesita?	Plazo de ejecución
Protección de la captación	Se recomienda restringir el paso de animales a la estructura de captación, desarenador y tanque de almacenamiento. Para ello es posible cercar el territorio con postes y alambre de púas.	Equipo de trabajo integrado por miembros de la comunidad.	Postes, alambre, herramientas y mano de obra. El 94% de los encuestados se mostró a favor de contribuir económicamente con el fin de mejorar las condiciones del sistema, por lo tanto, se podría crear un fondo destinado a esta actividad. La comunidad ha manifestado dar una cuota mensual de donde se puede obtener los fondos para la compra del material.	Debido a que se trata de un trabajo habitual en la comunidad, no hace falta entrenar personas. No obstante, se requiere negociación con los propietarios de los predios a cercar, así como dinero para la compra de materiales, lo que podría demorar la realización de esta mejora.
Establecimiento de tarifas apropiadas	Deben estimarse los gastos de administración, operación y mantenimiento del sistema para determinar el valor a pagar. Para viabilizar la adopción de una tarifa se debe hacer un proceso de concertación con la comunidad para que comprenda la importancia de recaudar recursos financieros que permitan mejorar la prestación del servicio.	Para implementar una tarifa por el servicio de agua es indispensable que toda la comunidad este de acuerdo.	Debe realizarse un registro de suscriptores del sistema, también se debe adecuar un registro contable, para llevar el control del presupuesto mensual y anual del sistema.	La comunidad puede necesitar un período de tiempo para comprender la situación. Se considera como una estrategia a mediano plazo.
Fondo de Operación y Mantenimiento	Se debe implementar el valor de la tarifa mensual y establecer un monto adecuado y constante para cubrir los costos de reparación del sistema después de una falla.	Este fondo debe ser administrado por la junta de usuarios del sistema, que la comunidad previamente eligió.	Dado que los ahorros provienen de las tarifas de agua pagadas por los consumidores, se requiere contar con un monto asignado para actividades de operación y mantenimiento.	Se considera como una estrategia a mediano plazo, ya que debe ir a la par con el establecimiento de la tarifa.

Aspecto	Acción a realizar	¿Quién?	¿Qué se necesita?	Plazo de ejecución
Definir un mecanismo efectivo y justo para adelantar las labores de operación y mantenimiento del sistema	Se deben identificar las actividades de operación y mantenimiento, su periodicidad, las habilidades requeridas para desempeñarlas y definir responsables que garanticen la ejecución de estas tareas. Debe establecerse si esto se hará de manera rotativa, por parte de grupos de usuarios o si es necesario designar un fontanero que realice estas actividades, garantizando una remuneración.	La comunidad debe definir de manera conjunta este mecanismo, implementarlo y evaluar sus resultados para determinar si el modelo fue satisfactorio o si se requieren cambios.	Es necesario que la comunidad sea consciente de que el trabajo está recargado en un grupo pequeño de personas y que debe existir una distribución más equitativa de estas tareas o remuneración para las personas que están realizando actualmente esta actividad ad-honorem.	Esta actividad puede ser de mediano plazo en la medida en que pueda requerir el cobro de una tarifa.
Monitoreo y vigilancia al sistema	Se recomienda realizar al menos 2 jornadas anuales de monitoreo a la cuenca, siguiendo pautas de la reglamentación nacional vigente.	La comunidad puede realizar las jornadas de aforo y monitoreo, pues como resultado de este proyecto ya conocen como realizar esta actividad.	Se necesita material de muestreo como recipientes, etiquetas de marca, neveras, accesorios de protección como guantes, tapabocas, botas pantaneras, etc. Se necesitan recursos económicos para hacer análisis en laboratorio acreditado.	Esta actividad puede ser de mediano plazo en la medida en que pueda requerir el cobro de una tarifa para disponer de los recursos requeridos.
Mejoramiento de la calidad de agua a nivel de la vivienda	Se debe divulgar la información de calidad de agua a la comunidad y explicar los mecanismos disponibles para mejorar el agua a nivel de la vivienda. Pueden plantearse proyectos para implementar sistemas de mejoramiento de la calidad de agua y evaluar su desempeño y potencial de implementación en la comunidad.	Esta actividad debe ser desarrollada por una entidad de apoyo externa que realice una capacitación a los usuarios.	Se necesita formular proyectos para conseguir los recursos que permitan implementar esta estrategia, a través de financiación externa.	Esta actividad puede ser de largo plazo pues requiere apoyo externo y financiación.

