

DIAGNÓSTICO PRELIMINAR PARA EVALUAR EL ESTADO DEL SUMINISTRO DEL  
SISTEMA ACUEDUCTO INTERVEREDAL EL HOGAR DEL MUNICIPIO DE  
POPAYÁN

JULIANA MARCELA CASANOVA HERNÁNDEZ  
CÓDIGO N° 104912020754

DIANA MARIA QUINTERO BEDOYA  
CÓDIGO N°49101176



UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN - CAUCA  
2019

DIAGNÓSTICO PRELIMINAR PARA EVALUAR EL ESTADO DEL SUMINISTRO DEL  
SISTEMA ACUEDUCTO INTERVEREDAL EL HOGAR DEL MUNICIPIO DE  
POPAYÁN

Trabajo de grado en modalidad investigación para optar al título profesional de Ingeniero  
Ambiental

JULIANA MARCELA CASANOVA HERNÁNDEZ  
CÓDIGO N° 104912020754

DIANA MARIA QUINTERO BEDOYA  
CÓDIGO N°49101176

DIRECTOR:  
Ing. LUIS JORGE GONZÁLEZ MUÑOZ  
Departamento de Hidráulica

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN - CAUCA  
2019

## **NOTA DE ACEPTACIÓN**

El Director y los Jurados han evaluado este documento, escuchado a sus autoras y lo encuentran satisfactorio, por lo cual autorizan a las postulantes para que desarrollen las gestiones administrativas para optar al título de Ingeniera Ambiental.

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

---

**ING. LUIS JORGE GONZÁLEZ MUÑOZ**  
Firma del Director

Popayán, 11 de octubre del 2019

## **AGRADECIMIENTOS**

### **Juliana:**

A Dios por guiar e iluminar mi camino y permitirme obtener este triunfo.  
A mis padres por su presencia incondicional en cada etapa de mi vida, por su amor infinito, por creer y confiar en mí, por sus sacrificios de amor, por su inmensa dedicación para con sus hijos, gracias por dejarme vivir mi vida en libertad y con amor.  
A mis hermanos por ser mis cómplices y compañeros de vida, por el eterno apoyo y cariño, por ser soporte, impulso y aliento.  
A mi abuela y mi nona por ser ejemplo mágico de mujer, valentía, inspiración, berraquera y amor eterno.  
A mi abuelo y mi nono por que siempre sentí brillar su presencia y cobijo.  
A mis amigos por ser incondicionales, por su voz de aliento y cariño, por el aguante brindado, por las alegrías y tristezas compartidas, por que siempre me escucharon y nunca me soltaron, por ser familia.

### **Diana:**

En primer lugar, a Dios por darme vida, fuerzas y llenar mi vida de luz, fe y esperanza para ir a la conquista de los sueños que tengo por cumplir.  
A mi familia por su apoyo incondicional, creer en mí y hacer posible gracias a sus esfuerzos y sacrificios que culminara esta meta.  
A mis amigos y compañeros con los que compartí a lo largo de mis estudios universitarios, por su cariño, apoyo y momentos únicos que se volvieron inolvidables.  
A mis profesores por brindarme los conocimientos necesarios para desempeñarme como profesional y a todas las personas que de una u otra manera aportaron de su tiempo y conocimientos para permitirme crecer de manera personal y profesional.

Al Ingeniero Luis Jorge González por la confianza, el apoyo y por orientar el desarrollo de este proyecto. Al Ingeniero Víctor Zúñiga por su acompañamiento, dedicación y buena disposición.

A la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. y la Fundación Procuencia Río Las Piedras por permitir el desarrollo de este trabajo.

Por el interés, apoyo y tiempo brindado, agradecemos a: Jesús Camacho y Jose Floesmiro presidente y vicepresidente de la junta de acción comunal de la vereda Claridad, a Marcelina Lame, Patricia Meneses y Antonio Salazar, presidentes de la JAC de las veredas El Hogar, Pisoje Alto y San Alfonso.

A todos los que durante las jornadas de campo nos brindaron su guía, acompañamiento y apoyo, en la realización de las diferentes actividades.

## CONTENIDO

	<b>Pág</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	2
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	3
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	4
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
<b>4. MARCO REFERENCIAL</b> .....	5
4.1. MARCO LEGAL.....	5
4.2. MARCO TEÓRICO.....	6
4.2.1. Agua y su distribución.....	6
4.2.2. Factores que Afectan la Calidad y Disponibilidad del Agua.....	7
4.2.3. Recurso Hídrico Municipio de Popayán .....	7
4.2.4. Agua potable y servicios públicos en Popayán .....	8
4.2.5. Acueducto interveredal El Hogar.....	8
4.2.6. Aspectos generales del corregimiento Santa Barbara.....	10
4.2.6.1. Vereda Claridad.....	11
4.2.6.2. Vereda El Hogar.....	12
4.2.6.3. Vereda Pisojé Alto.....	12
4.2.6.4. Vereda San Alfonso.....	13
<b>5. METODOLOGÍA</b> .....	14
5.1. SOCIALIZACIÓN DEL PROYECTO CON LA COMUNIDAD.....	14
5.2. CONDICIONES DE CALIDAD .....	15
5.2.1. Toma de muestras para análisis fisicoquímicos y bacteriológicos.....	15
5.2.2. Cálculo del índice de riesgo de la calidad IRCA.....	18
5.3. OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA DEL CORREGIMIENTO DE SANTA BÁRBARA.....	20

5.3.1. Aforos de caudal.....	20
5.3.2. Estimación de oferta hídrica.....	22
5.2.2.1. Tratamiento de datos.....	23
5.2.2.2. Precipitación y temperatura media en un área.....	25
5.2.2.3. Balance hídrico Método de Thornthwaite.....	26
5.3.3. Estimación demanda hídrica.....	28
5.3.3.1. Estimación de la población futura.....	28
5.3.3.1. Dotación neta.....	31
5.3.3.2. Dotación bruta.....	31
5.3.3.3. Caudal medio diario.....	32
5.3.3.4. Caudal máximo diario.....	32
5.3.3.5. Caudal máximo horario.....	32
5.3.4. Índice de uso de agua IUA.....	33
5.4. CONDICIÓN ACTUAL DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA.....	33
<b>6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>35</b>
6.1. CONDICIONES DE CALIDAD.....	36
6.1.1. Análisis fisicoquímicos y bacteriológicos.....	36
6.1.2. Índice de riesgo de la calidad IRCA.....	38
6.1.3. Usos múltiples.....	39
6.2. CONDICIONES DE OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA.....	41
6.2.1. Aforos de caudal.....	41
6.2.2. Oferta hídrica.....	43
6.2.2.1. Isoyetas, mapas de precipitación.....	43
6.2.2.2. Isotermas, mapas de temperatura.....	44
6.2.2.3. Balance hídrico Método Thornthwaite.....	46
6.2.2.4. Oferta hídrica total superficial.....	51
6.2.2.5. Oferta Hídrica disponible.....	51

6.2.2.6. Caudal ambiental.....	51
6.2.2.7. Oferta hídrica neta.....	51
6.2.3. Demanda hídrica.....	52
6.2.3.1. Estimación de población futura.....	52
6.2.3.2. Dotación bruta.....	53
6.2.3.3. Caudal medio diario.....	53
6.2.3.4. Caudal máximo diario.....	53
6.2.3.5. Caudal máximo horario.....	53
6.2.4. Índice de uso de agua IUA.....	56
<b>6.3. CONDICIÓN ACTUAL DE LOS COMPONENTES.....</b>	<b>57</b>
6.3.1. Acueducto interveredal El Hogar.....	57
6.3.1.1. Bocatoma y desarenador.....	57
6.3.1.2. Conducción.....	61
6.3.1.3. Tanque de almacenamiento.....	64
6.3.2. Acueductos veredales.....	66
6.3.2.1. Vereda Claridad.....	66
6.3.2.2. Vereda El Hogar.....	69
6.3.2.3. Vereda Pisojé Alto.....	72
6.3.2.4. Vereda San Alfonso.....	74
<b>7. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>77</b>
7.1. ACUEDUCTO INTERVEREDAL EL HOGAR.....	77
7.2. ACUEDUCTOS VEREDALES.....	79
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>81</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXOS</b>	

## LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Hidrografía del Municipio de Popayán.....	7
Tabla 2 . Puntos de muestreo fisicoquímicos y bacteriológicos.....	16
Tabla 3. Coordenadas de los puntos de muestreo.....	16
Tabla 4. Puntaje de riesgo.....	18
Tabla 5. Clasificación del nivel de riesgo en la salud según el IRCA.....	19
Tabla 6. Puntos de aforo.....	20
Tabla 7. Estaciones seleccionadas.....	22
Tabla 8. Corrección de datos faltantes estación El Hogar.....	24
Tabla 9. Datos de población.....	29
Tabla 10. Nivel de complejidad.....	30
Tabla 11. Métodos de cálculo para la proyección de la población.....	30
Tabla 12. Dotación neta máxima por habitante según la altitud.....	31
Tabla 13. Rangos y categorías Índice de uso de agua.....	33
Tabla 14. Puntos de muestreo.....	36
Tabla 15. Resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos.....	37
Tabla 16. Datos y resultados cálculo del IRCA.....	38
Tabla 17. Resultado de los aforos del acueducto interveredal El Hogar.....	41
Tabla 18. Resultado de los aforos del acueducto veredal Claridad.....	41
Tabla 19. Resultado de los aforos del acueducto veredal El Hogar.....	42
Tabla 20. Resultado de los aforos del acueducto veredal Pisojé Alto.....	42
Tabla 21. Resultado de los aforos del acueducto tanque de almacenamiento de San Alfonso.....	42
Tabla 22. Valores de precipitaciones y temperaturas medias mensuales.....	45
Tabla 23. Balance hídrico.....	48
Tabla 24. Valores de exceso y caudal medio mensual.....	50

Tabla 25. Resultados de las demandas futuras de consumo de agua de la población beneficiada con el acueducto interveredal.....	54
Tabla 26. Datos de diseño de las veredas pertenecientes al acueducto interveredal.....	54
Tabla 27. Resultados de demandas de las veredas del corregimiento Santa Bárbara...	55
Tabla 28. Índice de uso de agua anual.....	56
Tabla 29. Estructura de la bocatoma.....	59
Tabla 30. Estructura del desarenador.....	60
Tabla 31. Dimensionamiento estructuras acueducto veredal Claridad.....	67
Tabla 32. Dimensionamiento estructuras acueducto veredal El Hogar.....	70
Tabla 33. Dimensionamiento estructuras acueducto veredal Pisojé Alto.....	73
Tabla 34. Dimensionamiento tanque de almacenamiento vereda San Alfonso.....	75
Tabla 35. Resumen de falencias en el sistema acueducto interveredal El Hogar....	76

## LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Ubicación del corregimiento de Santa Bárbara en el municipio de Popayán	9
Figura 2. Red hídrica corregimiento de Santa Bárbara del municipio de Popayán.....	10
Figura 3. Delimitación de las veredas del corregimiento.....	11
Figura 4. Localización de componentes del sistema acueducto interveredal El Hogar	14
Figura 5. Socialización del proyecto.....	15
Figura 6. Georeferenciación de puntos de muestreo.....	17
Figura 7. Muestreo Tanque de almacenamiento vereda El Hogar.....	17
Figura 8. Muestreo Tanque de almacenamiento vereda Pisojé Alto.....	17
Figura 9. Muestra Bocatoma Pisojé Alto.....	17
Figura 10. Muestras entregadas a la CRC para análisis de la DBO.....	17
Figura 11. Aforo aguas arriba de la bocatoma del acueducto interveredal.....	21
Figura 12. Aforo aguas abajo de la bocatoma del acueducto interveredal.....	21
Figura 13. Aforo sobrantes tanque de almacenamiento vereda San Alfonso.....	21
Figura 14. Acueducto vereda El Hogar.....	21
Figura 15. Aforo tanque de almacenamiento vereda Pisojé Alto.....	22
Figura 16. Aforo acueducto vereda Claridad.....	22
Figura 17. Ubicación de las Estaciones en el corregimiento de Santa Bárbara.....	23
Figura 18. Centroides del corregimiento Santa Barbara.....	26
Figura 19. Isoyeta enero.....	43
Figura 20. Isoyeta febrero.....	43
Figura 21. Isoyeta marzo.....	43
Figura 22. Isoyeta abril.....	43
Figura 23. Isoyeta mayo.....	43
Figura 24. Isoyeta junio.....	43
Figura 25. Isoyeta julio.....	43

Figura 26. Isoyeta agosto.....	43
Figura 27. Isoyeta septiembre.....	43
Figura 28. Isoyeta octubre.....	44
Figura 29. Isoyeta noviembre.....	44
Figura 30. Isoyeta diciembre.....	44
Figura 31. Isotherma enero.....	44
Figura 32. Isotherma febrero.....	44
Figura 33. Isotherma marzo.....	44
Figura 34. Isotherma abril.....	44
Figura 35. Isotherma mayo.....	44
Figura 36. Isotherma junio.....	44
Figura 37. Isotherma julio.....	46
Figura 38. Isotherma agosto.....	45
Figura 39. Isotherma septiembre.....	45
Figura 40. Isotherma octubre.....	45
Figura 41. Isotherma noviembre.....	45
Figura 42. Isotherma diciembre.....	45
Figura 43. Identificación de ganadería cerca a la bocatoma.....	58
Figura 44. Válvula de ventosa.....	62
Figura 45. Viaducto metálico 4.....	63
Figura 46. Válvula de lavado 4”.....	63
Figura 47. Cámara de quiebre.....	63
Figura 48. Llave de paso y válvula de lavado 3”.....	63
Figura 49. Tubería que atraviesa la alcantarilla.....	63
Figura 50. Tubería que atraviesa la alcantarilla.....	63
Figura 51. Bebedero del ganado.....	64
Figura 52. Entrada de flujo al tanque de almacenamiento tubería 3” PVC.....	65

Figura 53. Sobrantes del tanque de almacenamiento tubería 3” PVC.....	65
Figura 54. Tanque de almacenamiento.....	66
Figura 55. Acueducto Vereda Claridad.....	68
Figura 56. Malla de cubrimiento de la bocatoma .....	68
Figura 57. Sobrantes Vereda Claridad.....	68
Figura 58. Planta Desarenadora 1 vereda El Hogar.....	71
Figura 59. Planta Desarenadora 2 vereda El Hogar.....	71
Figura 60. Captación vereda El Hogar.....	71
Figura 61. Captación vereda El Hogar.....	71
Figura 62. Captación Acueducto de la vereda Pisojé Alto.....	74
Figura 63. Captación Acueducto de la vereda Pisojé Alto.....	74
Figura 64. Acueducto de la Vereda Pisojé Alto.....	74
Figura 65. Entrada de flujo tanque de almacenamiento vereda San Alfonso.....	75
Figura 66. Sobrantes tanque de almacenamiento vereda San Alfonso.....	75

## LISTA DE DIAGRAMAS

	Pág
Diagrama 1. Sistema acueducto interveredal El Hogar .....	9

## LISTA DE GRÁFICOS

	Pág
Gráfico 1. Regresión lineal estación El Hogar año 2013 .....	24
Gráfico 2. Representación gráfica del balance hídrico mensual.....	48
Gráfico 3. Representación gráfica del balance hídrico mensual.....	49
Gráfico 4. Comportamiento medio mensual del caudal en la zona de estudio.....	50

## INTRODUCCIÓN

La disponibilidad del agua y el acceso adecuado por medio de sistemas de acueductos, especialmente en las zonas rurales, representan condiciones fundamentales para garantizar la salud y bienestar al desarrollo de las comunidades. Los acueductos veredales se deben fijar como una unidad capaz de dar cumplimiento en calidad y continuidad del servicio de agua para la población rural con proyecciones hacia la mejora de las condiciones desde la captación del líquido hasta su distribución <sup>16</sup>, ya que el agua a través del tiempo más que un derecho se ha convertido en una necesidad básica, de modo que puedan satisfacer sus necesidades esenciales de consumo y uso doméstico, además para el desarrollo agrícola y pecuario a mayor o menor escala.

El Acueducto Interveredal el Hogar del municipio de Popayán, ubicado en la vereda Santa Helena del corregimiento de Santa Bárbara cuenta en la actualidad con: bocatoma, desarenador y un tanque de almacenamiento principal de aproximadamente 129.000 Litros de volumen. El acueducto fue diseñado para apoyar el abastecimiento de los acueductos veredales de: Pisojé Alto, El Hogar y Claridad y dar cubrimiento total a la vereda San Alfonso, así como también a los dueños de los predios por donde pasa el sistema de conducción para un total aproximado de 261 usuarios. El acueducto está en funcionamiento desde el mes de noviembre del 2012, su recorrido de 12 Km inicia desde la bocatoma que capta el agua en la quebrada San Antonio hasta el tanque de almacenamiento ubicado en la vereda Pisojé Bajo.

Dada la importancia que tiene este sistema para el abastecimiento de agua en cuatro veredas del corregimiento Santa Bárbara se propuso conocer el estado actual del sistema acueducto interveredal El Hogar, para lo cual se realizó un estudio de diferentes factores entre los cuales se contempla: calidad y cantidad del recurso hídrico, medición de caudal, diagnóstico preliminar de los componentes del sistema, además de la estimación de la oferta hídrica y demanda del corregimiento determinando la relación oferta-demanda que permite realizar la evaluación del recurso hídrico, esto mediante la gestión y apoyo del Acueducto y Alcantarillado de Popayán y la Fundación procuencia Río las Piedras.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En Colombia, a nivel de las zonas urbanas existen empresas abastecedoras de agua que surten este servicio público de manera continua en cantidad y calidad, no sucede lo mismo en las zonas rurales quienes en la mayoría de los casos es la misma comunidad la que a través de acueductos individuales y/o comunitarios suplen las necesidades en la prestación de este servicio básico tan importante sin contar con la capacidad técnica, operativa y financiera para abastecer de agua potable a la población; por tal motivo estos acueductos no cuentan con sistemas de tratamiento de agua que permitan prevenir y evitar enfermedades asociadas a la ingesta de agua cruda o que no cuentan con ningún tipo de tratamiento previo, como tampoco con estudios que permitan conocer el estado de la calidad de agua que la población consume. De igual manera carecen de información acerca de la cantidad de agua que consumen para uso doméstico u otras actividades que requieran del recurso y la oferta hídrica que presentan las fuentes de las cuales se abastecen, lo cual puede poner en riesgo la sostenibilidad del recurso en el tiempo.

Debido a que no se cuenta con información de calidad y cantidad del agua en este acueducto es importante realizar análisis que determinen parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua que está siendo suministrada a las veredas, esto con el fin de tener una visión debidamente sustentada con estudios técnicos sobre la eficiencia que presenta actualmente el Acueducto Interveredal El Hogar. De igual manera es necesario determinar la oferta y demanda hídrica con el fin de analizar si esta es o no suficiente para el número de usuarios de la zona de estudio teniendo en cuenta la resolución 330 del 2017 de la cual se adoptan las dotaciones netas y que al mismo tiempo cumpla con lo establecido por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento básico, en cuanto a consumo básico.