Aspecto	Acción a realizar	¿Quién?	¿Qué se necesita?	Plazo de ejecución
Estudio de la demanda de agua para uso múltiple y la oferta de agua considerando múltiples fuentes	El caudal captado es mayor al caudal que demandaría uso netamente doméstico. Se recomienda que la comunidad reconozca los usos productivos del agua. Esto podría lograrse mediante reuniones y talleres. Complementariamente, se requeriría acompañamiento técnico para estudiar la demanda para uso doméstico y productivo y balancearla con la oferta disponible de las diferentes fuentes existentes en la localidad.	Es necesario que toda la comunidad esté involucrada en el proceso, acompañando a la organización administradora. Es necesario apoyo técnico externo.	Apertura de la comunidad para reconocer esta situación y plantear opciones de manejo. Puede requerirse la formulación de un proyecto para realizar un estudio de oferta y demanda que facilite la toma de decisiones.	La comunidad necesitará de tiempo para entender la situación y solucionar sus inquietudes. El apoyo externo puede facilitar el estudio del fenómeno. Por tal motivo se considera como una estrategia de mediano plazo.
Rediseño del sistema de acuerdo	Una vez se tenga claridad sobre la demanda para uso múltiple y los usuarios definan qué demandas debe atender el sistema con los recursos disponibles, puede desarrollarse un proyecto para el rediseño del sistema que cubra las necesidades concertadas de los usuarios y especificaciones técnicas.	La comunidad con ayuda de apoyo externo y financiación para adelantar los diseños.	Se necesita formular un proyecto y gestionar los recursos con entidades financiadoras.	Esta estrategia es de largo plazo pues se requiere apoyo y financiación externos.
Capacitación de la comunidad	Se recomiendan jornadas de capacitación a la comunidad para que puedan afrontar diferentes problemáticas relacionadas con la gestión sostenible del sistema de abastecimiento.	Delegados de la alcaldía, CDMB, u otras instituciones con actividades misionales asociadas al suministro de agua en zona rural deben hacer presencia en la zona para fortalecer las capacidades de la comunidad en la prestación del servicio.	Necesita presencia institucional de entidades gubernamentales.	Esta estrategia es de largo plazo pues se requiere apoyo y financiación externos.

8 CONCLUSIONES

El presente trabajo investigó los factores que influyen en la sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento de agua manejados por comunidades rurales en ecosistemas de páramo, usando como caso de estudio, el sistema de abastecimiento Los Andes-El Progreso, ubicado en el Distrito de Manejo Integrado del Páramo de Berlín en Santander. La investigación se apoyó en una revisión de literatura exhaustiva, que permitió identificar dimensiones de sostenibilidad, así como indicadores usados para evaluarla en sistemas de abastecimiento estudiados previamente. Los indicadores encontrados se clasificaron de acuerdo con cuatro dimensiones de la sostenibilidad: social, técnica, ambiental y económica, con potencial de ser aplicadas al caso de estudio. Cada proyecto es de carácter único, por lo que es posible ajustar y proponer indicadores nuevos para evaluar la sostenibilidad de un sistema con el fin de que este se adapte a las condiciones del caso y al marco legal del país.

En cuanto al análisis de la dimensión social de la sostenibilidad, en este caso de estudio se identificaron dentro de los más influyentes y recurrentes los aspectos legales, manejo interno, gestión administrativa y financiera y acción colectiva, que fueron caracterizados y evaluados conjuntamente con la comunidad, y cuyos resultados mostraron varios aspectos que se desconocen, se incumplen o no están en curso. En este sentido, el incumplimiento de aspectos de índole legal y administrativa, pone de manifiesto la importancia de trabajar para fortalecer la organización administradora del sistema para que mejore el conocimiento de los requerimientos legales y las competencias de gestión.

En relación con la dimensión técnica de la sostenibilidad, se observó que la infraestructura está subdimensionada para las necesidades actuales de la población y que no fue construida siguiendo el reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento. Por lo cual, presenta deficiencias en el diseño y funcionamiento de las diferentes componentes. No obstante, antes de pensar en adelantar diseños, es necesario estudiar cuidadosamente la demanda de agua para usos domésticos y productivos, contrastarla con la oferta, y evaluar las implicaciones de esta situación en el diseño, administración, operación y mantenimiento, de tal forma que su reconocimiento y estrategias de manejo redunden en el uso sostenible del sistema, articulado con la consideración de los medios de sustento de la comunidad, y el contexto del ecosistema de páramo.

La dimensión ambiental de la sostenibilidad, fue evaluada a partir de aspectos relacionados con la cantidad, la calidad del agua y las prácticas de uso del recurso. En esta dimensión se encontró que a pesar de que se tiene la concepción de que el páramo es un ecosistema con abundancia de agua para toda la población, existe un porcentaje de usuarios que no recibe el suministro del recurso de manera continua a lo largo del año, lo que se asocia a la temporada seca, y que la disponibilidad del recurso puede verse disminuida en un futuro no lejano al aumentar usuarios y usos en competencia sobre la fuente abastecedora. Esto hace esencial, tramitar la concesión de aguas para garantizar el derecho legal de la comunidad a obtener el caudal demandado; así como implementar estrategias para el monitoreo del recurso, que faciliten la toma de decisiones.

Así mismo, se evidenciaron problemas de calidad debidos a parámetros que no cumplen con los límites máximos permisibles de concentración en agua para consumo humano en la captación: Turbiedad, Color, Coliformes Totales y E. Coli, Se pudo observar que existe una variación estacional en la concentración de los parámetros, siendo la época lluviosa, cuando se presentan las mayores desviaciones respecto a los valores aceptables. Esto se refleja en los resultados del Índice de Riesgo de Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA), que arrojaron un nivel de riesgo alto en ambos ciclos de precipitación, con IRCA calculado de 73% y 61% para época seca y lluviosa, respectivamente. Esta situación es el resultado de las actividades antrópicas como la presencia de ganado en la zona de captación, lo que demanda estrategias de intervención para la protección de la fuente para disminuir el nivel riesgo, dado que pueden generar enfermedades gastrointestinales que ponen en peligro la salud de los usuarios.