## 2. JUSTIFICACIÓN

La importancia de conocer el caudal de oferta y demanda de las fuentes superficiales de agua, especialmente en épocas de estiaje constituyen una herramienta fundamental para definir su uso como fuente de abastecimiento de agua para las comunidades rurales, sin que se vea afectado el recurso, es decir, teniendo en cuenta las condiciones de disponibilidad del agua sin que se altere la vida acuática que habita en él. Adicionalmente nos permite establecer si la fuente hídrica cuenta con el caudal suficiente para suministrar el servicio a todos los beneficiarios del área de influencia, de tal forma que se pueda asegurar una continuidad en la prestación del servicio.

Teniendo en cuenta el desabastecimiento y la carencia del preciado líquido en una gran parte de la población mundial, los acueductos rurales deben encaminarse hacia un mejoramiento continuo enfatizando en el uso racional del agua, lo cual se puede garantizar con lineamientos claros que establezcan las reglas y controles que se debe dar por parte de la administración del acueducto y de la comunidad en general.

La importancia de este estudio radica en realizar un aporte significativo en información a partir de los resultados obtenidos del sistema de acueducto interveredal El Hogar, enfocado a identificar el funcionamiento del sistema, evaluando la capacidad actual del sistema para suministrar el servicio eficientemente en cuanto a calidad y continuidad, así como también lo relacionado con los resultados obtenidos para el recurso en el corregimiento Santa Bárbara según los datos de crecimiento poblacional, dotación neta, demanda de agua, oferta hídrica, determinando la capacidad de suplir la demanda actual y futura para abastecer las necesidades de las comunidades beneficiadas cuidando la conservación del caudal ambiental; este aporte es significativo para que se lleven a cabo eventuales programas de manejo integral que permitan la sostenibilidad del recurso y al tiempo garanticen que tanto la infraestructura del sistema como la calidad del recurso se mantenga en buenas condiciones a lo largo del tiempo, propiciando que se puedan implementar tecnologías de potabilización de agua.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Realizar un diagnóstico preliminar para evaluar el estado del suministro del sistema Acueducto Interveredal El Hogar del Municipio de Popayán.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar las condiciones de calidad del agua en el sistema acueducto interveredal El Hogar.
- Determinar la oferta y demanda hídrica del corregimiento Santa Bárbara del municipio de Popayán.
- Identificar la condición actual de los componentes del sistema de abastecimiento de agua acueducto Interveredal El Hogar, de acuerdo a la normatividad vigente.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1. MARCO LEGAL

**Título II- Capítulo 3- Constitución Política de Colombia- De los Derechos Colectivos y del Ambiente Titulo XII-Capitulo 5-De la finalidad social del estado y de los servicios públicos.** En los Artículos 70 y 365, se plantea la regulación de la calidad de los bienes y servicios prestados a todos los colombianos.

**Ley 99 de 1993:** Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente. En esta ley se plantea el nacimiento del ministerio del Medio Ambiente y el SINA con el objeto de conservar los recursos naturales, y se establecen las responsabilidades de las CAR's a nivel regional.

**Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984:** reglamentario de la Ley 09/79. Establece los principios del ordenamiento del recurso hídrico, normaliza los usos del agua, los criterios de calidad para cada uso, reglamenta las 35 concesiones y legisla sobre los vertimientos de residuos líquidos, establece normas de vertimiento, así como los procedimientos sobre permisos de vertimiento y autorizaciones sanitarias, tasas retributivas, estudios de impacto ambiental, vigilancia, control y sanciones.

**Ley 373 de 1997:** Define la obligatoriedad de tener un programa de uso eficiente y ahorro de agua, a nivel regional y nacional. Reducción de pérdida, reuso obligatorio de agua, aprovechamiento de aguas lluvias. Se entiende por programa para el uso eficiente y ahorro del agua el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico.

**Reglamento Técnico del Agua Potable y Saneamiento Básico- RAS 2000- Sección II- Título B- Sistemas de Acueductos.** En este manual se establecen los lineamientos técnicos para el diseño y construcción de sistemas de conducción de agua y saneamiento básico, en conjunto con la aplicación de buenas prácticas de ingeniería basándose en proyecciones reales.

**Resolución 2115 de 2007-** Características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Se establecen los parámetros mínimos de calidad fisicoquímicos, que deben tener las aguas destinadas al consumo humano.

**Resolución 2320 de 2009.** Por la cual se modifica parcialmente la Resolución número 1096 de 2000 que adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS

**Decreto 3930 de 2010.** Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la ley 9° de 1979, así como el capítulo II del Título VI – Parte III – Libro II del Decreto – Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

**Resolución 0330 de 08 de junio de 2017.** “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”.

**Resolución 0844 de 2018.** Por la cual se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales que se adelanten bajo los esquemas diferenciales definidos en el capítulo 1, del Título 7, parte 3, del libro 2 del Decreto 1077 de 2015.

## **4.2. MARCO TEÓRICO**

**4.2.1. Agua y su distribución:** El agua es una sustancia elemental que permite la vida en nuestro planeta, es un líquido incoloro, inodoro e insípido, que en grandes masas adquiere un color azul. La composición y estructura molecular del agua son responsables de las propiedades físicoquímicas que la distinguen de otras sustancias.

El agua cubre el 71 % de la superficie de la corteza terrestre. Se localiza principalmente en los océanos, donde se concentra el 96,5 % del agua total. A los glaciares y casquetes polares les corresponde el 1,74 %, mientras que los depósitos subterráneos (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales concentran el 1,72 %. El restante 0,04 % se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos. Se estima que aproximadamente el 70 % del agua dulce se destina a la agricultura<sup>6</sup>. El agua en la industria absorbe una media del 20 % del consumo mundial, empleándose en tareas de refrigeración, transporte y como disolvente en una gran variedad de procesos industriales. El consumo doméstico absorbe el 10 % restante. El acceso al agua potable se ha incrementado durante las últimas décadas en prácticamente todos los países. Sin embargo, estudios de la FAO estiman que uno de cada cinco países en vías de desarrollo tendrá problemas de escasez de agua antes de 2030; en esos países es vital un menor gasto de agua en la agricultura modernizando los sistemas de riego.

Los problemas relacionados con el agua se hacen cada vez más visibles en todo el mundo (ADTI, 2003). La escasez generalizada de este recurso, su destrucción gradual, su creciente contaminación, la expansión económica, el crecimiento demográfico, acompañados de los estilos de vida de alto consumo y producción excesiva de residuos han llevado al empleo cada vez mayor de agua (ADTI, 2003). En la actualidad muchos ríos se usan tanto que se secan antes de alcanzar el mar; el exceso de extracción de agua está agotando los acuíferos antes de que se recuperen de forma natural: los humedales disminuyen su tamaño; y la contaminación hace que muchas fuentes de agua no sirvan ni para regar cultivos. (ADTI,

2003). Esto ha llevado a que distintas instituciones involucradas en la regulación ambiental a nivel nacional formulen estrategias de tipo legal y técnico, para afrontar las distintas problemáticas asociadas con el acceso al agua, en especial en regiones del país como la Costa Atlántica. El cambio en la mentalidad de las personas es vital para lograr implementar planes y programas encaminados a la protección y uso eficiente de los recursos naturales. Ya que al tener una concepción clara de la problemática que se está tratando, se obtendrán resultados favorables y la misma población beneficiada será garante del cumplimiento y mejoramiento de dichos programas, velando por la protección de los recursos naturales (Yamanaka, 2003).

**4.2.2. Factores que Afectan la Calidad y Disponibilidad del Agua:** El aumento de la población, la masiva urbanización, el vertido de nuevos patógenos y productos químicos procedentes de las industrias y el auge de especies invasoras, son factores clave que contribuyen al deterioro de la calidad del agua en todo el mundo, a los cuales se está sumando el cambio climático. El aumento de las temperaturas y los cambios en los patrones hidrológicos (sequías e inundaciones) afectan a la calidad del agua y agravan su contaminación por sedimentos, nutrientes, carbono orgánico disuelto, agentes patógenos, pesticidas, etc. Además, el aumento del nivel del mar provoca la salinización de aguas subterráneas y estuarios, reduciendo la disponibilidad de agua dulce para consumo humano y para los ecosistemas en las zonas costeras.

**4.2.3. Recurso Hídrico Municipio de Popayán:** El sistema hidrográfico del municipio comprende corrientes que descienden del Macizo Colombiano; y van a desembocar al río Cauca que es la arteria principal, el cual nace en el extremo sur del municipio de Puracé en la Laguna del Buey, atraviesa el municipio de Popayán de sur a norte para cambiar su dirección en el casco urbano y atravesarlo de Este a Oeste. En la tabla 1, se relacionan las principales corrientes hídricas que se unen a la cuenca del río Cauca en el municipio de Popayán.

**Tabla 1.** Hidrografía del Municipio de Popayán.

Área hidrográfica	Zona hidrográfica	Subzona hidrográfica
Magdalena-Cauca	Cauca	Río Las Piedras
		Río Molino
		Río Pisojé
		Río Gualimbío
		Río Hondo
		Río Palacé

**Fuente:** Estudio nacional del agua (ENA) 2014.

**4.2.4. Agua Potable y Servicios Públicos en Popayán:** La ciudad tiene como principales fuentes hídricas los ríos Blanco, Ejido, Molino, Las Piedras, Cauca, Negro, Mota, PISOJÉ, CLARETE, SATÉ y HONDO, cuatro de estas abastecen las diferentes plantas de tratamiento de su acueducto municipal que es la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. para llevar agua apta para el consumo humano a casi la totalidad de su población luego de ser tomada de las siguientes fuentes de abastecimiento: subcuenca Molino, subcuenca Palacé, subcuenca Piedras y subcuenca PISOJÉ, incluida su conexión y medición y en las actividades complementarias, tales como captación de agua, procesamiento, tratamiento, almacenamiento, conducción y transporte. El servicio público de alcantarillado se refiere a la recolección municipal de residuos principalmente líquidos por medio de tuberías y conductos a las actividades complementarias de transporte, tratamiento y disposición final de tales residuos.

#### **4.2.5. Acueducto interveredal El Hogar**

El Acueducto interveredal el Hogar está ubicado en la vereda Santa Helena, perteneciente al corregimiento de Santa Bárbara (Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Popayán, 2002), este capta el agua de la quebrada San Antonio en la subcuenca del Río Molino. El acueducto fue diseñado para apoyar el abastecimiento de los acueductos veredales de: Claridad, El Hogar y PISOJÉ Alto, y dar cubrimiento total a la vereda San Alfonso y parte alta de El Hogar. Las veredas Claridad, El Hogar y PISOJÉ Alto, cuentan cada una con un acueducto veredal que no presenta componentes de tratamiento para agua potable.

De acuerdo a una entrevista realizada a la presidenta de la junta de acción comunal de la vereda El Hogar, Marcelina Lame, el acueducto empezó su funcionamiento en noviembre del 2012 a pesar de que los estudios se realizaron desde el 2000, esto debido a la falta de financiación; actualmente los presidentes de cada vereda cobran una cuota mensual que oscila entre los \$2000 y \$5000, valor que es usado para pagarle a la persona que realiza el mantenimiento y para tener una base monetaria en caso de algún daño o inconveniente. No cuenta con vías de acceso pavimentadas sin embargo el acceso a la bocatoma no representa mayor dificultad, se debe transitar por predios de terceros.

El sistema está constituido por: bocatoma con captación tipo toma de rejilla, desarenador y tanque de almacenamiento, existe una distancia aproximada de 12 kilómetros entre la bocatoma y el tanque de almacenamiento, el cual está ubicado en la vereda PISOJÉ Bajo. A continuación se presentan las coordenadas y altitud de los componentes:

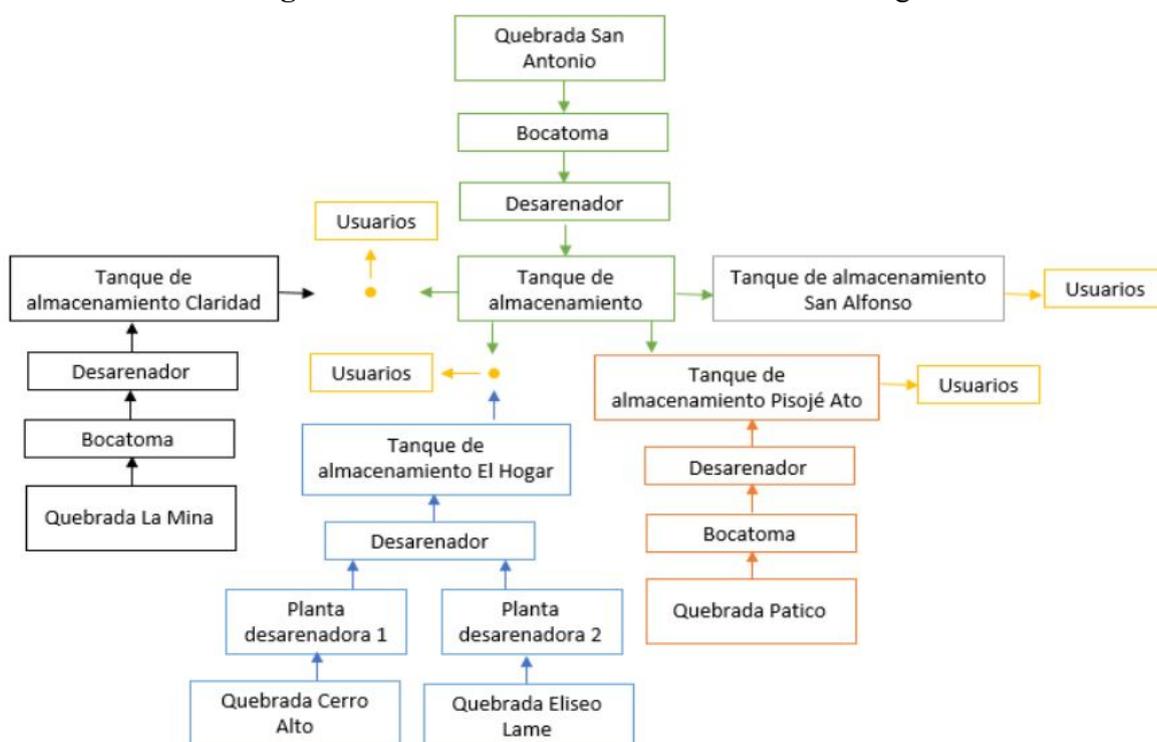
- Bocatoma:  
Latitud: 2°23'34.81"N Longitud: 76°31'19.15"O Altitud: 2333 m.s.n.m.
- Desarenador:  
Latitud: 2°23'34.98"N Longitud: 76°31'19.50"O Altitud: 2332 m.s.n.m.
- Tanque de almacenamiento:  
Latitud: 2°25'26.26"N Longitud: 76°32'45.93"O Altitud: 2174 m.s.n.m.

**Figura 1.** Ubicación del corregimiento Santa Bárbara en el municipio de Popayán.



**Fuente:** Dane

**Diagrama 1.** Sistema acueducto interveredal El Hogar.



**Fuente:** Elaboración propia.

**4.2.6. Aspectos generales del corregimiento Santa Bárbara:** Las veredas que pertenecen al acueducto interveredal El Hogar se encuentran ubicadas en el corregimiento de Santa Bárbara, el cual cuenta con un área de 4385,234 Ha (DANE). La mayor parte de la zona pertenece al piso bioclimático subandino con una altura entre los 1.800 y 2000 metros, con un clima medio húmedo y una zona menor que se ubica en el piso andino, con un clima frío húmedo. El territorio del corregimiento está conformado por la cuenca del Río Cauca, sus principales quebradas son: PISOJÉ, la Ciénaga, Matarredondo, El Zanjón, El Prado, La Mina, La Cabrera y el Río Molino. (POT Popayán, 2002).

**Figura 2.** Red hídrica corregimiento de Santa Bárbara del municipio de Popayán.



**Fuente:** Corporación autónoma regional del Cauca (CRC).

En la figura 3 se puede observar el mapa del corregimiento Santa Bárbara y en él las veredas que pertenecen al corregimiento, los cuales se encuentran diferenciados como se indica a continuación:

- |                |                  |
|----------------|------------------|
| 1. El Paraiso  | 6. Santa Bárbara |
| 2. PISOJÉ Alto | 7. PISOJÉ Bajo   |
| 3. Claridad    | 8. Unión Cabrera |
| 4. El Hogar    | 9. Santa Helena  |
| 5. San Alfonso | 10. Alto Pesares |

**Figura 3.** Delimitación de las veredas del corregimiento.



**Fuente:** Plan de ordenación y manejo de la subcuenca hidrográfica del Río Pisojé.

A continuación se realiza una breve descripción de las veredas que están relacionadas con el acueducto interveredal El Hogar:

#### 4.2.6.1. Vereda Claridad

Su área es de 710,53 ha (POMCH Río Pisojé, 2006), se encuentra distribuida entre las subcuencas de los Ríos Molino y Pisojé; esta vereda cuenta con 84 viviendas, 4 lotes y 262 habitantes, lo que indica que en promedio el núcleo familiar está constituido por tres miembros, no cuenta con transporte público que entre a la vereda, presenta vías de acceso destapadas en buen estado, sobre todo las utilizadas por la empresa Cartón Colombia. La actividad socio-económica está liderada por Cartón Colombia que le brinda empleo a la mayoría de los habitantes de la vereda, existen entre 3 a 5 viviendas que tienen pequeñas plantaciones de café y aguacate .

El acueducto veredal capta sus aguas de la fuente superficial quebrada La Mina, este sistema está compuesto por: bocatoma, desarenador y tanque de almacenamiento, los cuales fueron construidos en el año 2002. El uso de agua es principalmente doméstico pero también se usa para agricultura a pequeña escala y jardinería, cabe mencionar que del agua para consumo humano solo el 10% de los usuarios la hierven y el porcentaje restante toman el agua directo de la llave. A continuación se presentan las coordenadas y altitud de los componentes del sistema:

- Bocatoma:  
Latitud: 2°26'38.12"N Longitud: 76°33'10.58"O Altitud: 2010 m.s.n.m.
- Tanque de almacenamiento:  
Latitud: 2°26'44.98"N Longitud: 76°33'38.69"O Altitud: 1978 m.s.n.m.

#### 4.2.6.2. Vereda El Hogar

Su área es de 750,52 ha se encuentra distribuida entre las subcuencas de los Ríos Molino y Pisojé; cuenta con 99 viviendas y 368 habitantes, lo que indica que en promedio el núcleo familiar está constituido por cuatro miembros, no cuenta con transporte público, la entrada a la vereda cuenta con un tramo de 3,5 km pavimentados. La principal actividad socioeconómica es la agricultura a pequeña y mediana escala principalmente: café, aguacate, diversas frutas, entre otros.