Así mismo, se observó el deterioro de la calidad del agua a medida que fluye desde la bocatoma a la vivienda más alejada en la red de distribución, en parámetros como Turbiedad (época seca y lluviosa), y variables microbiológicas en época seca. Esta situación requiere trabajo sobre el sistema para evitar la contaminación del agua en los componentes de la infraestructura y educación para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel de la vivienda, acompañado de proyectos que permitan llevar estas iniciativas al grueso de la población.

En cuanto a las prácticas asociadas al uso del recurso, teniendo en cuenta el agua captada, y la población usuaria, la demanda per-cápita actual es de aproximadamente 740 L/d, lo que

evidencia nuevamente el uso múltiple del sistema (doméstico y productivo), y la necesidad de reconocer este uso de tal forma que se pueda hacer de manera racional, sin poner en riesgo los medios de sustento de la población, ni la capacidad del ecosistema para proveer el recurso.

En cuanto a la dimensión económica, se requiere implementar un plan financiero para la recuperación de costos recurrentes, típicamente en forma de tarifas mensuales por cada hogar, para financiar actividades de operación, mantenimiento y reposiciones al sistema de agua existente. El establecimiento de un fondo para operación y mantenimiento y la voluntad de la comunidad de contribuir, son los factores financieros más importantes que afectan la sostenibilidad en los esquemas de agua rural.

Este estudio adoptó un enfoque de investigación en el cual se involucró activamente a los actores relevantes en cada una de las fases del proyecto, lo que permitió generar buenas relaciones con la comunidad, superar barreras existentes para el trabajo con instituciones externas, facilitar que los resultados se generaran con la comunidad y que las propuestas surgieran de un análisis compartido. Estos elementos podrían facilitar que algunas de las estrategias de mejora propuestas puedan implementarse en el futuro y generar impactos positivos sobre la sostenibilidad del sistema.

Las características sociales, ambientales y culturales en las comunidades de páramo, tienden a fomentar la auto-organización. Aunque la comunidad presenta deficiencias en la gestión del sistema debidas al escaso apoyo externo y las herramientas insuficientes para mejorar habilidades administrativas, técnicas y financieras, se destaca su alto grado de acción colectiva que ha permitido poner en funcionamiento y mantener el sistema de suministro de agua, lo que refleja la voluntad, disposición y motivación para trabajar en conjunto y lograr objetivos comunes.

Esta investigación contribuyó a que el grupo de investigación GPH, la comunidad y la CDMB intercambiaran conocimiento y aprendieran sobre la sostenibilidad de sistemas de abastecimiento de agua en ecosistemas de páramo. La puesta en común y discusión de los resultados del estudio, ha motivado la comunidad a continuar avanzando en la solución de los aspectos de los que pueden encargarse de manera autónoma. En la medida en que se vayan

implementado soluciones, es recomendable monitorear los resultados, de tal forma que se corrijan fallas y que se den procesos de aprendizaje continuo que promuevan la gestión adaptativa. También nos permite a las instituciones continuar buscando alternativas para fortalecer la gestión de las comunidades que habitan ecosistemas estratégicos como el páramo.

9 REFERENCIAS

- [1] Departamento Nacional de Planeación, «Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): Agenda de Desarrollo Post-2015 de la Organización de las Naciones Unidas», *Decreto 0280 del 18 febrero 2015*, p. 78, 2015.
- [2] U. and WHO, «2015 Update and MDG Assessment», 2015.
- [3] R. E. S. Bain, J. A. Wright, E. Christenson, y J. K. Bartram, «Rural: Urban inequalities in post 2015 targets and indicators for drinking-water», *Sci. Total Environ.*, vol. 490, pp. 509-513, 2014.
- [4] I. D. Rivera y E. R. Oviedo-oacaña, «Service provision in rural water supplies : analysis of four community-based systems in Colombia», vol. 3, pp. 117-140, 2016.
- [5] S. Smits, J. Rojas, y P. Tamayo, «The impact of support to community-based rural water service providers: Evidence from Colombia», *Water Altern.*, vol. 6, n.º 3, pp. 384-404, 2013.
- [6] MINVIENDA, *TÍTULO J Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural*. 2010.
- [7] S. E. Dickson, C. J. Schuster-Wallace, y J. J. Newton, «Water Security Assessment Indicators: The Rural Context», *Water Resour. Manag.*, vol. 30, n.º 5, pp. 1567-1604, 2016.
- [8] R. Barnes y N. Ashbolt, «Development of a Planning Framework for Sustainable Rural Water Supply and Sanitation: A Case Study of a Filipino NGO», *Int. Stud. Manag. Organ.*, vol. 40, n.º 3, pp. 78-98, 2010.
- [9] M. Garfi, L. Ferrer-Martí, A. Bonoli, y S. Tondelli, «Multi-criteria analysis for improving strategic environmental assessment of water programmes. A case study in semi-arid region of Brazil», *J. Environ. Manage.*, vol. 92, n.º 3, pp. 665-675, 2011.
- [10] F. O. E. Silva, T. Heikkila, F. de A. de Souza Filho, y D. C. da Silva, «Developing sustainable and replicable water supply systems in rural communities in Brazil», *Int. J. Water Resour. Dev.*, vol. 29, n.º 4, pp. 1-14, 2012.
- [11] E. Ostrom y T. K. Ahn, «Una perspectiva del capital social desde las ciencias sociales: capital social y acción colectiva», *Rev. Mex. Sociol.*, vol. 65, n.º 1, pp. 155-233, 2003.
- [12] J. Restrepo, C. A. Suárez, y M. Y. Álvarez, «Plan integral de manejo del Distrito de Manejo Integrado de los recursos naturales "Páramo de Berlín"», *Corporación Autónoma Reg. Para La Def. La Meseta Bucaramanga.*, p. 103, 2008.
- [13] M. Cabrera y W. Ramirez, *Restauración ecológica de los páramos de Colombia: Transformación y herramientas para su conservación*. 2014.
- [14] Ministerio de Vivienda, «Conpes 3810-2014», pp. 1-46, 2014.

- [15] F. Geilfus, *80 Herramientas para el desarrollo participativo*. 2002.
- [16] WHO, «Water safety in distribution systems», p. 157, 2014.
- [17] WHO, «Fact Sheet 2.1: Sanitary inspections», p. 19.
- [18] E. E. Geldreich, *Microbial Quality in Water Supply Distribution Systems*. Boca Raton, Florida: CRC Press Inc., 1996.
- [19] R. H. Gilman y P. Skillicorn, «Boiling of drinking-water: can a fuel-scarce community afford it?», *Bull. World Health Organ.*, vol. 63, n.º 1, pp. 157-163, 1985.
- [20] M. Goni-Urriza, M. Capdepuy, C. Arpin, N. Raymond, P. Caumette, y C. Quentin, «Impact of an urban effluent on antibiotic resistance of riverine Enterobacteriaceae and Aeromonas spp.», *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 66, n.º 1, pp. 125-132, ene. 2000.
- [21] W. O. K. Grabow, «Waterborne diseases: Update on water quality assessment and control», *Water SA*, vol. 22, pp. 193-202, 1996.
- [22] Ministerio de Protección Social Ambiente Desarrollo y Vivienda, «Resolución número 2115», *Resoluc. 2115*, p. 23, 2007.
- [23] Ministerio del Ambiente, «Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible», 2014.
- [24] Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, «Resolución Número 2115», *Minambiente*, p. 23, 2017.
- [25] C. Francisco, «Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa», 2005.
- [26] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, *Régimen Básico*. 2002.
- [27] World Health Organization, «Water safety planning for small community water supplies: step-by-step risk management guidance for drinking-water supplies in small communities», p. 55, 2012.
- [28] S. Smits, S. P. Tamayo, V. Ibarra, y J. Rojas, «Gobernanza y sostenibilidad de los sistemas de agua potable y saneamiento rurales en Colombia», p. 120, 2012.
- [29] K. Bachelor, «Sustainability of Rural Water Supply Systems: Assessment of gravity water systems implemented by Plan Cameroon in the Northwest Province of Cameroon», n.º August, 2005.
- [30] G. H. Brundtland, «Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro futuro común», *Doc. las Nac. Recolección un ...*, p. 416, 1987.
- [31] L. Rondi, S. Sorlini, y M. C. Collivignarelli, «Sustainability of water safety plans developed in Sub-Saharan Africa», *Sustain.*, vol. 7, n.º 8, pp. 11139-11159, 2015.
- [32] H. Haider, R. Sadiq, y S. Tesfamariam, «Performance indicators for small- and medium-sized water supply systems: a review», *Environ. Rev.*, vol. 22, n.º 1, pp. 1-40, 2014.
- [33] M. (Oecd) Linster, «OECD Environmental Indicators: development, measurement and use»,

- SNUC - Sist. Nac. Unidades Conserv., vol. 25, n.º 0, p. 37, 2003.
- [34] EEA, «Environmental indicators : Typology and overview», *Eur. Environ. Agency*, vol. 25, n.º 25, p. 19, 1999.
- [35] E. Ostrom, «A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems», *Science (80-.)*, vol. 325, n.º 5, pp. 64-67, 2009.
- [36] J. Kwangware, A. Mayo, y Z. Hoko, «Sustainability of donor-funded rural water supply and sanitation projects in Mbire district, Zimbabwe», *Phys. Chem. Earth*, vol. 76-78, pp. 134-139, 2014.
- [37] J. de Kruijf, «Sustainability of Rural Water Supply Systems Assessment of gravity water systems implemented by Plan Cameroon in the Northwest Province of Cameroon», n.º August, 2005.
- [38] H. A. Beyene, «Factors Affecting The Sustainability of Rural Water Supply Systems: The Case of Mecha Woreda, Amhara Region, Ethiopia», n.º January, p. 64, 2012.
- [39] A. Tafara, «Factors Influencing Sustainability of Rural Community Based Water Projects In Mtito Andei, Kibwezi Sub-County, Kenya», *Interdiscip. J. Contemp. Res. Bus.*, vol. 2, n.º 3, pp. 74-79, 2013.
- [40] J. C. Little, E. T. Hester, y C. C. Carey, «Assessing and Enhancing Environmental Sustainability: A Conceptual Review», *Environ. Sci. Technol.*, vol. 50, n.º 13, pp. 6830-6845, 2016.
- [41] R. K. Singh, H. R. Murty, S. K. Gupta, y A. K. Dikshit, «An overview of sustainability assessment methodologies», *Ecol. Indic.*, vol. 9, n.º 2, pp. 189-212, 2009.
- [42] E. Z. Carlos Suárez, Ricardo Villalba, Hisnardo López, Jorge Restrepo, Emiliano Ardila, Juan Gualdrón, «CONSERVACIÓN Y MANEJO SOSTENIBLE DEL PÁRAMO DE BERLÍN – UNIDAD BIOGEOGRÁFICA DE SANTURBÁN, MEDIANTE LA DECLARATORIA DE UN ÁREA DE MANEJO ESPECIAL».
- [43] A. Gabriel, B. Botero, I. Cristina, y D. Rivera, «Evaluación de la dimensión técnica de la sostenibilidad de abastecimientos de agua colectivos rurales en ecosistemas de páramo».
- [44] I. D. Lobo, M. Vélez, y S. Puerto, «Leadership, entrepreneurship and collective action: A case study from the Colombian Pacific region», *Int. J. Commons*, vol. 10, n.º 2, pp. 982-1012, 2016.
- [45] A. Haysom, «A Study of the Factors Affecting Sustainability of Rural Water Supplies in Tanzania», *Water Aid Tanzania*, n.º September, 2006.
- [46] E. Bisung, S. J. Elliott, C. J. Schuster-Wallace, D. M. Karanja, y A. Bernard, «Social capital, collective action and access to water in rural Kenya», *Soc. Sci. Med.*, vol. 119, pp. 147-154, 2014.