El acueducto veredal capta sus aguas de dos fuentes superficiales, la quebrada Cerro Alto y Eliseo Lame, el sistema cuenta con: dos tanques desarenadores que cumplen la función de bocatoma, desarenador y tanque de almacenamiento; los tanques desarenadores fueron construidos en el año 2017 mientras que el desarenador y tanque de almacenamiento se construyeron en el 2005. La vereda presenta múltiples usos del agua como lo es doméstico, agrícola y pecuario. A continuación se presentan las coordenadas y altitud de los componentes del sistema:

- Bocatoma Cerro Alto:  
Latitud: 2°25'49.37"N Longitud: 76°33'12.97"O Altitud: 2103 m.s.n.m.
- Bocatoma Eliseo Lame:  
Latitud: 2°25'49.63"N Longitud: 76°33'13.43"O Altitud: 2100 m.s.n.m.
- Tanque de almacenamiento:  
Latitud: 2°25'49.42"N Longitud: 76°33'13.96"O Altitud: 2099 m.s.n.m.

#### 4.2.6.3. Vereda Pisojé Alto

Esta vereda tiene un área de 305,93 ha (POMCH Pisojé, 2006), pertenecientes a la subcuenca del Río Pisojé; cuenta con 56 viviendas y 325 habitantes, lo que indica que el núcleo familiar está constituido por aproximadamente 6 miembros. La vías de acceso son destapadas y se encuentran en buen estado por el uso que le da la empresa Cartón de Colombia y Conesped, a pesar de esto en diversas épocas del año sobre todo verano se presentan problemas de polución por el material particulado que levanta el tránsito constante de volquetas. Las actividades socioeconómicas se clasifican de la siguiente manera: el 70% trabaja en la cabecera municipal mientras que el 30% restante se divide en actividades agrícolas como pequeños cultivos de café y empleos referentes a la empresa Cartón de Colombia y minería.

El sistema de acueducto toma sus aguas de una fuente superficial denominada quebrada Patico, las estructuras de bocatoma y desarenador están ubicadas en la vereda San Alfonso y fueron construidas en el año 2002, mientras que el tanque de almacenamiento que está a una distancia aproximada de 2,5 km se encuentra dentro de la vereda, en diversas ocasiones se presentan racionamientos debido que el agua llega con turbidez, esto lleva a los habitantes a tomar medidas como recolección y posterior uso de aguas lluvias. El principal uso del agua es el doméstico pero también es requerido para jardinería, ganadería y

agricultura a pequeña escala, la cual es destinada principalmente para autoconsumo, cabe mencionar que son pocas las familias que le dan un tratamiento como filtración o desinfección al agua antes del consumo. A continuación se presentan las coordenadas y altitud de los componentes del sistema:

- Bocatoma:  
Latitud: 2°26'12.62"N Longitud: 76°32'52.96"O Altitud: 2027 m.s.n.m.
- Tanque de almacenamiento:  
Latitud: 2°27'24.56"N Longitud: 76°32'41.42"O Altitud: 1938 m.s.n.m.

#### **4.2.6.4. Vereda San Alfonso**

La vereda San Alfonso presenta un área de 626,85 ha, cuenta con 30 viviendas y 150 habitantes; esta vereda cuenta con zonas importantes de bosque natural el cual ayuda a regular el sistema hídrico. Las vías de acceso presentan las mismas características de la vereda Pisojé Alto. Las actividades socioeconómicas principales son: ganadería a pequeña escala y pequeños cultivos de aguacate y café principalmente; cuando es necesario la empresa cartón de Colombia contrata a habitantes de esta vereda para servir de apoyo en algunas de sus actividades. El principal uso del agua es el doméstico el cual abarca el consumo humano y las actividades domésticas comunes, es importante tener en cuenta que según la información entregada por el presidente de la JAC de la vereda, son pocos los habitantes que hierven el agua antes de consumirla.

La vereda San Alfonso no cuenta con un acueducto veredal por lo que el cubrimiento del servicio es brindado en su totalidad por el acueducto interveredal, el agua llega a un tanque de almacenamiento del cual se distribuye el servicio a 22 de los 30 usuarios, los 8 usuarios restantes no quisieron ser parte del proyecto pues estos cuentan con otro tipo de suministros de agua. A continuación se presentan las coordenadas y altitud del tanque de almacenamiento: Latitud: 2°26'2.27"N Longitud: 76°31'54.78"O Altitud: 2073 m.s.n.m.

Teniendo en cuenta la información de coordenadas recolectada se elabora el mapa que se presenta en la figura 4, donde se encuentran ubicados los componentes del sistema diferenciados por número de la siguiente manera:

1. Bocatoma y desarenador del acueducto interveredal El Hogar.
2. Tanque de almacenamiento del acueducto interveredal El Hogar.
3. Acueducto veredal El Hogar (bocatoma, desarenador y tanque de almacenamiento).
4. Bocatoma y desarenador acueducto veredal Pisojé Alto.
5. Bocatoma y desarenador acueducto veredal Claridad.
6. Tanque de almacenamiento acueducto veredal Claridad.
7. Tanque de almacenamiento acueducto veredal Pisojé Alto.
8. Tanque de almacenamiento de la vereda San Alfonso.

**Figura 4.** Localización de componentes del sistema acueducto interveredal El Hogar.



**Fuente:** Elaboración propia.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. SOCIALIZACIONES DEL PROYECTO CON LA COMUNIDAD

Como primera actividad del estudio se realizó una socialización del proyecto que contó con la presencia de los presidentes de las juntas de acción comunal de las veredas Pisojé Alto, El Hogar, San Alfonso y Claridad, en esta reunión se comunicaron las actividades a realizarse y la importancia del estudio, de igual manera se expresó la necesidad de realizar un censo en cada vereda, debido a la complejidad de esta actividad, se llegó al acuerdo de que cada presidente facilita datos estimados actuales de población.

En segunda instancia se llevó a cabo la socialización de avances realizada en la vereda Claridad, donde hicieron presencia los presidentes de la junta de acción comunal de las veredas en cuestión y representantes de las mismas, la comunidad hizo aportes significativos y se resolvieron dudas para continuar con el desarrollo del trabajo.

Por último se realizó una socialización en cada una de las veredas con la comunidad en general presentando los resultados finales del estudio y resaltando la importancia del uso eficiente del recurso.

**Figura 5.** Socialización del proyecto.



## 5.2. CONDICIONES DE CALIDAD

### 5.2.1. Toma de muestras para análisis fisicoquímicos y bacteriológicos

Se realizó un análisis para determinar los puntos de muestreo teniendo en cuenta importancia y cumplimiento de requerimientos mínimos para la toma de muestras.

En los puntos que se encuentran en la tabla 2 se realizaron muestreos para análisis de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos.

Se analizaron los siguientes parámetros:

#### Fisicoquímicos:

1. Conductividad
2. Turbiedad
3. Color aparente
4. pH
5. Alcalinidad
6. Dureza total
7. Hierro total
8. Nitratos
9. Nitritos

#### Bacteriológicos:

10. Sulfatos
11. Cloruros
12. Aluminio
13. Temperatura
14. SDT
15. Oxígeno disuelto
16.  $DBO_5$
17. Coliformes totales
18. E Coliformes fecales

Los análisis de laboratorio fueron realizados por la empresa Acueducto y Alcantarillado de Popayán a excepción de la  $DBO_5$  parámetro analizado por el laboratorio de la CRC.

**Tabla 2.** Puntos de muestreo fisicoquímicos y bacteriológicos.

<b>Vereda</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Observaciones</b>
Santa Helena	Aguas arriba de la bocatoma	Quebrada San Antonio
San Alfonso	Tanque de almacenamiento	
El Hogar	Tanque de almacenamiento	Debido que el acueducto de la vereda el Hogar tiene dos fuentes y la cámara de entrada del desarenador no es lo suficiente profunda para la correcta toma de muestras se decidió hacer el muestreo en el tanque de almacenamiento.
Pisojé Alto	Bocatoma	Quebrada Patico
	Tanque de almacenamiento	
Claridad	Bocatoma	Quebrada La Mina
	Tanque de almacenamiento	

**Tabla 3.** Coordenadas de los puntos de muestreo.

<b>Nº</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altitud</b>
1	Acueducto interveredal El Hogar aguas arriba de la bocatoma	2°23'34.80"N	76°31'19.00"O	2333
2	San Alfonso, tanque de almacenamiento	2°26'2.27"N	76°31'54.78"O	2073
3	Acueducto veredal El Hogar, tanque de almacenamiento	2°25'49.42"N	76°33'13.96"O	2099
4	Acueducto veredal Pisojé Alto, aguas arriba de la bocatoma	2°26'12.62"N	76°32'52.96"O	2027
5	Acueducto veredal Pisojé Alto, tanque de almacenamiento	2°27'24.56"N	76°32'41.42"O	1938
6	Acueducto veredal Claridad, aguas arriba de la bocatoma	2°26'38.12"N	76°33'10.58"O	2010
7	Acueducto veredal Claridad, tanque de almacenamiento	2°26'44.98"N	76°33'38.69"O	1978

**Figura 6.** Georeferenciación de los puntos de muestreo.



Fuente: Elaboración propia.

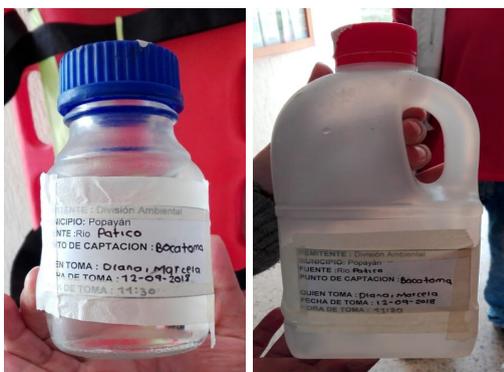
**Figura 7.** Muestreo Tanque de almacenamiento vereda El Hogar



**Figura 8.** Muestreo Tanque de almacenamiento vereda PISOJÉ Alto



**Figura 9.** Muestra Bocatoma PISOJÉ Alto



**Figura 10.** Muestras entregadas a la CRC para análisis de la DBO



### 5.2.2. Cálculo del índice de riesgo de la calidad IRCA

Como instrumento básico para garantizar la calidad del agua se realizó el cálculo del índice de riesgo de la calidad (IRCA), para este cálculo se debe asignar un puntaje de riesgo a cada característica fisicoquímica y bacteriológica, puntaje que se establece según el impacto en la calidad del agua y el riesgo para la salud por el no cumplimiento de los valores máximos aceptables, seguido a esto se determina la clasificación del nivel de riesgo encontrada en la resolución 2115 del 2007.

**Tabla 4.** Puntaje de riesgo

<b>Característica</b>	<b>Puntaje de riesgo</b>
Color aparente	6
Turbiedad	15
pH	1,5
Cloro residual libre	15
Alcalinidad total	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1
Dureza Total	1
Sulfatos	1
Hierro total	1,5
Cloruros	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Aluminio	3

Fluoruros	1
COT	3
Coliformes totales	15
Escherichia Coli	25
<b>∑ puntajes asignados</b>	<b>100</b>

Fuente: Resolución 2115 del 2007 Cuadro N° 6

**IRCA por muestra:** Se calcula mediante una media ponderada, en el numerador se suman los puntajes atribuidos a cada característica que no cumplió con los parámetros de calidad y en el denominador se suman todos los puntos de las características analizadas.

Ecuación 5.1:

$$IRCA (\%) = \frac{\sum \text{puntaje de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{puntaje de riesgo asignado a todas las características analizadas}} \times 100 \quad (5.1)$$

**Tabla 5.** Clasificación del nivel de riesgo en la salud según el IRCA

<b>Clasificación IRCA (%)</b>	<b>Nivel de riesgo</b>	<b>IRCA por muestra (notificaciones de la autoridad sanitaria)</b>	<b>IRCA mensual (Acciones)</b>
80,1 - 100	Inviabile sanitaria mente	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría general y procuraduría	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	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD	Agua no apta para consumo humano gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes y gobernadores
14,1 - 35	Medio	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador	Agua no apta para consumo humano gestión directa de la persona prestadora
5,1 - 14	Bajo	Informar a la persona prestadora y al COVE	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento

0 - 5	Sin Riesgo	Continuar el control y la vigilancia	Agua apta para consumo humano, continuar la vigilancia
-------	------------	--------------------------------------	--

Fuente: Resolución 2115 del 2007

### 5.3. OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA DEL CORREGIMIENTO DE SANTA BÁRBARA

#### 5.3.1. Aforos de caudal

Se realizaron aforos puntuales en sitios de interés que se presentan en la tabla 6. Existen diversos métodos para realizar aforos, el método fue seleccionado según la forma y cantidad de flujo en la fuente, para el estudio se emplearon:

- Área - velocidad
  - Molinete de hélice
  - Molinete de sensor
- Volumétrico

**Tabla 6.** Puntos de aforo.

Acueducto	Punto	Método	Observaciones
Interveredal	Quebrada San Antonio.	Área-velocidad	Se realizaron aforos aguas arriba y abajo de la bocatoma. Realizando la diferencia de estos datos se obtiene el caudal de entrada del sistema.
	Tanque de Almacenamiento principal	Volumétrico	Se aforó los sobrantes
San Alfonso	Tanque de Almacenamiento	Volumétrico	Se tomaron datos en la entrada de flujo y de sobrantes.
El Hogar	Quebrada Cerro Alto	Volumétrico	Se aforaron las dos fuentes en sus respectivas entradas de flujo al desarenador, posteriormente se aforo aguas abajo.
	Quebrada Eliseo Lame	Volumétrico	Se aforó aguas arriba y aguas abajo del tanque desarenador.
Pisojé Alto	Quebrada Patico	Área-	Se aforó aguas arriba y abajo de la

		velocidad. Volumétrico	bocatoma, de igual manera se aforan los sobrantes del desarenador
	Tanque de Almacenamiento	Volumétrico	Se aforo en la entrada de flujo, este tanque no tiene sobrantes
Claridad	Quebrada la Mina	Volumétrico	Se encauza el flujo hacia una tubería que se encuentra en la bocatoma y que llega hasta la rejilla, de esta manera y procurando que todo el flujo de la fuente entre en la tubería se realizó el primer aforo, luego aguas abajo de la bocatoma se aforó el flujo de agua que no entra al desarenador
	Tanque de Almacenamiento	Volumétrico	Se realizó el aforo en la tubería de sobrantes

**Figura 11.** Aforo aguas arriba de la bocatoma del acueducto interveredal.



**Figura 12.** Aforo aguas abajo de la bocatoma del acueducto interveredal.



**Figura 13.** Aforo sobrantes tanque de almacenamiento vereda San Alfonso.



**Figura 14.** Acueducto vereda El Hogar.



**Figura 15.** Aforo tanque de almacenamiento vereda Pisojé Alto.



**Figura 16.** Aforo acueducto vereda Claridad.



### 5.3.2. Estimación de oferta hídrica

La oferta hídrica se puede obtener a partir de tres aproximaciones: 1) serie de caudales medios, 2) modelo lluvia-caudal, o 3) balance hídrico.

Se realizó un balance hídrico mediante el método de Thornthwaite el cual requiere datos de precipitación y temperatura media, esta información se obtuvo de las estaciones comunitarias de la red local de monitoreo climático y estaciones de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P para el periodo 2013 - 2017; las estaciones fueron seleccionadas teniendo en cuenta el buen y constante funcionamiento, la cercanía a la zona de estudio y la confiabilidad de los datos, se seleccionaron 9 estaciones descritas en la siguiente tabla.

**Tabla 7.** Estaciones seleccionadas.

Nº	Estación	Latitud	Longitud	Altitud
1	El Hogar	2°26'1.60"N	76°33'27.61"O	2057
2	Santa Helena A	2°22'33.10"N	76°31'31.01"O	2525
3	Santa Helena B	2°23'2.30"N	76°30'50.50"O	2539
4	Pisojé Alto A	2°26'34.03"N	76°31'36.99"O	1804
5	Pisojé Bajo	2°24'44.20"N	76°32'9.80"O	2110
6	Pisojé Alto B	2°28'6.26"N	76°33'28.53"O	1850
7	Bocatoma Molino	2°26'23.01"N	76°34'25.74"O	1834
8	Arrayanes	2°23'38.40"N	76°31'46.10"O	2308
9	El Diviso	2°26'36.00"N	76°27'48.00"O	2264

**Figura 17.** Ubicación de las Estaciones en el corregimiento de Santa Bárbara.



**Fuente:** Elaboración propia

#### 5.2.2.1. Tratamiento de datos:

Se realizó un tratamiento estimativo de datos faltantes utilizando el método de regresión lineal para el caso específico de valores de precipitación, para esto se recurre a los registros de las estaciones cercanas con información completa y confiable para el mismo periodo, en este caso se utilizó como estación base la de bocatoma molino; el método establece una “asociación estadística o gráfica entre los datos de dos estaciones, una de las cuales carece de la información pluviométrica para un periodo determinado. Los valores parciales de las dos estaciones se lleva a unas coordenadas cartesianas ajustando los puntos a una línea recta, cuya ecuación permitirá determinar la cantidad de precipitación en la estación faltante, conocido el valor correspondiente de la otra estación para el mismo periodo” (González, 2008).

A continuación se presenta un cálculo tipo de la corrección de datos para la estación El Hogar en el año 2013. Se realizó la asociación gráfica entre la información, arrojando la siguiente ecuación:

Ecuación 5.2:

$$Y = 0,893X + 5,22 \quad (5.2)$$

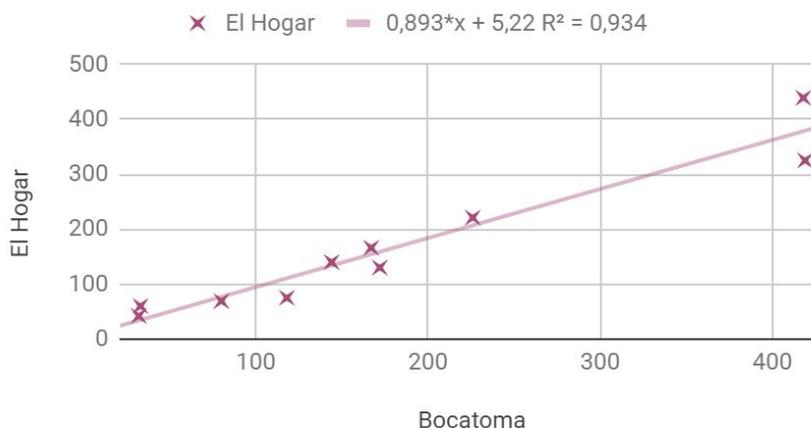
Donde:

Y: Precipitación (mm)

X: Precipitación, estación base (mm)

**Gráfico 1.** Regresión lineal estación El Hogar año 2013.

## Regresión lineal estación El Hogar año 2013



**Fuente:** Elaboración propia

Se reemplazaron en X los datos de precipitación de la estación Bocatoma según el mes faltante en la estación El Hogar así:

- Enero:
  - $y = 0,893X + 5,22$
  - $y = 0,893(121) + 5,22$
  - $y = 113,3$
- Febrero:
  - $y = 0,893X + 5,22$
  - $y = 0,893(156) + 5,22$
  - $y = 144,5$

**Tabla 8.** Corrección de datos faltantes estación El Hogar.

Mes	Bocatoma estación base (mm)	El Hogar (mm)	
		Original	Resultado
Enero	121		113,3
Febrero	156		144,5
Marzo	172	130	130
Abril	167	166	166
Mayo	226	221	221
Junio	80	69	69
Julio	32	42	42
Agosto	33	60	60
Septiembre	118	75	75
Octubre	144	140	140
Noviembre	419	325	325
Diciembre	418	439	439

Para el tratamiento de datos faltantes de temperatura se realizó un ajuste basado en el gradiente vertical de temperatura, el cual es una medida de la variación de la temperatura respecto a la altura sobre el nivel del mar, esto para el caso específico de la zona andina del país. Se utilizó el gradiente de temperatura propuesto por Cortés (1989) de  $0,625^{\circ}\text{C}/\text{m}$ , lo que significa que por cada 100 metros que aumente la altura, la temperatura disminuye en  $0,625^{\circ}\text{C}$ . Este cálculo se realizó para todos los valores de las estaciones que presentaban inconsistencias o datos faltantes.

Teniendo en cuenta la confiabilidad y consistencia de los datos, se estableció una estación base, siendo esta la denominada estación bocatoma. El cálculo se basa en determinar la diferencia en metros entre la altitud de la estación base y la estación a encontrar el dato faltante, posteriormente se determina la relación entre la diferencia de altitud y la temperatura.

- Bocatoma: 1834 m.s.n.m.  
19,5 °C (temperatura media mes de enero del 2013)
- El Hogar: 2057 m.s.n.m.
- Gradiente de temperatura en zona andina:  $0,625^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$

$$2057 - 1834 = 223\text{ m}$$

$$100\text{ m} \rightarrow 0,625^{\circ}\text{C}$$

$$223\text{ m} \leftarrow \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{0,625^{\circ}\text{C} * 223\text{ m}}{100\text{ m}} = 1,39^{\circ}\text{C}$$

Como la estación El Hogar se encuentra a una mayor altitud que la estación Bocatoma, el valor de  $\Delta t$  debe ser restado de la temperatura, en caso contrario debe sumarse; es decir la temperatura en el mes de enero del año 2013 para la estación el hogar será de:

$$T = 19,5 - 1,39$$

$$T = 18,1^{\circ}\text{C}$$

### 5.2.3.2. Precipitación y temperatura media en un área

Se empleó el método de las isoyetas e isotermas, el cual según González (2008) es considerado como “el más racional, exacto y representativo, adaptándose a zonas montañosas y con estaciones mal distribuidas. Las isoyetas consiste en líneas que se trazan uniendo puntos de igual precipitación, mediante la interpolación entre las precipitaciones observadas en cada pluviómetro”. La interpolación es un proceso que utiliza mediciones realizadas sobre algún fenómeno en este caso la precipitación y temperatura, en determinados lugares, con el fin de hacer una predicción sobre el fenómeno en otro punto donde no existe información <sup>8</sup>

Para la elaboración de las isoyetas e isotermas se utilizó el programa QGIS en su versión 2.18.14, donde mediante el uso del mapa del corregimiento de Santa Bárbara del municipio de Popayán obtenido del DANE, se realizó la interpolación de los datos de precipitación y temperatura por el método de ponderación inversa a la distancia (IDW); en este método “los puntos de muestreo se ponderan durante la interpolación de tal manera que la influencia de un punto en relación con otros disminuye con la distancia desde el punto desconocido que se desea crear. La ponderación es asignada a los puntos de muestreo mediante la utilización de un coeficiente de ponderación que controla cómo la influencia de la ponderación decae mientras la distancia hacia el punto nuevo se incrementa”<sup>5</sup>.

### 5.2.3.3. Balance hídrico Método de Thornthwaite

El método de Thornthwaite se desarrolla mediante datos de precipitación, el resultado se basa en una relación entre la evapotranspiración en función de la temperatura del aire. Además de los datos de temperatura y precipitación media mensual es importante conocer las coordenadas geográficas y altitud de un punto en específico del área de estudio denominado centroide, el cual representa la ubicación del centro geométrico del área; el cálculo del centroide se realizó gracias a las herramientas de la plataforma Arcgis, mientras que para encontrar la altitud del punto se utilizó la herramienta google earth, arrojando los siguientes datos:

- Latitud: 2,429036
- Longitud: - 76,540554
- Altitud: 2033 m.s.n.m.

**Figura 18.** Centroides del corregimiento Santa Bárbara.



**Fuente:** Elaboración propia

Posteriormente se realizó el cálculo del balance hídrico obteniendo resultados del caudal medio mensual del área, dato que corresponde a la oferta hídrica.

A continuación se presenta las ecuaciones del balance hídrico, basados en los resultados de precipitación y temperatura calculados con el método de las isoyetas e isotermas.

La fórmula de Thornthwaite para hallar la evapotranspiración es la siguiente:

Ecuación 5.3:

$$EVT = 16 * \left(\frac{10 * T}{I}\right)^a \quad (5.3)$$

Donde:

EVT: Evapotranspiración (mm)

T: Temperatura (°C)

a: exponente empírico en función de I

I: Índice calórico, constante para la región dada y es la suma de 12 índices mensuales  $i$ , donde  $i$  es función de la temperatura media normal mensual

Para encontrar el índice calórico (I) se emplea la siguiente ecuación:

Ecuación 5.4:

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \quad (5.4)$$

Ecuación 5.5:

$$I = \sum(i_j); \quad j: 1,2,3,\dots,12 \quad (5.5)$$

Para hallar el valor del exponente empírico (a) se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 5.6:

$$a = (6,75 \times 10^{-7} * I^3) - (7,71 \times 10^{-5} * I^2) + (1,79 \times 10^{-2} * I) + 0,49239 \quad (5.6)$$

Los valores de evapotranspiración deben ser corregidos teniendo en cuenta el número de días del mes y las horas de luz solar teóricas de cada día, dependiendo de la latitud del centroide; este valor de ajuste es posteriormente multiplicado por la evapotranspiración para así obtener el valor corregido (E<sub>vtp</sub>).

Con el valor de evapotranspiración corregido y de precipitación media, se calcula la humedad de la siguiente manera:

Ecuación 5.7:

$$H = \text{Precipitación (mm)} - E_{vtp} \quad (5.7)$$

Basados en el valor de humedad se clasifica los meses como: mes seco si  $H < 0$  y mes húmedo si  $H > 0$ . Teniendo en cuenta lo anterior se encuentra el valor de reserva (R), se toma 100 mm como valor de referencia climática de reserva máxima, es importante tener en cuenta que: si  $\text{Precipitación} > \text{Evtp}$  el agua sobrante pasa a aumentar las reservas del suelo pero si  $\text{Precipitación} < \text{Evtp}$  se reduce la reserva del suelo. Teniendo en cuenta el mes, el cálculo de la reserva se realiza de la siguiente manera:

- Si  $0 < (R_{i-1} + H) < 100$ , entonces  $R_i = R_{i-1} + H$
- Si  $(R_{i-1} + H) > 100$ , entonces  $R_i = 100$
- Si  $(R_{i-1} + H) < 0$ , entonces  $R_i = 0$

Posteriormente se calcula la evapotranspiración real (Evtr) teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

- Si  $(\text{Precipitación} + (R_{i-1} - \text{Evtp})) > 0$ , entonces  $\text{Evtr} = \text{Evtp}$
- Si  $(\text{Precipitación} + (R_{i-1} - \text{Evtp})) < 0$ , entonces  $\text{Evtr} = \text{Precipitación} + R_{i-1}$

Al realizar la resta de la evapotranspiración corregida y la evapotranspiración real (Evtr) se encuentra el valor del déficit de agua:  $\text{Déficit} = \text{Evtp} - \text{Evtr}$

Finalmente para el cálculo del exceso se debe tener en cuenta las siguientes condiciones:

- Si  $H > 0$ , entonces  $\text{Exceso} = H - (R_i - R_{i-1})$
- Si  $H < 0$ , entonces  $\text{Exceso} = 0$

### **5.3.3. Estimación demanda hídrica**

Para definir la demanda del recurso hídrico por consumo humano y uso doméstico del corregimiento Santa Bárbara, se hace una diferenciación entre las veredas que se abastecen del acueducto interveredal y las que no. Como documento base la resolución 330 del 2017 “por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS”.

#### **5.3.3.1. Estimación de población futura**

Con base en lo estipulado en la RAS 2010 literal B.2.4.3.4 métodos de cálculo, se debe tener en cuenta los datos de población del DANE, al ser la población objetivo del estudio de una zona rural estos datos no fueron encontrados en la plataforma, por lo que se optó en utilizar la información del Plan de Ordenación y Manejo de las Subcuencas Molino y Pisojé (POMCH) documento realizado por la Corporación Regional del Cauca CRC y la Fundación Procuenca Río Las Piedras, encontrando datos confiables del año 2006, posteriormente se recolectaron los datos suministrados por los presidentes de cada vereda que pertenece al

corregimiento de Santa Bárbara correspondientes al año 2018, esto con el fin de calcular la población futura.

**Tabla 9.** Datos de población.

Vereda	Población (Habitantes)	
	2006	2018
Claridad	200	262
El Hogar	236	368
Pisojé Alto	122	325
San Alfonso	100	150
El Paraíso	280	392
Santa Bárbara	300	386
Pisojé Bajo	350	400
Unión Cabrera	218	288
Santa Helena	239	350
Alto Pesares	125	160
<b>Total</b>	<b>2170</b>	<b>3081</b>

Es importante tener presente el periodo de diseño para definir el año de la proyección, el cual según las memorias de cálculo del acueducto interveredal, facilitadas por el acueducto de Popayán fue de 15 años, debido a que el acueducto empezó su funcionamiento en noviembre del 2012 se adopta como año de proyección el 2027; por otra parte según lo establecido en la Resolución 330 del 2017 el periodo de diseño para todos los componentes de los sistema de acueducto, alcantarillado y aseo es de 25 años, se optó por realizarse una proyección adicional para este periodo de diseño obteniendo como año de proyección el 2037.

El método de cálculo para la proyección debe estipularse según el nivel de complejidad del sistema el cual se determinó con base en la tabla A.3.1 de la RAS 2000 título A, ya que las proyecciones se realizarán por vereda pues se requiere la demanda que cada una ejerce sobre el recurso, se obtiene un nivel de complejidad bajo, mediante la tabla B.2.1 de la RAS 2010 título B y teniendo en cuenta las especificaciones de cada método y la información con la que se cuenta, se implementó el método aritmético.

**Tabla 10.** Nivel de complejidad.

TABLA A.3.1  
**Asignación del nivel de complejidad**

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana <sup>(1)</sup> (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios <sup>(2)</sup>
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

**Notas :** (1) Proyectado al periodo de diseño, incluida la población flotante.

(2) Incluye la capacidad económica de población flotante. Debe ser evaluada según metodología del DNP.

**Fuente:** RAS 2000 Titulo A

**Tabla 11.** Métodos de cálculo para la proyección de la población.

Tabla B.2.1 Métodos de cálculo permitidos según el nivel de complejidad del sistema para la proyección de la población

Método por emplear	Nivel de Complejidad del Sistema			
	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Aritmético, geométrico y exponencial	X	X		
Aritmético, geométrico, exponencial, otros			X	X
Por componentes (demográfico)			X	X
Detallar por zonas y detallar densidades			X	X
Método gráfico	X	X		

**Fuente:** RAS 2010 Titulo B

**Método aritmético:** supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. (RAS 2010)

Ecuación 5.8:

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} \times (T_f - T_{uc}) \quad (5.8)$$

Donde:

$P_f$ : Población futura (habitantes)

$P_{uc}$ : Población del año inicial

$P_{ci}$ : Población del año actual

$T_f$ : Año al que se quiere proyectar

$T_{uc}$ : Año inicial

$T_{ci}$ : Año actual

### 5.3.3.2. Dotación neta

“La dotación neta debe determinarse haciendo uso de información histórica de los consumos de agua de los suscriptores, disponible por parte de la persona prestadora del servicio de acueducto o, en su defecto, recopilada en el sistema único de información (SUI) de la superintendencia de servicios públicos domiciliarios (SSPD), siempre y cuando los datos sean consistentes” (RES 330/17) debido a que no se cuenta con el registro de información necesaria se opta por utilizar el valor de dotación neta establecido en la siguiente tabla.

**Tabla 12.** Dotación neta máxima por habitante según la altitud.

Altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida	Dotación neta máxima (L/hab*día)
> 2000 m.s.n.m	120
1000 – 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

**Fuente:** Resolución 330 del 2017

Mediante el programa Qgis y sus herramientas de interpolación se determinó la altitud promedio de cada vereda dando los siguientes resultados: Claridad: 1921m.s.n.m. El Hogar: 1900m.s.n.m. Pisojé Alto: 1956m.s.n.m. y San Alfonso: 1952m.s.n.m; las veredas restantes pertenecientes al corregimiento presentan valores promedio de altura dentro del rango de 1000 - 2000 m.s.n.m. Con base en lo anterior se adopta una dotación neta máxima de  $130 \frac{L}{hab*d}$

### 5.3.3.3. Dotación bruta:

De acuerdo con la Resolución 330 de 2017, es el máximo de agua que se requiere para satisfacer las necesidades básicas de un habitante, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

Ecuación 5.9:

$$D_{bruta} = \frac{D_{neta}}{1 - \%perdidas} \quad (5.9)$$

Donde:

$D_{bruta}$ : dotación bruta  $\frac{L}{hab*día}$

$D_{neta}$ : dotación neta  $\frac{L}{hab*día}$

% pérdidas: pérdidas máximas admisibles. El porcentaje de pérdidas máximas admisibles no deberá superar el 25%.

#### 5.3.3.4. Caudal medio diario:

El Caudal Medio Diario,  $Q_{md}$ , es el caudal medio calculado para la población proyectada con sus ajustes teniendo en cuenta la dotación bruta calculada. Este caudal corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año, proyectado al horizonte de diseño, y debe calcularse mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 5.10:

$$Q_{md} = \frac{P * D_{bruta}}{86400} \quad (5.10)$$

Donde:

$Q_{md}$  = Caudal medio diario L/s

P = población

$D_{bruta}$  := dotación bruta  $\frac{L}{hab*dia}$

#### 5.3.3.5. Caudal máximo diario:

El Caudal Máximo Diario, QMD, corresponde al máximo caudal consumido, registrado en un período de 24 horas a lo largo de un año. Este debe calcularse multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario,  $k_1$ , utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 5.11:

$$QMD = Q_{md} * K_1 \quad (5.11)$$

De acuerdo con el artículo 47 de la resolución 330 del 2017, para poblaciones menores o iguales de 12.500 habitantes, al periodo de diseño, en ningún caso el factor  $k_1$  será superior a 1.3.

#### 5.3.3.6. Caudal máximo horario:

El Caudal Máximo Horario, QMH, corresponde al caudal de consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. El QMH se calcula como el Caudal Máximo Diario multiplicado por el Coeficiente de Caudal Máximo Horario,  $k_2$ , utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 5.12:

$$QMH = QMD * K_2 \quad (5.12)$$

De acuerdo con la Resolución 330 del 2017 para el caso de sistemas de acueductos nuevos, el coeficiente de consumo máximo horario con relación al consumo máximo diario,  $k_2$ , corresponde a un valor comprendido entre 1.3 y 1.7.

#### 5.3.4. Índice de uso de agua, IUA

La relación de la demanda sobre la oferta disponible indica el grado de presión sobre la oferta (Índice de uso de agua), y da señales sobre su vulnerabilidad. Este índice, es reconocido en el ámbito nacional como una herramienta de evaluación del recurso hídrico y se continúa considerando aún solamente la oferta superficial en el cálculo del indicador, para lo cual se emplea la siguiente expresión:

Ecuación 5.13:

$$IUA = \frac{Dh}{Oh} * 100 \quad (5.13)$$

Donde:

Dh : Demanda hídrica (m<sup>3</sup>)

Oh : Oferta hídrica superficial disponible (m<sup>3</sup>)

De conformidad con el Estudio nacional del agua (2014), el índice de uso de agua (IUA) se agrupa en seis categorías que se relacionan a continuación:

**Tabla 13.** Rangos y categorías Índice de uso de agua.

Rango (Dh/Oh)*100 IUA	Categoría IUA	Significado
> 100	Crítico	La presión supera las condiciones de la oferta
50,01 - 100	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
20,01 - 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10,01 - 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
1.0 - 20	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
≤ 1	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

**Fuente:** Estudio nacional del agua 2014.

## 5.4. CONDICIÓN ACTUAL DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

Se realizaron visitas y recorridos a los lugares de ubicación del acueducto interveredal y sus acueductos veredales, contando con la presencia y guía de miembros de la comunidad. Las principales actividades realizadas fueron:

- Toma de medidas de las estructuras del sistema,
- Observación de la condición física de los componentes,
- Recolección de información sobre las etapas de funcionamiento y mantenimiento de las estructuras.

Para el diagnóstico del sistema se utilizó como base el documento memorias de cálculo del acueducto interveredal El Hogar y la resolución 844 del 2018 “por la cual se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales” donde teniendo en cuenta el artículo 27 sobre condiciones particulares para los sistemas de acueducto se incluye en el análisis lo estipulado en el decreto 1575 del 2007 y la resolución 330 del 2017, así como también los parámetros de diseño vigentes de la RAS 2010 y 2000.

Teniendo en cuenta la toma de medidas de la rejilla en la bocatoma, se realiza el cálculo de caudal captado, con base en las siguientes ecuaciones.