- [47] M. A. Carrasco y U. Bilal, «A sign of the times: To have or to be? Social capital or social cohesion?», *Soc. Sci. Med.*, vol. 159, pp. 127-131, 2016.
- [48] S. Koutsou, M. Partalidou, y A. Ragkos, «Young farmers' social capital in Greece: Trust levels and collective actions», *J. Rural Stud.*, vol. 34, pp. 204-211, 2014.
- [49] (Departement for International Development) Dfid, «Sustainable Livelihoods Guidance Sheets Framework Introduction Vulnerability Transforming», *Context*, p. 26, 1999.
- [50] P. Forni, L. Castronuovo, y M. Nardone, «Las Organizaciones En Red Y La Generación De Capital Social», *Miríada*, vol. 8, n.º 8, pp. 79-106, 2012.
- [51] E. Ponce, «Estudio jurídico sobre categorías regionales de áreas protegidas».
- [52] L. Natalia y G. Rincón, «The paramos in Colombia , an ecosystem at risk», n.º 19, pp. 127-136, 2015.
- [53] FACORIS, «Federación de acueductos comunitarios de agua potable y saneamiento básico de Risaralda», 2015.
- [54] P. de la R. de Colombia, «Decreto 421 de 2000», vol. 2000, n.º marzo 8, 2000.
- [55] A. M. Ramírez, «Diagnóstico técnico-operativo, ambiental, legal y financiero de los acueductos comunitarios en la ciudad de Ibagué», 2014.
- [56] Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, «Resolución CRA 151 de 2001», vol. 2001, n.º enero 23, 2001.
- [57] S. de S. P. Domiciliarios, «Cartilla de servicios públicos para alcaldes», 2007.
- [58] M. de D. Económico, «Organicemos Nuestra Empresa de Acueducto y Alcantarillado».
- [59] I. Insitituto de Hidrología, Metereología y Estudios Ambientales, «Precipitación Estación Berlín».
- [60] A. . Fallis, «Guía Para El Monitoreo De Vertimientos, Aguas Superficiales Y Subterranas.», 2013.
- [61] X. Doménech, *Química de la Hidrosfera*. Madrid, España: Miraguano, 1995.
- [62] J. A. Romero Rojas, *Calidad del agua*, 2.ª ed. Bogotá, Colombia: Nuevas Ediciones Ltda, 2005.
- [63] D. Byamukama, F. Kansiime, R. L. Mach, y A. H. Farnleitner, «Determination of Escherichia coli contamination with chromocult coliform agar showed a high level of discrimination efficiency for differing fecal pollution levels in tropical waters of Kampala, Uganda.», *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 66, n.º 2, pp. 864-868, feb. 2000.
- [64] H. . Shivaraju, «Assessment of Physico-Chemical and Bacteriological Parameters Analysis of Drinking Water in the Mysore City, India», *Int. J. Res. Chem. Environ.*, vol. 2, pp. 44-53, 2012.
- [65] M. Zamxaka, G. Pironcheva, y N. Muyima, «Microbiological and physico-chemical