Ecuación 5.14:

$$A_{total} = B * L \quad (5.14)$$

Donde:

B: ancho de la rejilla

L: Largo de la rejilla

Ecuación 5.15:

$$A_{neta} = \left(\frac{a}{a+b}\right) * A_{total} \quad (5.15)$$

Donde:

a: espacio entre barras

b: ancho de la barra

Ecuación 5.16:

$$Q_{captado} = C_d * A_{neta} * \sqrt{2 * g * H} \quad (5.16)$$

Donde:

$C_d$ : Coeficiente de descarga = 0,3

$A_{neta}$ : Area neta ( $m^2$ )

g: Gravedad = 9,81  $m^2/s$

H: Altura de la lámina de agua sobre la rejilla (m)

## 6. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Todo proyecto se debe encaminar en la atención prioritaria de las necesidades básicas referentes al agua de consumo humano y doméstico y saneamiento básico; por ley en zonas rurales, se debe responder a principios que pretenden dar seguridad en ámbitos de calidad y continuidad del servicio; los principios mencionados son:

- **Progresividad:** Se considera indispensable prever acciones que conlleven al mejoramiento gradual de los servicios prestados, priorizando la atención en núcleos de población.
- **Implementación de soluciones tecnológías apropiadas:** Cada etapa de un proyecto se debe orientar a la implementación de tecnologías que resulten simples, adecuadas, independientes y costo-eficientes, en relación con las necesidades y expectativas de la comunidad, llevando a la inclusión de innovaciones asociadas a las formas de vida rural y promoviendo la disminución del apoyo externo en administración, operación y mantenimiento del sistema.
- **Disponibilidad de agua:** Se debe considerar la oferta ambiental del recurso en términos tanto de cantidad como calidad, teniendo en cuenta la variabilidad climática, las necesidades de agua de la comunidad rural, las acciones para mejorar la calidad del recurso basándose en los usos y la implementación de prácticas de uso sostenible.
- **Sostenibilidad ambiental:** Todo proyecto se debe establecer y orientar en la preservación de los cuerpos de agua y suelo, identificando: medidas de protección, uso eficiente, consumo responsable, ahorro y reducción de generación de residuos.
- **Sostenibilidad operativa:** Es indispensable realizar una selección de soluciones tecnológicas acordes a las particularidades de la comunidad rural, esto con el fin de que sea el sistema el que se acople a la comunidad desde su diseño y no al contrario; y al tiempo que sea la propia comunidad la que se haga cargo de la administración, operación y mantenimiento de los sistemas.
- **Participación comunitaria:** Se debe promover espacios de participación activa de la comunidad para tener claro usos de los recursos, tradiciones y costumbres.
- **Gestión social:** Teniendo en cuenta lo expuesto en los anteriores principios, se debe asegurar procesos de transferencia de conocimiento hacia la comunidad rural, sobre el sistema o tecnología a implementar, con el fin de permitir la independencia en el uso y mantenimiento de estos.
- **Gestión del riesgo:** El proyecto se debe amparar en estudios de gestión del riesgo, donde se incluya la identificación de amenazas de origen natural, socio-natural y antropogénico, en estos estudios se debe analizar la exposición y vulnerabilidad al igual que se debe plantear medidas de contingencia y obras de mitigación del riesgo.

Estos principios orientadores establecidos en el artículo 4 de la resolución 844 del 2018 se deben tener en cuenta en toda etapa del proyecto incluyendo optimizaciones, en el caso específico del acueducto interveredal El Hogar y sus acueductos veredales se evidencio que estos presentan un cumplimiento básico manifestando carencias en la gestión del riesgo pues no existe un registro de estos estudios en ninguno de los acueductos.

En un sistema como el de la comunidad rural donde el uso del agua es múltiple es importante conocer las condiciones del agua de suministro del servicio en términos tanto de cantidad como de calidad, buscando garantizar una íntegra prestación de servicio y un rendimiento adecuado en los pequeños sistemas productivos, es por esto que es indispensable tener en cuenta los requerimientos de calidad y cantidad del agua para múltiples usos; los usos del agua más frecuentes en las veredas de estudio son:

- Consumo humano
- Actividades domésticas
- Riego de plantas ornamentales
- Cultivos a pequeña escala
- Animales domésticos
- Ganadería a pequeña escala

## 6.1. CONDICIONES DE CALIDAD

### 6.1.1. Análisis fisicoquímicos y bacteriológicos

Los resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos realizados se presentan en la tabla 15, donde en color rojo se muestran aquellos parámetros que no cumplen con los valores máximos admisibles para agua potable.

**Tabla 14.** Puntos de muestreo

Nº	Punto de muestreo
1	Vereda Santa Helena, quebrada San Antonios, aguas arriba de la bocatoma acueducto interveredal El Hogar
2	Vereda El Hogar, tanque de almacenamiento, acueducto veredal el hogar
3	Vereda San Alfonso, tanque de almacenamiento secundario, acueducto interveredal El Hogar
4	Vereda Pisojé Alto, quebrada Patico, aguas arriba de la bocatoma, acueducto veredal pisojé alto
5	Vereda Pisojé Alto, tanque de almacenamiento, acueducto veredal Pisojé Alto

6	Vereda Claridad, quebrada la Mina, aguas arriba de la bocatoma, acueducto veredal Claridad.
7	Vereda Claridad, tanque de almacenamiento, acueducto veredal Claridad.

Para el parámetro DBO<sub>5</sub>, los resultados se encuentran expresados en el anexo 1, donde se indica que las 7 muestras tienen resultados menores a 0,9 mg/L, este parámetro nos muestra la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente, el resultado del muestreo nos indica que la cantidad de oxígeno que se ha consumido para la depuración es mínima, lo que le brinda en este aspecto, una calidad al agua aceptable, según el RAS 2010.

Los valores máximos aceptables para agua potable se tomaron según la resolución 2115 del 2007 y para agua cruda según el decreto 1594 de 1984.

**Tabla 15.** Resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos.

	Agua potable	Agua cruda	1	2	3	4	5	6	7
<b>Conductividad (µS/cm)</b>	< 1000	< 1000	78,2	41,9	80,1	63,3	74,8	43,6	51,8
<b>Turbiedad (NTU)</b>	< 2	< 10	1,06	1,12	0,97	5,65	1,82	2,75	1,92
<b>Color aparente (UPC)</b>	< 15	< 75	3,8	3	3,4	4,4	3,8	3,7	4,2
<b>pH</b>	6,5-9,0	5-9	7,6	7,1	7,4	7,3	7,1	7,1	7,1
<b>Alcalinidad (mg/L CaCO<sub>3</sub>)</b>	< 200	< 200	41,7	19,2	46	30,8	44,5	25,9	34,3
<b>Dureza Total (mg/L CaCO<sub>4</sub>)</b>	< 300	< 300	43,3	20,94	39,44	28,87	31,92	33,14	22,16
<b>Hierro Total (mg/L Fe II)</b>	< 0,3	< 5	0,25	0,1	0,14	0,37	0,12	0,27	0,11
<b>Nitratos (mg/L NO<sub>3</sub>)</b>	< 10	< 10	1,84	1,26	1,55	1,87	1,78	1,55	1,14
<b>Nitritos (mg/L NO<sub>2</sub>)</b>	< 0,1	< 10	0,001	0,001	0,001	0,003	0,003	0,001	0,002
<b>Sulfatos (mg/L SO<sub>4</sub>)</b>	< 250	< 400	0,86	0,87	0,8	1,14	0,86	0,95	1,14
<b>Cloruros (mg/L Cl)</b>	< 250	< 250	3,83	3,14	3,64	2,45	3,24	3,93	2,85
<b>Aluminio (mg/L Al)</b>	< 0,2	< 5	0,03	0,01	0,03	0,05	0,02	0,03	0
<b>Temperatura (°C)</b>			17,5	16,4	17,7	16,6	17,8	16,6	18,3
<b>SDT (mg/L)</b>			39,1	21	40,1	31,7	37,4	21,9	25,9
<b>OD (mg/L)</b>			8,9	8,7	9,3	9,5	9,5	9,3	9,1
<b>coliformes totales (NMP)</b>	0	<20000	4106	2382	384	3837	1126	2359	417
<b>E. coli fecal (NMP)</b>	0	<2000	389	135	52	134	41	0	20

### 6.1.2. Índice de riesgo de la calidad IRCA

La determinación del IRCA se realizó a los puntos 2, 3, 5 y 7 correspondientes a los tanques de almacenamiento, de donde parte la distribución del servicio, utilizando la ecuación 5.1. Debido a que no se analizaron todos los parámetros encontrados en la tabla 4, donde se especifica el puntaje de riesgo, la sumatoria del puntaje asignado para este caso es de 75.

**Tabla 16.** Datos y resultados cálculo del IRCA

Punto	Vereda	$\Sigma$ puntaje de riesgo asignado a las características no aceptables	IRCA (%)	Clasificación del riesgo
2	El Hogar	40	53,3	ALTO
3	San Alfonso	40		
5	Pisojé Alto	40		
7	Claridad	40		

En la tabla 15 se expresan los resultados de muestreo realizado, en rojo se presentan los parámetros que no cumplen con los límites permisibles de la Resolución 2115 del 2007 para agua potable, las muestras de los puntos 2, 3, 5 y 7 correspondientes a los tanques de almacenamiento de donde parte la distribución del servicio, en parámetros fisicoquímicos se encuentra dentro de lo establecido como valor máximo admisible, mientras que para los parámetros bacteriológicos entrega resultados de agua no apta para consumo humano ya que como se observa en la tabla 15 existe presencia tanto de coliformes totales como de E Coli fecal y según lo estipulado en el parágrafo 2 del artículo 11 de la resolución 2115 del 2007, ninguna muestra de agua para consumo humano debe contener E Coli en 100 cm<sup>3</sup> de agua, independientemente del método de análisis utilizado; esto se complementa con la clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA, que arrojó resultados de nivel de riesgo alto indicando que se tiene un agua no apta para consumo humano.

Los puntos 1, 4 y 6 corresponden a las fuentes de abastecimiento del acueducto interveredal, acueducto veredal de Pisojé Alto y Claridad respectivamente, estos puntos cumplen con lo establecido en el decreto 1594 de 1984 donde se encuentran los valores máximos permisibles para agua cruda. Teniendo en cuenta lo establecido en la RAS 2010 como calidad de la fuente, encontrado en el Anexo 2, en donde “se presenta una clasificación de los niveles de calidad de las fuentes de abastecimiento en función de unos parámetros mínimos de análisis fisicoquímicos y microbiológicos, y el grado de tratamiento asociado”, se observa que para los parámetros: oxígeno disuelto, pH y cloruros, la clasificación está dentro de la denominada como fuente aceptable, con respecto al parámetro turbiedad, para la fuente que abastece al acueducto interveredal (Quebrada San Antonio) está dentro del nivel de

calidad de fuente aceptable mientras que las fuentes de los acueductos veredales de Pisojé Alto y Claridad, el valor se encuentra dentro del nivel de calidad de fuente regular; con respecto al parámetro bacteriológico de coliformes totales en las tres fuentes de abastecimiento analizadas, se clasifican como fuente deficiente pues los resultados se encuentran en el intervalo de 500 - 5000. Lo anterior nos reitera que tanto en las fuentes de abastecimiento como en los tanques de almacenamiento el principal problema en términos de calidad es lo referente con los parámetros bacteriológicos.

Se encontró que en el punto de la bocatoma del acueducto veredal de Claridad no se registra E Coli fecal mientras que en el tanque de almacenamiento el resultado es 20 NMP, el cual a pesar de ser bajo representa un punto de importante atención ya que en este no existe mezcla de aguas con el acueducto interveredal, lo que indica que no se está realizando un mantenimiento adecuado en el tanque de almacenamiento y redes de conducción.

Es importante mencionar que los resultados son poco representativos ya que el número de muestras es muy pequeño, haciendo imposible la determinación de un patrón confiable de comportamiento, esto debido a las variaciones a lo largo del año con respecto al clima e hidrología; por ejemplo: el muestreo se realizó en época de verano por lo que parámetros como turbiedad, color aparente, sólidos disueltos, entre otros, representan una variable importante, sin embargo los resultados del muestreo sirven para tener una vista acerca servicio y sentar bases y registros de los parámetros mencionados.

### 6.1.3. Usos múltiples

Teniendo en cuenta los diferentes usos del agua de las veredas de estudio, se menciona a continuación los requerimientos de calidad para los múltiples usos, diferentes al consumo humano:

**Actividades domésticas:** a este uso lo conforman toda actividad realizada en la vida diaria de un hogar, como: aseo personal, limpieza del hogar, lavado de ropa y utensilios de la cocina y vaciado de inodoros. Algunos de estos usos no requieren una calidad de agua potable por lo que sería un desperdicio implementarla en ellos, para la mayoría de los usos mencionados es recomendable el uso de agua cruda o agua segura, es decir agua con bajo nivel de contaminación (Dec 1594 de 1984).

**Animales domésticos y ganadería a pequeña escala:** También denominado uso pecuario, tratándose del uso para consumo del ganado en sus diferentes especies y demás animales (Dec 3930/10). El contenido de sales totales es un parámetro de importancia para denominar un agua como apropiada o no para este uso, al igual que el pH y las concentraciones altas de sustancias tóxicas, todo animal requiere un tipo de agua con calidad adecuada para conservar su salud y productividad <sup>9</sup> los criterios de calidad de agua admisible para uso pecuario se encuentran en el anexo 3.

**Plantas ornamentales y cultivos a pequeña escala:** También llamado uso agrícola, su utilización para irrigación de cultivos y otras actividades complementarias (Dec 3930/10), los parámetros admisibles de calidad de agua para el uso agrícola se encuentran en el anexo 4. La calidad de agua para fines agrícolas depende principalmente de cuatro parámetros:

- Salinidad: este parámetro generalmente se mide a través de la conductividad eléctrica; el uso de agua con altos niveles de salinidad ocasiona altas concentraciones de sales en el suelo, provocando un esfuerzo adicional de las raíces para absorber el líquido, ocasionando bajo rendimiento en los cultivos. Es importante mencionar que La salinidad no está necesariamente relacionada con el sodio sino con cualquier tipo de sal.
- Sodicidad: Está relacionada con la concentración de NaCl en una solución o en el suelo, esto se genera cuando altos niveles de iones de sodio (Na) desplazan al calcio y magnesio que conforman el suelo, causando que se reduzca la infiltración de agua y aire, generalmente se mide como PSI (porcentaje de sodio intercambiable) o se utiliza el RAS (índice de absorción de sodio)<sup>24</sup>
- Toxicidad: La presencia de sustancias tóxicas en el agua, ocasionan problemas al ser absorbidas por las raíces, acumulándose en las hojas, llegando a alcanzar concentraciones nocivas. Los iones tóxicos más frecuentes en aguas de riego son cloro, boro y sodio.
- Coliformes totales y E Coli fecales: Para el uso en riego de alimentos que se consuman sin quitar la cáscara y hortalizas de tallo corto, no se debe exceder valores de 5.000 y 1.000 respectivamente, analizados por medio del método número más probable (NMP).

Teniendo en cuenta los valores de los parámetros presentados en la tabla 15 y verificando el cumplimiento con los valores establecido como criterios de calidad de agua admisible para uso pecuario y agrícola según el decreto 1594 de 1984 presente en los anexos 3 y 4 , se identificó que a pesar de que no existen resultados de análisis para los parámetros de estudio en su totalidad, los existentes cumplen con los valores máximos permisibles para cada uso.

Es importante para el análisis de la calidad del agua de una comunidad rural tener en cuenta los criterios específicos según el uso, pero como es presentado en el artículo 22 del decreto 3930 del 2010, donde se plantea que “en aquellos tramos del cuerpo de agua o acuífero en donde se asignen usos múltiples, los criterios de calidad para la destinación del recurso corresponderá a los valores más restrictivos de cada referencia” dando en este caso la prioridad al uso para consumo humano. Es por esto que se considera indispensable promover la implementación de métodos de tratamiento adecuados, bien sea de forma colectiva o individual. La población debe ser informada sobre riesgos potenciales del agua no apta para el consumo humano y las medidas que deben tomarse al interior de la vivienda con el fin de

asegurar el consumo de agua sin riesgo para la salud humana, esto se realizó mediante la jornada de educación ambiental planteada para cada vereda.

## 6.2. CONDICIONES DE OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA

### 6.2.1. Aforos de caudal

Los aforos realizados dieron los resultados presentados en las siguientes tablas:

Los métodos de aforo utilizados para el acueducto interveredal El Hogar son área-velocidad en los puntos: aguas arriba y aguas abajo de la bocatoma; y método volumétrico para los sobrantes del tanque de almacenamiento. Al restarle el valor de aguas abajo de la bocatoma al valor de aguas arriba de la misma se obtiene el caudal que entra al desarenador, que en este caso es de abril: 16,21 lps y mayo: 12,97 lps

**Tabla 17.** Resultados de los aforos del acueducto interveredal El Hogar

<b>Aguas arriba Bocatoma lps</b>	<b>Aguas abajo bocatoma lps</b>	<b>Sobrantes tanque de almacenamiento lps</b>
Abril: 131,06	Abril: 114,85	Mayo: 1,27
Mayo: 105,38	Mayo: 92,41	
Agosto: 20,82		
Septiembre: 44,18		

Para el acueducto veredal de Claridad todos los aforos fueron realizados con el método volumétrico. Para obtener el valor del flujo de entrada en el desarenador se resta el valor aguas abajo de la bocatoma al valor aguas arriba de la misma obteniendo en julio: 1,01 lps y agosto: 1,15 lps.

**Tabla 18.** Resultados de los aforos del acueducto veredal Claridad

<b>Aguas arriba Bocatoma lps</b>	<b>Aguas abajo bocatoma lps</b>	<b>Sobrantes tanque de almacenamiento lps</b>
Julio: 1,69	Julio: 0,54	Julio: 0,86
Agosto: 1,40	Agosto: 0,39	
Septiembre: 1,10		

El método empleado para realizar aforos en el acueducto veredal El Hogar fue el volumétrico. Teniendo en cuenta los datos anteriores se realizan los cálculos pertinentes para hallar el caudal que entra al sistema, para la bocatoma 1 julio: 0,81 lps, agosto: 1,04 lps y para la bocatoma 2 julio: 1,69 lps, agosto: 0,64 lps.

**Tabla 19.** Resultados de los aforos del acueducto veredal El Hogar

<b>Aguas arriba Bocatoma 1 lps</b> Julio: 1,74 Agosto: 1,16 Septiembre: 1,53	<b>Aguas abajo bocatoma 1 lps</b> Julio: 0,93 Agosto: 0,12
<b>Aguas arriba bocatoma 2 lps</b> Julio: 2,11 Agosto: 1,18 Septiembre: 0,64	<b>Aguas abajo bocatoma 2 lps</b> Julio: 0,42 Agosto: 0,54

Para el acueducto veredal de PISOJÉ ALTO la metodología de aforo empleada fue el volumétrico. Es importante tener en cuenta que el valor de aguas abajo de la bocatoma contiene el valor de sobrantes del desarenador ya que el aforo se realizó en un punto donde los sobrantes ya se habían regresado a la fuente, por lo tanto el resultado de la resta entre el valor aguas arriba de la bocatoma y aguas abajo, es el caudal que el desarenador emplea para su funcionamiento, los resultados de este cálculo son para julio: 1,38 lps y agosto: 0,76 lps.

**Tabla 20.** Resultados de los aforos del acueducto veredal PISOJÉ ALTO

<b>Aguas arriba bocatoma lps</b> Julio: 3,8 Agosto: 2,46 Septiembre: 1,61	<b>Aguas abajo bocatoma lps</b> Julio: 2,42 Agosto: 1,70	<b>Sobrantes desarenador lps</b> Julio: 1,87
		<b>Entrada tanque de almacenamiento lps</b> Julio: 0,90 Septiembre: 0,91

Los aforos en el tanque de almacenamiento de San Alfonso fueron realizados por el método volumétrico. Con los valores presentes en la tabla anterior se puede encontrar el caudal que sale del tanque de almacenamiento, que sería para agosto de 0,5 lps.

**Tabla 21.** Resultados de los aforos del tanque de almacenamiento de San Alfonso

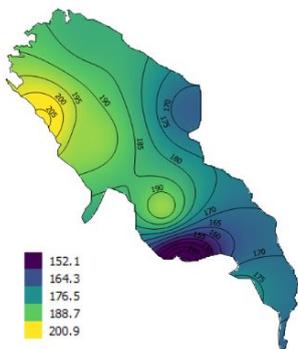
<b>Entrada tanque de almacenamiento lps</b> Agosto: 0,77	<b>Sobrantes tanque de almacenamiento lps</b> Agosto: 0,27
---	---

## 6.2.2. Oferta hídrica

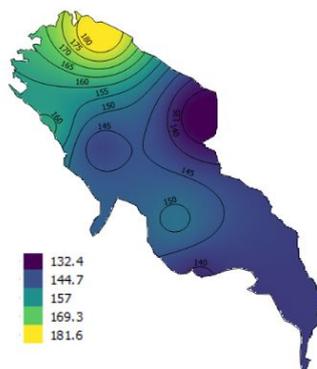
Mediante el programa Qgis se obtuvieron 12 mapas con valores mensuales para isoyetas y 12 para isotermas, posteriormente mediante herramientas del programa se calculó el valor medio de precipitación y temperatura para cada mes.

### 6.2.2.1. Isoyetas, mapas de precipitación media multianual

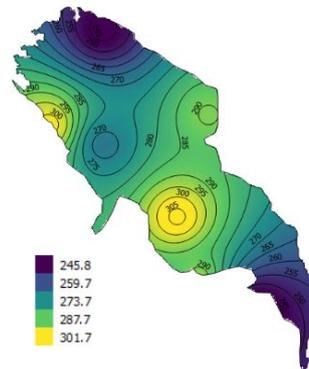
**Figura 19.** Isoyeta enero



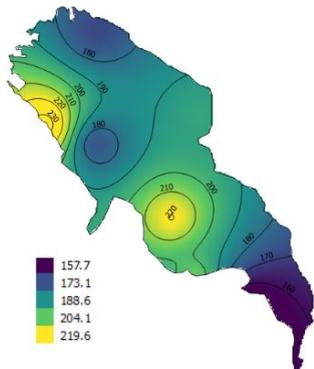
**Figura 20.** Isoyeta febrero



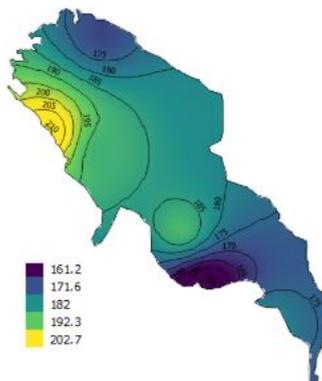
**Figura 21.** Isoyeta marzo



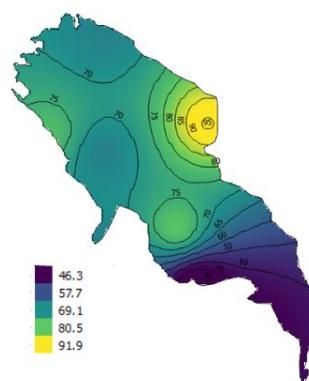
**Figura 22.** Isoyeta abril



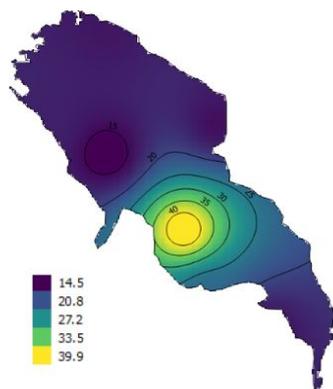
**Figura 23.** Isoyeta mayo



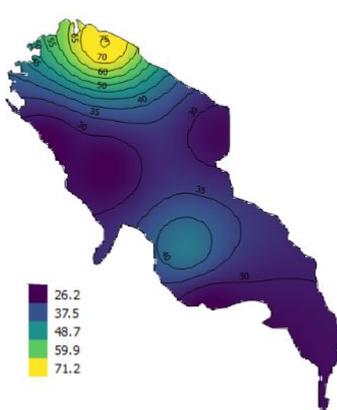
**Figura 24.** Isoyeta junio



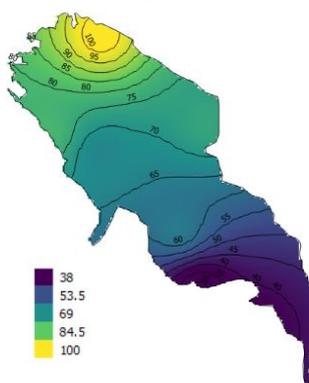
**Figura 25.** Isoyeta julio



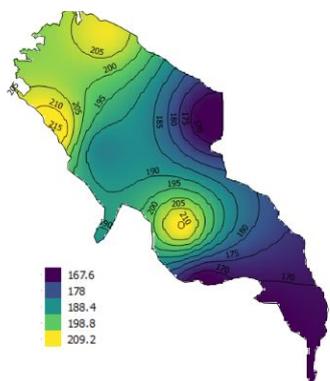
**Figura 26.** Isoyeta agosto



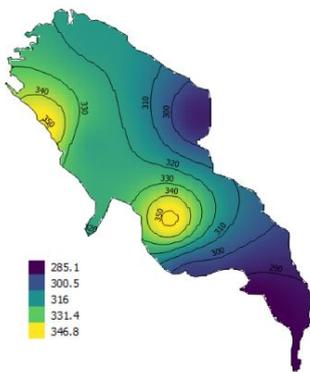
**Figura 27.** Isoyeta septiembre



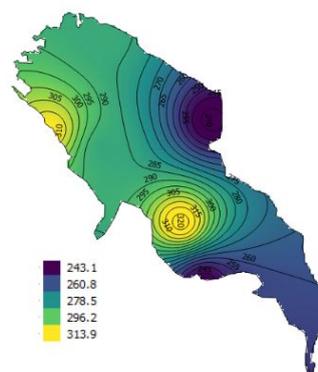
**Figura 28.** Isoyeta octubre



**Figura 29.** Isoyeta noviembre

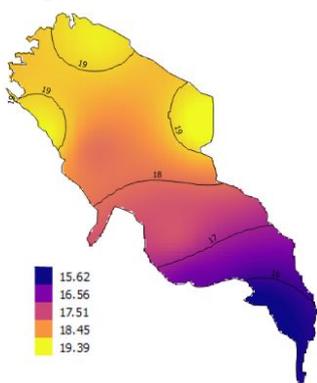


**Figura 30.** Isoyeta diciembre

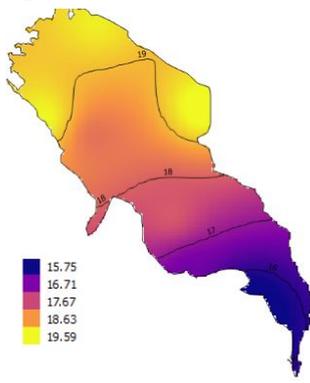


**6.2.2.2. Isotermas, mapas de temperatura media multianual**

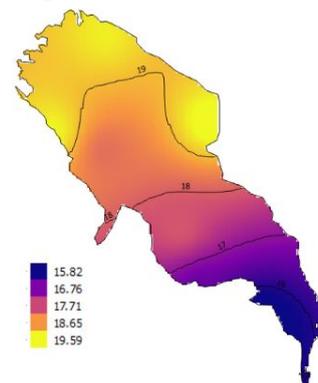
**Figura 31.** Isoterma enero



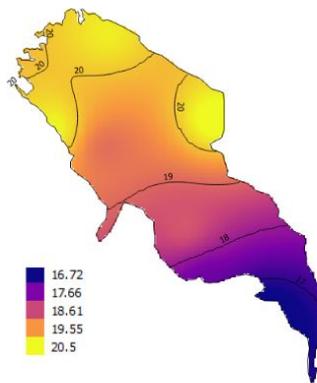
**Figura 32.** Isoterma febrero



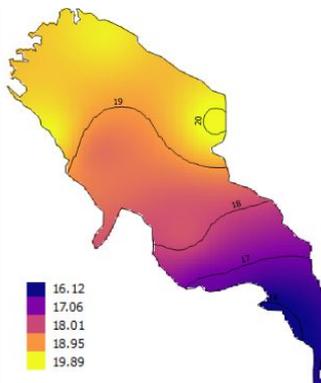
**Figura 33.** Isoterma marzo



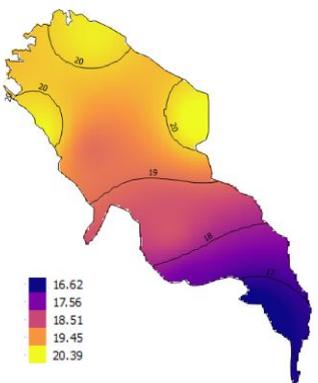
**Figura 34.** Isoterma abril

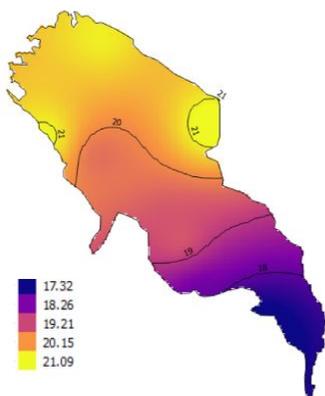
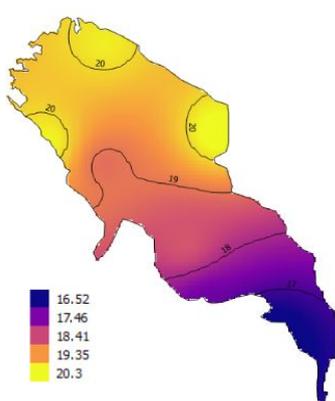
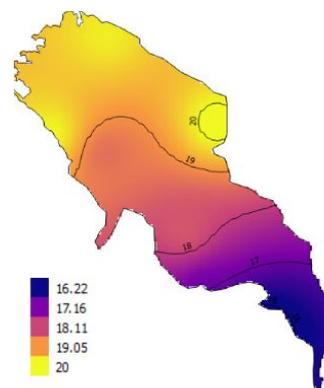
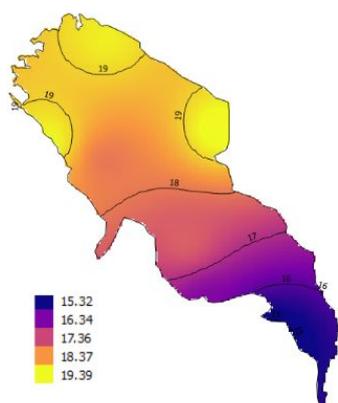
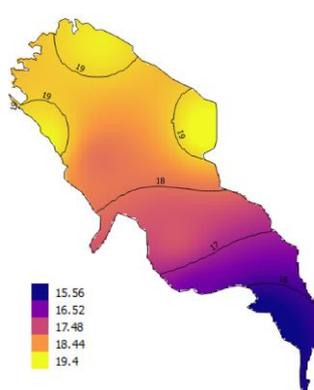
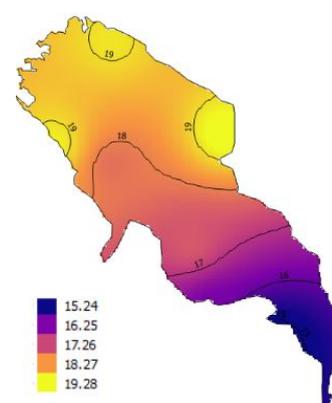


**Figura 35.** Isoterma mayo



**Figura 36.** Isoterma junio



**Figura 37.** Isotherma julio**Figura 38.** Isotherma agosto**Figura 39.** Isotherma septiembre**Figura 40.** Isotherma octubre**Figura 41.** Isotherma noviembre**Figura 42.** Isotherma diciembre

Los valores de precipitaciones y temperaturas medias mensuales de la zona de estudio, extraídos mediante el procesamiento de los mapas de isoyetas e isothermas elaborados con la ayuda del sistema de información geográfica de código libre Qgis, se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 22.** Valores de precipitaciones y temperaturas medias mensuales.

Mes	Precipitación media mensual (mm/mes)	Temperatura media mensual (°C)
Enero	180,6	17,99
Febrero	149,7	18,13
Marzo	276,2	18,18
Abril	190,0	19,09

Mayo	181,3	18,49
Junio	68,3	18,99
Julio	20,9	19,69
Agosto	36,5	18,81
Septiembre	66,6	18,59
Octubre	188,4	17,94
Noviembre	316,1	17,98
diciembre	279,7	17,77
<b>TOTAL (mm/año)</b>	<b>1954,3</b>	

### 6.2.2.3. Balance hídrico, método Thornthwaite

Los resultados del balance hídrico se encuentran en la tabla 23; para demostrar cómo se realizó el cálculo, se presenta a continuación los cálculos para el mes de enero:

Para encontrar el índice calórico (I) se utilizó la ecuación 5.4 y 5.5, teniendo en cuenta que el valor de I es la suma de los índices  $i$  de cada mes del año y que el valor de temperatura media para el mes de enero es de 17,99 °C como se muestra en la tabla 22.

$$i = \left( \frac{17,99 \text{ } ^\circ\text{C}}{5} \right)^{1,514} = 6,95$$

$$I = 6,95 + 7,03 + 7,06 + 7,60 + 7,24 + 7,54 + 7,97 + 7,43 + 7,30 + 6,92 + 6,94 + 6,82$$

$$I = 86,81$$

Para hallar el valor del exponente empírico en función de I (a) se emplea la ecuación 5.6:

$$a = (6,75 \times 10^{-7} * 86,81^3) - (7,71 \times 10^{-5} * 86,81^2) + (1,79 \times 10^{-2} * 86,81) + 0,49239$$

$$a = 1,91$$

A continuación encontramos el valor de evapotranspiración para el mes de enero:

$$EVT = 16 * \left( \frac{10 * 17,99}{86,81} \right)^{1,91}$$

$$EVT = 64,29 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta el número de días del mes y las horas de luz solar teóricas de cada día, se realiza el ajuste al valor encontrado en el punto anterior, el valor del ajuste se encuentra en la tabla 23, para el mes de enero este valor es de 0,82.

$$EVT_{\text{corregida}} = 64,29 * 0,82$$

$$EVT_{\text{corregida}} = 52,72 \text{ mm}$$

Con el valor de evapotranspiración corregido y de precipitación media, se calcula la humedad siguiendo la ecuación 5.7:

$$H = 180,6 - 52,72$$

$$H = 127,88 \text{ mm}$$

El cálculo de la reserva se realiza de la siguiente manera, para el mes de enero:

- Si  $(R_{i-1} + H) > 100$ , entonces  $R_i = 100$
- Si  $(100 + 127,88) > 100$ , CUMPLE, entonces  $R_i = 100 \text{ mm}$

Teniendo en cuenta las siguientes condiciones se encuentra el valor de la evapotranspiración real (ETR):

- Si  $(\text{Precipitación} + (R_{i-1} - EVT_{\text{corregida}})) > 0$ , entonces  $ETR = EVT_{\text{corregida}}$
- Si  $(180,6 + (100 - 52,72)) > 0$ , CUMPLE, entonces  $ETR = 52,72 \text{ mm}$

Al realizar la resta de la evapotranspiración corregida y la evapotranspiración real (ETR) se encuentra el valor del déficit de agua:

$$\text{Déficit} = 52,72 - 52,72$$

$$\text{Déficit} = 0$$

Para el cálculo del exceso se tienen en cuenta las siguientes condiciones:

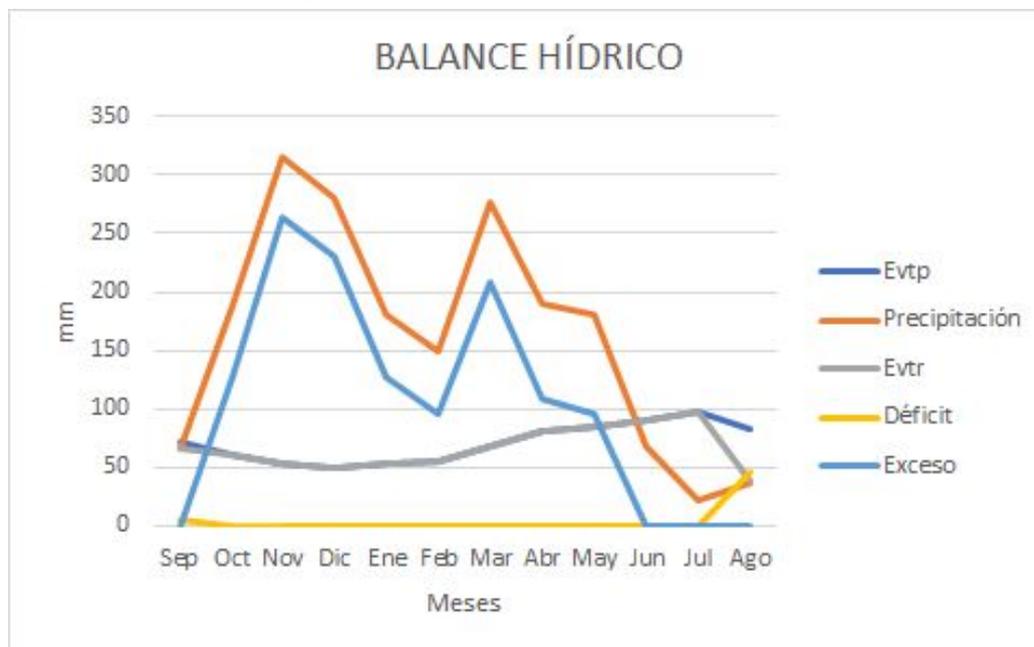
- Si  $H > 0$ , entonces

$$\text{Exceso} = 127,88 - (100 - 100)$$

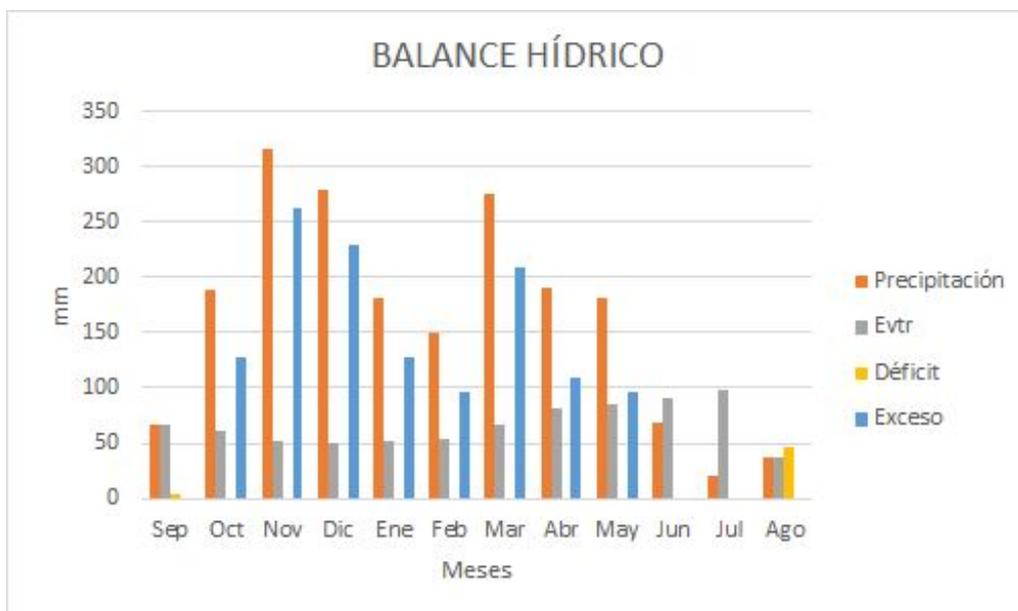
$$\text{Exceso} = 127,88 \text{ mm}$$

**Tabla 23.** Balance hídrico

	Sp.	Oc.	Nv.	Dc.	En.	Fb.	Mr.	Ab.	My.	Jn.	Jl.	Ag.
tm (°C)	18,59	17,94	17,98	17,77	17,99	18,13	18,18	19,09	18,49	18,99	19,69	18,81
i	7,30	6,92	6,94	6,82	6,95	7,03	7,06	7,60	7,24	7,54	7,97	7,43
evt (mm)	68,44	63,95	64,22	62,80	64,29	65,25	65,59	72,00	67,74	71,28	76,38	70,00
ajuste	1,04	0,95	0,82	0,79	0,82	0,83	1,03	1,12	1,26	1,27	1,28	1,19
evtp (mm)	71,18	60,75	52,66	49,61	52,72	54,15	67,56	80,64	85,35	90,52	97,76	83,29
Pp (mm)	66,6	188,4	316,1	279,7	180,6	149,7	276,2	190,0	181,3	68,3	20,9	36,5
humedad (mm)	-4,60	127,68	263,4	230,1	127,88	95,55	208,67	109,33	95,97	-22,19	-76,83	-46,82
reserva (mm)	0,00	100	100	100	100	100	100	100	100	77,81	0,97	0,00
evtr (mm)	66,58	60,75	52,66	49,61	52,72	54,15	67,56	80,64	85,35	90,52	97,76	37,44
déficit (mm)	4,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45,85
exceso (mm)	0,00	127,65	263,4	230,1	127,88	95,55	208,67	109,33	95,97	0,00	0,00	0,00