- assessment of the quality of domestic water sources in selected rural communities of the Eastern Cape Province, South Africa», *Water Sa*, vol. 30, n.º 3, pp. 333-340, 2004.
- [66] R. A. Ainsworth, «Water quality changes in piped distribution systems». World Health Organization, Padstow, UK, 2002.
- [67] S. Ríos-Tobón, R. M. Agudelo-Cadavid, y L. A. Gutiérrez-Builes, «Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano», *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, vol. 35, n.º 2, pp. 236-247, 2017.
- [68] P. Gale, «Coliforms in the drinking water supply: What information do the 0/100-mL samples provide?», *J. Water Supply Res. Technol. - Aqua*, vol. 45, n.º 4, pp. 155-161, 1996.
- [69] G. Howard y J. Bartram, «Effective water supply surveillance in urban areas of developing countries», pp. 31-43, 2005.
- [70] V. y D. T. Ministerio de Ambiente, *Costos y tarifas municipios menores y zonas rurales*. .
- [71] H. Lockwood, A. Bakalian, y W. Wakeman, «Assessing Sustainability in Rural Water Supply: The Role of Follow-up Support to Communities», pp. 1-48, 2003.
- [72] D. Ahmadi, «Diversity and social cohesion: the case of Jane-Finch, a highly diverse lower-income Toronto neighbourhood», *Urban Res. Pract.*, vol. 0, n.º 0, pp. 1-20, 2017.
- [73] R. Madrigal-Ballesteros, F. Alpizar, y A. Schlüter, «Public perceptions of the performance of community-based drinking water organizations in Costa Rica», *Water Resour. Rural Dev.*, vol. 1-2, n.º November, pp. 43-56, 2013.
- [74] Ministerio de Desarrollo Económico, *Título B. Sistemas de Acueducto*. 2010.

ANEXOS

Anexo 1 Métodos utilizados por el Laboratorio de Consultas Industriales para el análisis de muestras

Métodos de análisis para los parámetros analizados de las muestras.

Parámetro Físicoquímico	Método/ Norma	Parámetro Físicoquímico	Método/ Norma
pH (unidades de pH)	Potenciométrico/ SM 4500 -H ⁺ B	Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	Argentométrico / SM 4500-CI-B
Turbiedad (NTU)	Nefelométrico / SM 2130 B	Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	Titrimétrico -EDTA/ SM 2340 C
Color (UPC)	Espectrofotométrico /SM 2120 B	Alcalinidad Total (mg CaCO ₃ /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 ₂ ⁻ /L)	Espectrofotométrico /SM 4500- B	Fosfatos (mg PO ₄ ⁻³ /L)	SM 4500 -P E
Sulfatos (mg SO ₄ ⁻² /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 ₃ ⁻ /L)	RODIER, Método del salicilato sódico
Molibdeno (mg Mo/L)	SM 3030 E y SM 3111 D	Fluoruros (mg F ⁻ /L)	SM 4500 -F ⁻ D
Zinc (mg Zn/L)	SM 3030 E y SM 3111 B	Carbono Orgánico (mg C/L)	SM 5310 C
Coliformes Totales (UFC/100 ml)	Filtración por Membrana /SM 9222B	E.coli (UFC/100 ml)	Filtración por Membrana /SM 9222B

Anexo 2 Formatos de evaluación de riesgos diligenciados

Todos los formatos incluidos en este anexo han sido tomados o adaptados de la Organización Mundial de la Salud¹

CAPTACIÓN SUPERFICIAL	
Ubicación	7°6.456' N 72°55.848'O
Fecha de inspección	9 Junio 2017
Muestra de agua	SI/NO <input checked="" type="radio"/>
Grado de coliformes fecales	-
DIAGNÓSTICO	RIESGO
Una población aguas arriba contamina la fuente	SI/NO <input checked="" type="radio"/>
El ganado aguas arriba contamina la fuente	<input checked="" type="radio"/> S/NO
Cultivos aguas arriba contaminan la fuente	SI/NO <input checked="" type="radio"/>
Existe riesgo de deslizamiento en el área de captación	<input checked="" type="radio"/> S/NO
Las instalaciones no están cercadas	<input checked="" type="radio"/> S/NO
La captación no está protegida por pantalla	<input checked="" type="radio"/> S/NO
El punto de abstracción carece de un método para garantizar la presión mínima	<input checked="" type="radio"/> S/NO
El sistema no tiene un filtro de arena/grava	<input checked="" type="radio"/> S/NO
El filtro no funciona correctamente	<input checked="" type="radio"/> S/NO
El caudal no es controlado	<input checked="" type="radio"/> S/NO
Puntaje total de riesgo	8/10
9-10: Muy alto, 6-8: Alto, 3-5: Medio, 0-2: Bajo	
Alto	

¹ WHO, "Water safety planning for small community water supplies: step-by-step risk management guidance for drinking-water supplies in small communities," 2012.

DISTRIBUCIÓN CERRADA	
Fecha de inspección	9 Julio 2017
Muestra de agua	SI/NO <input checked="" type="radio"/>
Grado de coliformes fecales	-

DIAGNÓSTICO	RIESGO
Existencia de fugas entre la fuente y el almacenamiento	SI/NO <input checked="" type="radio"/>
Las tapas de las cámaras de quiebre son susceptibles a contaminación	SI/NO <input checked="" type="radio"/>
La tapa del tanque de almacenamiento es susceptible a contaminación	<input checked="" type="radio"/> SI/NO
La tubería de ventilación es susceptible a contaminación	<input checked="" type="radio"/> SI/NO
Existen fugas en el tanque de almacenamiento	SI/NO <input checked="" type="radio"/>
Existen fugas en el sistema de distribución (almacenamiento-puntos de abastecimiento)	<input checked="" type="radio"/> SI/NO
Presencia de excretas cerca al punto de abastecimiento	<input checked="" type="radio"/> SI/NO
La estructura del punto de abastecimiento está deteriorada	<input checked="" type="radio"/> SI/NO
Contaminación debida al material de tubería	SI/NO <input checked="" type="radio"/>
Existen fugas en las válvulas	SI/NO <input checked="" type="radio"/>
Se tiene acceso a las válvulas	<input checked="" type="radio"/> SI/NO