**Gráfico 2.** Representación gráfica del balance hídrico mensual.

**Fuente:** Elaboración propia.

**Gráfico 3.** Representación gráfica del balance hídrico mensual.

**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo con el balance hídrico, los meses de junio, julio, agosto y septiembre no presentan valores de exceso, dado que la evapotranspiración supera el valor de las precipitaciones medias mensuales, y el exceso representa el volumen de agua que se convierte en escorrentía. La escorrentía superficial es una expresión material de la oferta hídrica total, pero, para fines de uso del recurso hídrico es importante definir que solo una parte de esa escorrentía o caudal puede ser usado y por ello se define la “oferta hídrica disponible”. Esta oferta disponible es el resultado de considerar una parte de la oferta hídrica total para mantener y conservar los ecosistemas fluviales y las necesidades de los usuarios aguas abajo (caudal ambiental)<sup>21</sup>. El exceso solo se presenta cuando la precipitación ha compensado previamente la Evtr, es decir en los meses húmedos del año, González (2008). Para los meses de octubre a mayo que son los que presentan valores de excesos, se realizó cálculos de conversión de unidades y posteriormente se multiplicó por el valor del área de estudio el cual es de 4385,234 ha, con el fin de obtener los valores de caudal medio mensual. A continuación observamos el cálculo tipo para el mes de octubre:

- **Octubre:** exceso= 127,65  $\frac{mm}{mes}$

$$127,65 \frac{mm}{mes} * \frac{1 m}{1000 mm} = 0,12765 \frac{m}{mes}$$

$$0,12765 \frac{m}{mes} * \frac{1 mes}{31 días} * \frac{1 día}{86400 s} = 4,765 * 10^{-8} \frac{m}{s}$$

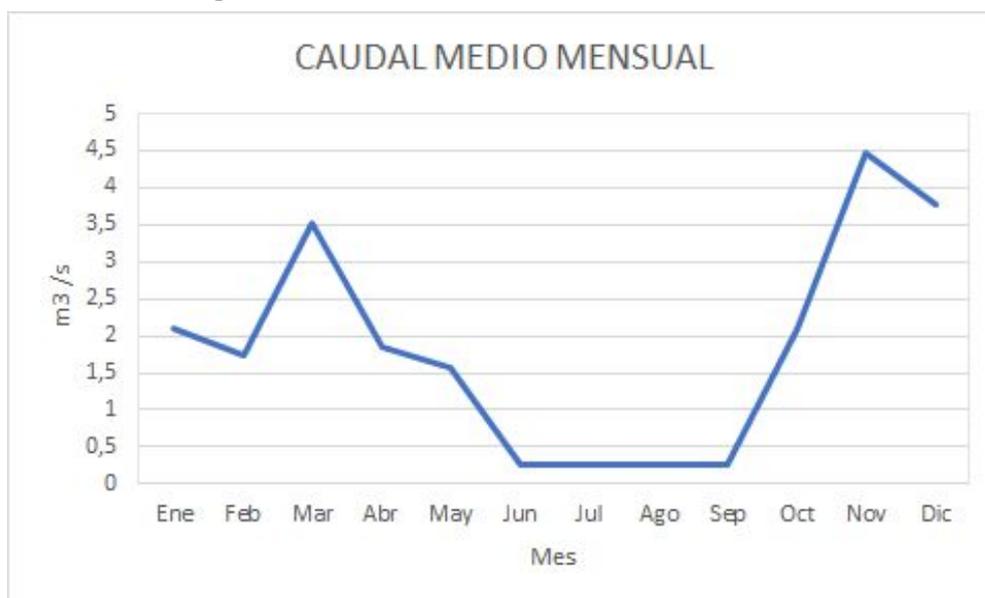
$$4,765 * 10^{-8} \frac{m}{s} * 4385,234 ha * 10^4 \frac{m^2}{ha} = 2,09 \frac{m^3}{s}$$

$$Caudal medio mensual = 2,09 \frac{m^3}{s}$$

**Tabla 24.** Valores de exceso y caudal medio mensual.

Mes	Exceso ( $\frac{mm}{mes}$ )	Caudal medio mensual ( $\frac{m^3}{s}$ )
Enero	127,88	2,09
Febrero	95,55	1,73
Marzo	208,67	3,42
Abril	109,33	1,85
Mayo	95,97	1,57
Octubre	127,65	2,09
Noviembre	263,4	4,46
Diciembre	230,1	3,77

Para los meses de junio, julio, agosto y septiembre, que no presentan valores de exceso y por tanto el caudal es nulo, el suministro de agua se da gracias al caudal base de la fuente, según González (1997) en un estudio realizado durante el fenómeno del niño de ese año, la subcuenca del río Molino aporta un valor de  $254 \frac{L}{s}$  que equivalen a  $0,254 \frac{m^3}{s}$ .

**Gráfico 4.** Comportamiento medio mensual del caudal en la zona de estudio.

**Fuente:** Elaboración propia.

**6.2.2.4. Oferta hídrica total superficial, OHTS (IDEAM, 2013a):** Volumen de agua que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial. Es el agua que fluye por la superficie del suelo que no se infiltra o se evapora y se concentra en los cauces de los ríos o en los cuerpos de agua lénticos.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 24 y adicionando en los meses de exceso cero el caudal base, la oferta hídrica que presenta el área de estudio es de 21,99 m<sup>3</sup>/s al año, lo que representa una oferta total al año de 693'563.479 m<sup>3</sup>.

**6.2.2.5. Oferta hídrica disponible, OHTD (IDEAM, 2010):** volumen de agua promedio (en millones de metros cúbicos – Mm<sup>3</sup>) que resulta de sustraer a la oferta hídrica total superficial (OHTS) el volumen de agua que garantizaría el uso para el funcionamiento de los ecosistemas y de los sistemas fluviales, y en alguna medida un caudal mínimo para usuarios que dependen de las fuentes hídricas asociadas a estos ecosistemas (caudal ambiental).

**6.2.2.6. Caudal ambiental:** de acuerdo con el Decreto 3930 de 2010, se define como: “Volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas abajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). En el Estudio Nacional del Agua- ENA 2014 se recomienda construir las curvas de duración de caudales a nivel mensual para hallar el índice de regulación hídrica y finalmente obtener el caudal ambiental, mientras que la resolución 865 de 2004 establece que se debe tomar el 25% del caudal medio mensual más bajo para determinar el caudal ecológico.

Para el estudio no se logró aplicar la metodología recomendada por el ENA 2014, que es de cerca la más acertada, pues basa su análisis en registros históricos de caudal medio diario, lo que impide este análisis porque no se cuenta con dicha información, por lo tanto se aplica la metodología propuesta descrita del MAVDT- IDEAM (2004) Resolución 865 de 2004, dando el caudal ambiental así:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ambiental}} &= 0.25 * 693'563.479 \text{ m}^3/\text{año} \\ Q_{\text{ambiental}} &= 173'390.870 \text{ m}^3/\text{año} \\ Q_{\text{ambiental}} &= 5,57 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

**6.2.2.7. Oferta hídrica neta:** Al sustraer a la oferta hídrica total el caudal ambiental obtenido, la oferta hídrica disponible está dada por:

$$\begin{aligned} \text{OHTD} &= 693'563.479 \text{ m}^3/\text{año} - 173'390.870 \text{ m}^3/\text{año} \\ \text{OHTD} &= 520'172.609 \text{ m}^3/\text{año} \\ \text{OHTD} &= 16,72 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Equivalentes a 520.17 Mm<sup>3</sup> (millones de metros cúbicos).

### 6.2.3. Demanda hídrica

Para determinar la demanda hídrica total es importante considerar los múltiples usos del agua que se presentan en la zona de estudio, como se mencionó anteriormente se presentan tres tipos de usos principales; además de la demanda de consumo humano y actividades domésticas que es la que normalmente se calcula en la fase de diseño, el recurso agua es necesario para usos como agricultura y ganadería a pequeña escala desarrolladas por la comunidad en sus predios.

Teniendo en cuenta las herramientas propuestas por Restrepo et al. (2011) en el principio 2 referente al acceso equitativo del agua para fines de usos múltiples, se considera de gran importancia la estimación de la demanda diferenciando los múltiples usos. En el caso de estudio para el corregimiento de Santa Bárbara se descartó la posibilidad de realizarlo por sectores ya que no se cuenta con información confiable necesaria de: número de animales por vivienda, la especie a la que pertenece y hectáreas cultivadas diferenciadas por especies, esto para el cálculo del consumo de agua de animales y plantas respectivamente, por lo cual se realizó únicamente la demanda en cuanto al uso para consumo humano y doméstico.

#### 6.2.3.1. Estimación de población futura

Las proyecciones de poblaciones se realizarán de la siguiente manera: una para las veredas que se abastecen del acueducto interveredal El Hogar y una proyección para cada vereda perteneciente al corregimiento de Santa Bárbara, teniendo en cuenta los periodos de diseño.

A continuación se presenta el cálculo tipo para el acueducto interveredal El Hogar, la proyección de la población se calculó con un horizonte de 15 y 25 años a través del método aritmético se obtuvieron los siguientes resultados:

- Para periodo de diseño establecido en las memorias de cálculo (15 años)

$T_f$ : 2027

$$P_f = 658 + \frac{658-1105}{2006-2018} \times (2027 - 2006)$$

$$P_f = 1440 \text{ hab}$$

- Para periodo de diseño establecido en la Resolución 330 del 2017 (25 años)

$T_f$ : 2037

$$P_f = 658 + \frac{658-1105}{2006-2018} \times (2037 - 2006)$$

$$P_f = 1813 \text{ hab}$$

Teniendo en cuenta la dotación neta máxima recomendada por el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y regulada con la resolución 330 del 2017 emanada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, se efectuaron los cálculos pertinentes para hallar el caudal máximo, del acueducto interveredal El Hogar, obteniendo los siguientes resultados:

**6.2.3.2. Dotación bruta:** Cálculo de la dotación bruta según la ecuación (5.9):

$$D_{bruta} = \frac{130 \text{ L/hab} * d}{1 - 0,25}$$

$$D_{bruta} = 173,3 \text{ L/hab} * d$$

**6.2.3.3. Caudal medio diario:** según la ecuación (5.10), el caudal medio diario es :

Para 2027

$$Q_{md} = \frac{1440 \text{ hab} * 173,3 \text{ L/hab} * d}{86400}$$

$$Q_{md} = 2,89 \text{ L/s}$$

Para 2037

$$Q_{md} = \frac{1813 \text{ hab} * 173,3 \text{ L/hab} * d}{86400}$$

$$Q_{md} = 3,64 \text{ L/s}$$

**6.2.3.4. Caudal máximo diario:** De acuerdo a la resolución 330 del 2017 se adopta un valor del coeficiente de consumo máximo diario de 1.30, por lo cual reemplazando en la ecuación (5.11) se tiene que:

Para 2027

$$QMD = 2,89 \text{ L/s} * 1,30$$

$$QMD = 3,76 \text{ L/s}$$

Para 2037

$$QMD = 3,64 \text{ L/s} * 1,30$$

$$QMD = 4,73 \text{ L/s}$$

**6.2.3.5. Caudal máximo horario:** De acuerdo a la normatividad vigente se adopta un valor del coeficiente de consumo máximo horario de 1.60, por lo tanto al reemplazar en la ecuación (5.6) obtenemos que:

Para 2027

$$QMH = 3,76 \text{ L/s} * 1,60$$

$$QMH = 6,01 \text{ L/s}$$

Para 2037

$$QMH = 4,73 \text{ L/s} * 1,60$$

$$QMH = 7,56 \text{ L/s}$$

**Tabla 25.** Resultados de las demandas futuras de consumo de agua de la población beneficiada con el acueducto interveredal.

<b>Año</b>	<b>Proyección Población</b>	<b>Dotación Neta (l/hab*día)</b>	<b>Caudal medio diario (l/s)</b>	<b>Caudal máximo diario (l/s)</b>	<b>Caudal máximo horario (l/s)</b>
2027	1440	130	2,89	3,76	6,01
2037	1813	130	3.64	4.73	7.56

Teniendo en cuenta las memorias de cálculo donde se especifica una dotación neta de  $125 L * hab/d$  y valores para un periodo de diseño de 15 años, un caudal máximo horario de 5,34 lps y un caudal máximo diario de 3,56 lps, valor que fue usado como caudal de diseño, esto a comparación con la dotación neta adoptada para el estudio con valor de caudal máximo horario de 6,01 lps y caudal máximo diario de 3,76 lps para el mismo periodo de diseño. Es importante mencionar que a pesar del cambio de población que se presentó entre la formulación y diseño del proyecto hasta la construcción y puesta en marcha, la diferencia del valor correspondiente a caudal de diseño difiere en 0,2 lps.

En la siguiente tabla se puede observar para las veredas beneficiarias de acueducto interveredal El Hogar, los datos de periodo de diseño, año de proyección, población futura, dotación neta, caudal medio diario, caudal máximo diario y caudal máximo horario; valores que fueron calculados teniendo en cuenta el año de construcción y funcionamiento del sistema.

**Tabla 26.** Datos de diseño de las veredas pertenecientes al acueducto interveredal.

<b>Vereda</b>	<b>Periodo de diseño / año de proyección</b>	<b>Proyección de población</b>	<b>Dotación neta (l/hab.día)</b>	<b>Qmd (lps)</b>	<b>QMD (lps)</b>	<b>QMH (lps)</b>
Claridad	20 años / 2022	283	130	0,57	0,74	1,18
El Hogar	15 años / 2020	390	130	0,78	1,02	1,64
Pisojé Alto	20 años/ 2022	393	130	0,79	1,02	1,64
San Alfonso	15 años/ 2027	188	130	0,38	0,49	0,78

Con el fin de obtener una vista clara sobre el estado del recurso hídrico se calcularon las demandas para todas las veredas del corregimiento, teniendo en cuenta que estas presentan una solución de agua o acueducto que toma el agua de quebradas pertenecientes al corregimiento, las demandas se calcularon para dos años de proyección (2027 y 2037).

**Tabla 27.** Resultados de demandas de las veredas del corregimiento Santa Bárbara.

<b>Vereda</b>	<b>Año de proyección</b>	<b>Población futura</b>	<b>Caudal máximo diario (lps)</b>
Claridad	2027	309	0,80
	2037	360	0,94
El Hogar	2027	467	1,22
	2037	577	1,50
Pisojé Alto	2027	477	1,24
	2037	646	1,69
San Alfonso	2027	188	0,49
	2037	229	0,60
Alto Pesares	2027	186	0,49
	2037	215	0,56
Paraiso	2027	476	1,24
	2037	569	1,48
Pisojé Bajo	2027	438	1,14
	2037	479	1,25
Santa Bárbara	2027	451	1,17
	2037	522	1,36
Santa Helena	2027	433	1,13
	2037	526	1,37
Unión Cabrera	2027	341	0,89
	2037	399	1,04

Con base en los datos de la tabla anterior podemos decir que para el año 2027 en el corregimiento de Santa Bárbara la demanda de agua por uso doméstico será de 9,81 lps, mientras que para el año 2037 será de 11,79 lps. Teniendo en cuenta la población total del corregimiento para el año 2018, se calculó el caudal máximo diario (QMD) dando un resultado de 8,05 lps.

#### 6.2.4. Índice de uso de agua, IUA

Para realizar el cálculo del índice de uso de agua para este estudio se toma el valor de la oferta hallada y el valor del caudal máximo diario, valor que corresponde a la demanda perteneciente a la población del corregimiento de Santa Bárbara que se calcula a continuación:

$$QMD = 8,05 \text{ lps} \frac{m^3}{1000 L} * \frac{86400 s}{1 \text{ día}} * \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}}$$

$$Q = 253.972,82 \frac{m^3}{\text{año}}$$

Reemplazando los valores de demanda y oferta hídrica en la ecuación de IUA (5.13) tenemos:

$$IUA = \frac{253972,82}{520 \cdot 172.609} * 100$$

$$IUA = 0,05\%$$

De acuerdo al valor de Índice de uso de agua obtenido de 0,05%, valor clasificado en la tabla 13 en la categoría muy bajo con el color Azul, se considera que la presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible. De igual manera se determina el índice de uso de agua anual para los años correspondientes al periodo de diseño con proyecciones de población de 15 y 25 años, presentes en la siguiente tabla.

**Tabla 28.** Índice de uso de agua anual

Año	Población	Demanda (m <sup>3</sup> /año)	IUA %	Clasificación
2018	3081	253.972,82	0,05	Muy bajo
2027	3764	309.591,06	0.06	
2037	4523	372.028,79	0.07	

Para los periodos de diseño establecidos tanto en las memorias de cálculo como en la normatividad vigente se encontró un índice de uso de agua anual de 0,05 a 0,07% valores que según la tabla 13 está dentro de la categoría de demanda muy baja, esto da a entender que la oferta hídrica es lo suficientemente amplia para abastecer la demanda presentada por el sistema acueducto interveredal El Hogar y por los demás acueductos que se encuentran dentro del corregimiento Santa Bárbara y contará con el caudal requerido para el desarrollo de las actividades domésticas.