Puntaje total de riesgo	6/11
-------------------------	------

9-11: Muy alto, 6-8: Alto, 3-5: Medio, 0-2: Bajo

_____ Alto

TIPO DE TRATAMIENTO	
Pantalla	SI/NO
Desarenador	SI/NO
Trampa de grasas	SI/NO
Pre-sedimentación	SI/NO
Pre-desinfección (Cloro/Ozono)	SI/NO
Carbón activado	SI/NO
Aireación	SI/NO
Coagulación y floculación	SI/NO
Sedimentación	SI/NO
Filtración	SI/NO
Desinfección	SI/NO

DESARENADOR	
Ubicación	7°6.456' N 72°55.848'O
Fecha de inspección	9 Julio 2017
Muestra de agua	SI/NO
Grado de coliformes fecales	-

DIAGNÓSTICO	RIESGO
Número de estructuras	1
Frecuencia de vaciado	Una vez al mes
Las instalaciones no están cercadas	SI/NO
Existe riesgo de deslizamiento en el área de sedimentación	SI/NO
No existe pantalla superior en la entrada y la salida	SI/NO
No existe tapa en la salida	SI/NO
El sistema no está diseñado para el caudal captado	SI/NO
Deterioro en la estructura	SI/NO

Puntaje total de riesgo	6/6
-------------------------	-----

5-6: Muy alto, 3-4: Alto, 1-2: Medio, 0: Bajo

Muy alto

ALMACENAMIENTO	
Ubicación	7°6.650'N y 72°55.843'O
Fecha de inspección	9 Julio 2017
Muestra de agua	SI/NO
Grado de coliformes fecales	-

DIAGNÓSTICO	RIESGO
Número de tanques	1
Capacidad del tanque	60 m ³
Dimensiones	5.7x5.7x2.2 [m]
Profundidad del agua en el tanque	1.2 [m]
Distancia entre entrada y salida	5.4 [m]
Presencia de deflectores deteriorados	SI/NO
Fugas en el tanque de almacenamiento	SI/NO
Existe riesgo de deslizamiento	SI/NO
Las instalaciones no están cercadas	SI/NO
Presencia de tapa deteriorada	SI/NO
Materiales ajenos en el tanque	SI/NO
La tubería de ventilación no está protegida	SI/NO

Puntaje total de riesgo	4/7
-------------------------	-----

6-7: Muy alto, 4-5: Alto, 2-3: Medio, 0-1: Bajo

Alto

Anexo 3 Resumen estadístico para variables de calidad

BOCATOMA

Medidas Físicoquímicas	Época Seca							Época Lluviosa						
	N	Media	DE	EE μ	Máx	Mín	Valor P	N	Media	DE	EE μ	Máx	Mín	Valor P
pH (Unidades de pH)	6	7.29	0.161	0.066	7.06	7.53	0.955	4	7.38	0.24	0.161	7.14	7.71	0.309
Turbiedad (NTU)	6	1.97	0.867	0.354	1	3	0.318	5	3.53	1.633	0.867	1.56	6	0.556
Color (UPC)	6	14	2.608	1.065	11	18	0.808	5	15.6	4.669	2.608	9	21	0.754
Conductividad (μ S/cm)	6	26.7	0.8	0.327	25.5	27.6	0.836	4	26.3	0.96	0.8	25.4	27.5	0.538
Sulfatos (mg SO ₄ ⁻² /L)	6	4.17	1.7	0.694	1	5.74	0.155	4	1.18	0.294	1.7	0.91	1.53	0.405
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	6	6.03	4.123	1.683	0.02	12.5	0.468	4	6.56	1.181	4.123	4.94	7.61	0.443
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	6	24.2	6.94	2.833	20	38	<0.05	5	30.2	4.919	6.94	26	38	0.267
Alcalinidad Total (mg CaCO ₃ /L)	6	43.92	6.824	2.786	33.56	51.3	0.663	4	34.83	1.247	6.824	33.2	36.03	0.613
Sólidos Totales (mg/L)	6	77.7	24.768	10.111	30	98	<0.05	5	23.6	9.839	24.768	14	36	0.312
Medidas Microbiológicas														
Coliformes Totales (UFC/100ml)	6	191	137.942	56.315	25	390	0.56	5	600.2	313.772	137.942	105	905	0.506
E. Coli (UFC/100 ml)	6	60.8	36.047	14.716	11	120	0.656	5	197.2	242.963	36.047	42	624	<0.05

TANQUE

Medidas Físicoquímicas	Época Seca							Época Lluviosa						
	N	Media	DE	EE μ	Máx	Mín	Valor P	N	Media	DE	EE μ	Máx	Mín	Valor P
Turbiedad (NTU)	5	2.79	0.916	0.41	1.82	4.25	0.419	4	5.94	6.781	3.391	1.84	16	<0.05
Medidas Microbiológicas														
Coliformes Totales (UFC/100ml)	6	253	57.421	23.442	180	320	0.489	4	826.5	166.64	83.32	620	1010	0.841
E. Coli (UFC/100 ml)	6	93	63.268	25.829	32	208	0.214	4	208	175.271	87.636	80	464	0.117

VMARD

Medidas Físicoquímicas	Época Seca							Época Lluviosa						
	N	Media	DE	EE μ	Máx	Mín	Valor P	N	Media	DE	EE μ	Máx	Mín	Valor P
Turbiedad (NTU)	5	7.7	5.434	2.43	2.6	15.7	0.518	5	6.99	5.309	2.374	1.85	13	0.241
Medidas Microbiológicas														
Coliformes Totales (UFC/100ml)	5	369.6	322.352	144.16	90	920	0.102	5	401	266.901	119.362	0	694	0.621
E. Coli (UFC/100 ml)	5	112	170.529	76.263	20	416	<0.05	5	81.6	66.549	29.762	0	168	0.786

Anexo 4 Pruebas estadísticas para evaluación de la variación estacional de las muestras

Resumen de la evaluación estadística de la diferencia entre los regímenes de precipitación para Bocatoma.

Medidas Físicoquímicos	Época Seca			Época Lluviosa			Diferencia	
	N	Media	IC de 95%	N	Media	IC de 95%	D	IC de 95%
pH (Unidades de pH)	6	7.29	(7.12, 7.46)	4	7.38	(6.99, 7.76)	-0.083	(-0.463, 0.297)
Turbiedad (NTU)	6	1.97	(1.06, 2.88)	5	3.53	(1.50, 5.56)	-1.564	(-3.649, 0.522)
Color (UPC)	6	14.0	(11.3, 16.7)	5	15.6	(9.8, 21.4)	-1.6	(-7.33, 4.13)
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	6	26.7	(25.9, 27.5)	4	26.3	(24.8, 27.8)	0.37	(-1.12, 1.87)
Sulfatos ($\text{mg SO}_4^{-2}/\text{L}$)	6	4.17	(2.39, 5.96)	4	1.18	(0.71, 1.65)	2.99	(1.17, 4.81)
Cloruros ($\text{mg Cl}^{-}/\text{L}$)	6	6.03	(1.70, 10.35)	4	6.56	(4.68, 8.44)	-0.53	(-4.90, 3.82)
Dureza Total ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$)	6	24.2	(16.9, 31.4)	5	30.2	(24.1, 36.3)	-6.03	(-14.30, 2.23)
Alcalinidad Total ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$)	6	43.92	(36.8, 51.1)	4	34.83	(32.8, 36.8)	9.09	(1.75, 16.43)
Sólidos Totales (mg/L)	6	77.7	(51.7, 103.7)	5	23.6	(11.4, 35.8)	54.07	(27.08, 81.05)
Medidas Microbiológicas								
Coliformes Totales (UFC/100mL)	6	191.0	(46.2, 335.8)	5	600.2	(210.6, 989.8)	-409.2	(-797.9, -20.52)
E. Coli (UFC/100 ml)	6	60.8	(23.0, 98.7)	5	197.2	(-104.5, 498.9)	-136.37	(-440.8, 168.1)

* D: Diferencia (Época Seca-Época Lluviosa), IC: Intervalo de Confianza, N: Número de datos.

Resumen de la evaluación estadística de la diferencia los regímenes de precipitación para Tanque.

Medidas Físicoquímicos	Época Seca			Época Lluviosa			Diferencia	
	N	Media	IC de 95%	N	Media	IC de 95%	D	IC de 95%
Turbiedad (NTU)	5	2.79	(1.66, 3.93)	4	5.94	(-4.85, 16.73)	-3.15	(-14.01, 7.72)
Medidas Microbiológicas								
Coliformes Totales (UFC/100ml)	6	253.0	(192.7, 313.3)	4	826.5	(561.3, 1091.7)	-573.5	(-849.0, -298.0)
E. Coli (UFC/100 ml)	6	93.0	(26.6, 159.4)	4	208.0	(-70.9, 486.9)	-115.0	(-405.8, 175.8)

* D: Diferencia (Época Seca-Época Lluviosa), IC: Intervalo de Confianza, N: Número de datos.

Resumen de la evaluación estadística de la diferencia entre los regímenes de precipitación para VMARD.

	Época Seca			Época Lluviosa			Diferencia	
	N	Media	IC de 95%	N	Media	IC de 95%	D	IC de 95%
Medidas Físicoquímicos								
Turbiedad (NTU)	5	7.70	(0.96, 14.45)	5	6.99	(0.39, 13.58)	0.72	(-7.32, 8.75)
Medidas Microbiológicas								
Coliformes Totales (UFC/100ml)	5	369.6	(-30.6, 769.9)	5	401.0	(69.6, 732.4)	-31.4	(-473.9, 411.2)
E. Coli (UFC/100 ml)	5	112.0	(-99.7, 323.7)	5	81.6	(-1.0, 164.2)	30.4	(-180.0, 240.8)

* D: Diferencia (Época Seca-Época Lluviosa), IC: Intervalo de Confianza, N: Número de datos,

VMARD: Vivienda más alejada de la red de distribución.

Anexo 5 Pruebas estadísticas para evaluación espacio-temporal de la calidad del agua

Valor P de prueba de Kruskal Wallis

Resumen de resultados (Ho: ML=MNL)

Punto toma de muestra	Parámetro	Turbiedad	Coliformes Totales	E. Coli
	<i>Bocatoma</i>		0.0552	0.0552
<i>Tanque</i>		0.8065	0.0105	0.1658
<i>VMARD</i>		0.6015	0.6015	0.7540