Teniendo en cuenta los valores presentados en la tabla 24 en donde se observan los valores de caudal medio mensual y adicionando a esto los meses que no presentan excesos, es

evidente que en los meses secos (junio, julio, agosto y septiembre) la oferta hídrica no alcanza a cubrir la demanda que ejercen los habitantes del corregimiento y mantener al mismo tiempo el caudal ambiental, por lo que a pesar que a lo largo del año el índice de uso de resultados de demanda muy baja, es de gran importancia para ciertos meses del año hacer programas razonamiento y uso eficiente del recurso.

La relación demanda oferta hídrica para el corregimiento no pudo ser sectorizado por usos de agua, puesto que no se cuenta con información de número de animales por vivienda, la especie a la que pertenece y hectáreas cultivadas diferenciadas por especies, esto para el cálculo del consumo del sector agrícola y pecuario, por lo cual se debe hacia un futuro recopilar información más precisa que permita el cálculo de consumos diferenciado por usos para lograr un análisis completo del grado de presión sobre la fuente hídrica, por lo que el estudio está limitado a ser una descripción neta del uso doméstico.

### **6.3. CONDICIÓN ACTUAL DE LOS COMPONENTES**

En el documento memorias de cálculo entregado por la empresa Acueducto y Alcantarillado de Popayán, se observó que el diseño estaba pensado para dar cobertura a cinco veredas que son: San Alfonso, Claridad, PISOJÉ Bajo, PISOJÉ Alto y El Imperio, pero en la actualidad el acueducto interveredal abastece a las siguientes veredas: San Alfonso, Claridad, PISOJÉ Alto y El Hogar. Este hecho lleva a que exista un cambio en la población y por tanto se altere la demanda de agua. Cabe resaltar que el Acueducto Interveredal El Hogar no cuenta con ningún tipo de registros históricos de caudal.

#### **6.3.1. Acueducto interveredal El Hogar**

Las estructuras de captación del acueducto interveredal se encuentran ubicadas en la vereda Santa Helena del municipio de Popayán. Se realizó una identificación en campo y diagnóstico de los componentes del sistema; esta actividad se dividió en cuatro fases denominadas:

- Bocatoma y Desarenador
- Conducción (desarenador - tanque de almacenamiento)
- Tanque de almacenamiento
- Acueductos veredales

##### **6.3.1.1. Bocatoma y desarenador:**

Las estructuras de bocatoma y desarenador del Acueducto Interveredal El Hogar se encuentran ubicadas en una zona montañosa de la Vereda Santa Helena, corregimiento Santa Bárbara, a pesar que no se cuenta con vías pavimentadas, el acceso a la bocatoma no presenta mayor dificultad, empleando en promedio un tiempo de 15 minutos a pie; en la identificación en campo de los componentes se encontró que este cuenta con los siguientes elementos para su operación: bocatoma, rejilla, cámara de recolección, tubería de 4" tipo PVC, desarenador, cámara de sobrantes.

Se tomaron medidas de las estructuras que posteriormente se contrastaron con las memorias de cálculo, encontrando una diferencia significativa en el número de barras de la rejilla ya que en campo se observaron 52 mientras que en las memorias de cálculo 8, este cambio según información recolectada en la socialización de avances del proyecto se realizó por la ineficiencia que presentaba la rejilla al tener tan pocas varillas con tanto espaciamiento. En cuanto al desarenador y sus respectivas cámaras se evidenció una diferencia mínima en unidades.

En las estructuras se realiza mantenimiento dependiendo de la época del año ya que el clima afecta directamente la calidad del agua de la fuente, es por esto que en invierno el mantenimiento es realizado cada 3 días y en verano cada 15 días.

La vereda Santa Helena presenta diversos usos del suelo entre ellos y el más sobresaliente debido a su forma de realización extensiva el pecuario; en los linderos de la bocatoma no existe un cerramiento lo que causa que el ganado que se encuentra cerca tenga fácil acceso a la fuente dejando a su paso desechos orgánicos que contaminan directamente el recurso, esto se presenta aproximadamente a unos 10 m de la bocatoma.

**Figura 43.** Identificación de ganadería cerca a la bocatoma.



El sistema de captación según la clasificación de los tipos de captación que se encuentran en la resolución 330 del 2017, artículo 54, la bocatoma se encuentra catalogada como captación de toma en dique con rejilla; se cuenta con estructuras que ayudan a evitar la entrada de materiales sólidos de gran tamaño al desarenador y conducción, este es el caso de la rejilla y la cámara de recolección que cuenta con su respectiva tapa en concreto. La rejilla está construida en hierro con una sección removible que permite un mantenimiento sencillo y eficiente, esta no cuenta con algún tipo de recubrimiento que evite la corrosión.

El desarenador se encuentra ubicado a una distancia aproximada de 11 metros de la bocatoma, esta estructura no cuenta con una tapa que impida la entrada de material no deseado pero en el mes de enero del 2019 se construyó una estructura con una malla que ayuda a evitar la entrada de cualquier material, según el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) Título B numeral 4.8.5 para nivel de complejidad bajo del sistema “no se requiere verificar la eficiencia de remoción y la capacidad de remoción de sedimento. Solamente en el caso de desarenadores operados manualmente, la persona prestadora del servicio debe verificar mensualmente la eficiencia del proceso de remoción y disposición de los sedimentos retenidos por el desarenador”. El tiempo de llenado aproximado es de 17 minutos.

**Tabla 29.** Estructura de bocatoma.

Estructura	Material	Medidas	Registro fotográfico
Rejilla	Hierro	Largo: 1,3 m Ancho: 0,30 m Espacio entre barras: 0,02 m Ancho de la barra: ¼ pulgada Número de barras: 52 Lámina de agua sobre la rejilla: 0,015 m	
Presa	Concreto	Largo: 3,85 m Ancho de muro: 0,35 m Profundidad: 0,56 m Borde libre: 0,17 m	
Cámara de recolección	Concreto	Largo: 0,41 m Ancho 0,41m Tapa: 0,55 m x 0,55 m Profundidad: 0,50 m	

Tubería de captación y aducción hasta el desarenador	PVC	Diámetro: 4 pulgadas Longitud: 15 m	
--	-----	--	---

A continuación se realiza el cálculo de caudal captado, con base en las ecuaciones 5.14, 5.15 y 5.16:

$$A_{total} = 0,3 * 1,3$$

$$A_{total} = 0,39 \text{ m}^2$$

$$A_{neta} = \left( \frac{0,02}{0,02+0,00635} \right) * 0,39$$

$$A_{neta} = 0,296 \text{ m}^2$$

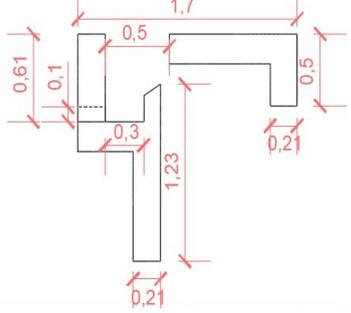
$$Q_{captado} = 0,3 * 0,296 * \sqrt{2 * 9,8 * 0,015}$$

$$Q_{captado} = 0,0482 \text{ m}^3/\text{s}$$

El caudal que capta la bocatoma del acueducto interveredal es de 0,0482 m<sup>3</sup>/s.

**Tabla 30.** Estructura del desarenador.

Estructura	Material	Medidas	Registro fotográfico
Cámara de entrada	Concreto	Ancho: 0,92 m Largo: 0,68 m Ancho de muro: 0,21 m Profundidad: 0,72 m Tubería: 4" PVC	

Cámara de sobrantes	Concreto	Ancho: 0,90 m Largo: 0,98 m Ancho de muro: 0,21 m Profundidad: 0,44 m Tubería: 4" PVC	
Zona de sedimentación	Concreto	Ancho: 1,68 m Largo: 4,55 m Ancho de muro: 0,21 m Profundidad máxima: 1,53 m Desague: 0,42 m x 0,42 m	
Vertedero	Concreto	Ancho: 1,26 m Ancho de muro: 0,21 m  Vista lateral	
Cámara de lavado	Concreto	Ancho: 0,83 m Largo: 0,83 m Ancho de muro: 0,21 m	

### 6.3.1.2. Conducción

La conducción entre el desarenador y tanque de almacenamiento se encuentran en una zona montañosa a una distancia aproximada de 12 kilómetros, a lo largo de los años y procesos de diseño, construcción y funcionamiento, la conducción ha sufrido cambios importantes en el trazado de las redes, esto debido a terceros que no aprobaron el paso de la

tubería por sus terrenos o caso específico de un tramo de tubería que comprende aproximadamente 15 m la cual atraviesa la vía Popayán-Coconuco, por una alcantarilla (Figura 49). La tubería sale del desarenador en un diámetro de 4 pulgadas, que a lo largo del trayecto se reduce a 2 pulgadas y posteriormente aumenta a 3 pulgadas, diámetro con el que llega al tanque de almacenamiento. Este cambio de diámetros fue realizado por el Ingeniero Alvaro Dorado, el cual realizó el diseño del sistema, con el fin de propiciar una presión adecuada para que el flujo de agua logre subir hasta el tanque de almacenamiento ya que desde el desarenador hasta el punto donde la tubería atraviesa la alcantarilla de la vía Popayán-Coconuco el fluido llega por gravedad pero en este punto la topografía del terreno cambia.

Iniciando el recorrido se encuentran dos ventosas, las cuales se encargan de sacar e introducir aire en la conducción estás siguen los requerimientos encontrados en la resolución 330 del 2017 artículo 66.

**Figura 44.** Válvula de ventosa.



Existe un tramo que es llamado por los operarios viaducto metálico de 12 m en este la tubería de 4" se encuentra por fuera siendo sostenida por alambre representando un gran peligro para el normal funcionamiento (Figura 45), en seguida se encuentra una válvula de lavado o purga que se abre cada 15 o 20 días dependiendo de la época del año durante un tiempo determinado hasta conseguir que el agua de salida sea de la calidad física deseada, es decir, hasta que se evidencie una reducción en la turbidez, el tiempo estimado para esto es de 45 minutos, unos metros adelante se presenta una reducción de tubería a 2", existe un tramo de tubería que presenta un arreglo que simula ser una ventosa, este cuenta con un cerramiento que ayuda a que el ganado no la deteriore (Figura 47), posteriormente se encuentra un viaducto de cemento con tubería de 2" que cuenta con una válvula de lavado a la que se le hace uso en los mismos tiempos de la válvula mencionada anteriormente; posteriormente se cuenta con una llave de paso y válvula de lavado de 3" ubicadas al lado de la vía Popayán - Coconuco, la cual se encuentra fuera de uso ya que resulta difícil su manipulación esto debido a daños causados por el ganado que al no estar cercado pasan encima de la válvula (Figura 48), en seguida se encuentra el tramo de conducción que atraviesa la alcantarilla (Figura 49 y 50).

**Figura 45.** Viaducto metálico 4"



**Figura 46.** Válvula de lavado 4"



**Figura 47.** Tramo de tubería con simulación de ventosa



**Figura 48.** Llave de paso y válvula de lavado 3"



**Figura 49.** Tubería que atraviesa la alcantarilla



**Figura 50.** Tubería que atraviesa la alcantarilla



La conducción atraviesa 7 fincas que hacen uso del agua por acuerdos previos, en estos el agua es utilizada para consumo doméstico y en algunos casos como bebedero para el ganado, como se aprecia en la siguiente figura.

**Figura 51.** Bebedero del ganado.



#### **6.3.1.3. Tanque de Almacenamiento:**

El tanque de almacenamiento está ubicado en la vereda Pisojé Bajo a 12 kilómetros de la bocatoma, la entrada y salida de flujo es a través de un tubo de 3 pulgadas tipo PVC, el tanque fue construido en concreto, cuenta con una entrada para realizar el mantenimiento, la frecuencia con la que este se realiza depende de la época del año, pero normalmente es una vez cada dos meses y este está a cargo de las veredas que se benefician del servicio, no cuenta con macromedidores; la estructura tiene un espesor de muro de 20 cm, largo de 7,41 m, ancho de 7,38 m, profundidad total de 3,09 m y borde libre de 0,45 m cumpliendo con lo establecido en el aspecto 3 del artículo 79 de la resolución 330 de 2017, de igual manera cumple con lo estipulado en la RAS 2010 título B numeral 9.3.6. Facilidad de mantenimiento: "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". El tanque se encuentra esmaltado en cemento y presenta 4 ductos de ventilación, tiene un tiempo de vaciado de 2 horas y 6 horas de llenado, la válvula de entrada, salida y el bypass tienen su respectiva caja, la profundidad de agua es de 2,64 m lo que indica que la estructura tiene una capacidad de 129,2 m<sup>3</sup>, en época de invierno se presentan sobrantes, se realizaron aforos volumétricos de estos, dando un caudal de 1,3 l/s que son usados en su totalidad, en época de verano el flujo de sobrantes disminuye, los sobrantes son utilizados para consumo doméstico, psicola y ganadero a pequeña escala de la finca en la que se encuentra el tanque.

De acuerdo con la resolución 330 del 2017 donde establece que “la capacidad de almacenamiento debe ser igual a  $\frac{1}{3}$  del volumen distribuido a la zona que va a ser abastecida en el día de máximo consumo” es decir:

$$\text{Capacidad del tanque} : \frac{1}{3} QMD$$

$$\text{Capacidad del tanque} : \frac{1}{3}(3,76 \text{ Lps})$$

$$\text{Capacidad del tanque} : 1,25 \text{ Lps}$$

$$\text{Capacidad del tanque} : 1,25 \text{ Lps} * \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ día}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}$$

$$\text{Capacidad del tanque} : 108,2 \text{ m}^3$$

Con lo anterior se evidencia una diferencia entre la capacidad del tanque hallada con el dimensionamiento real y la estimada de la normatividad vigente, de  $21 \text{ m}^3$ , esto puede deberse a los cambios en el dimensionamiento hechos por la comunidad al momento de la construcción.

El tanque de almacenamiento se diseñó para un caudal de diseño de  $5,34 \text{ l/s}$ , dando unas medidas definitivas de H  $3 \text{ m}$  y L  $7,55 \text{ m}$ , incluyendo borde libre de  $0,30 \text{ m}$ , medidas que no fueron respetadas en su totalidad al momento de la construcción. El tanque de almacenamiento del acueducto interveredal El Hogar presenta según lo estipulado en la RAS literal B.9.3.1 Tipo de tanque, una clasificación de tanque semienterrado; la estructura es de tipo cuadrada, brindando estabilidad y economía al momento de edificarla.

**Figura 52.** Entrada de flujo al tanque de almacenamiento tubería 3" PVC



**Figura 53.** Sobrantes del tanque de almacenamiento tubería 3" PVC



**Figura 54.** Tanque de almacenamiento



### **6.3.2. ACUEDUCTOS VEREDALES:**

#### **6.3.2.1. Vereda Claridad**

El sistema de acueducto de la vereda Claridad capta sus aguas de la fuente superficial denominada quebrada La Mina, perteneciente a la subcuenca del Río Pisojé. Este sistema cuenta con los siguientes elementos para su operación: bocatoma, rejilla, desarenador, red de conducción, tanque de almacenamiento y red de distribución. Ninguna estructura cuenta con un cerramiento adecuado, todas las estructuras se encuentran ubicadas dentro de la vereda en una zona de difícil acceso para animales.

En la bocatoma se construyó una estructura rudimentaria la cual sostiene una malla fina que cubre gran parte de la estructura de captación, esto con el fin de que no se acumule la hojarasca en las rejillas reduciendo el caudal captado. La bocatoma se encuentra catalogada como captación de toma en dique con rejilla, este tipo de captación consiste en una estructura estable de forma rectangular localizada en el fondo del cauce, dispuesta perpendicularmente a la dirección de la corriente, cuenta con una rejilla metálica para retener los materiales que sean transportados por la corriente. La estructura es removible lo que permite un mantenimiento sencillo y eficiente, se encuentra construida en hierro, de tal forma que se facilite la limpieza de los materiales que se adhieren a estas, se encuentran aislados con algún tipo de pintura que permite su conservación de la corrosión.

Teniendo en cuenta las ecuaciones 5.14, 5.15 y 5.16 y el dimensionamiento de la rejilla presente en la tabla 31, se encuentra el caudal captado por la bocatoma, del cual se muestran los resultados a continuación:

- Área total= 0,025 m<sup>2</sup>
- Área neta = 0,015 m<sup>2</sup>
- Caudal captado = 0,002 m<sup>3</sup>/s = 2,03 lps

El desarenador cuenta con tapa que impide la entrada de material no deseado, se realiza mantenimiento una vez al mes, el desarenador no cuenta con flujo de sobrantes, ya que la tubería de estos fue sellada. La red de conducción entre el desarenador y el tanque de almacenamiento se encuentra en una zona montañosa a una distancia aproximada de 960 m, el tanque de almacenamiento tiene un revestimiento de cemento esmaltado, no cuenta con macromedidores, presenta 4 ductos de ventilación que no tienen la protección necesaria para evitar el ingreso de insectos y su respectiva tapa en concreto, tiene un solo compartimiento, cuenta con una entrada para realizar mantenimiento el cual es una vez cada dos meses, tiene sus respectivas cajas de entrada y salida; según el RAS 2010 literal B.9.3.1 Tipo de tanque, este es de tipo tanque superficial.

Basados en la resolución 330 del 2017 se encuentra la capacidad del tanque de almacenamiento, teniendo que el tanque fue construido en el 2002 con un periodo de diseño de 20 años, se toman los valores de QMD presentes en la tabla 26.

$$\text{Capacidad del tanque} : \frac{1}{3}(0,74 \text{ Lps})$$

$$\text{Capacidad del tanque} : 0,25 \text{ Lps}$$

$$\text{Capacidad del tanque} : 0,25 \text{ Lps} * \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ día}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}$$

$$\text{Capacidad del tanque} : 21,19 \text{ m}^3$$

Según información entregada por el actual presidente de la junta de acción comunal de la vereda al momento de la construcción del tanque de almacenamiento no se respetó el dimensionamiento entregado, es por esto que la capacidad geométrica del tanque es de 45,05  $m^3$  Teniendo en cuenta que el desarenador no tiene sobrantes y por tanto pasa todo el flujo de agua que capta la rejilla, se realizó el mismo cálculo anterior con el valor de la capacidad del tanque, dando como resultado 58,46  $m^3$ , la cual es mucho mayor que la capacidad real.

**Tabla 31.** Dimensionamiento estructuras acueducto veredal Claridad

Estructura	Material	Medidas	Registro fotográfico
Rejilla	Hierro	Largo:0,25 m Ancho: 0,10 m Espacio entre barras: 0,01 m Ancho de barras: ¼ pulgada Número de barras: 11 Lámina de agua sobre la rejilla: 0,01 m	

Desarenador	Concreto	Ancho: 1,12 m Largo: 2,95 m Ancho de muro: 0,14 m	
Tanque de almacenamiento	Concreto	Ancho: 4,46 m Largo: 4,43 m Ancho de muro: 0,18 m Profundidad de agua: 2,7 m Borde libre: 0,15 m Tapa: 0,61 m x 0,71 m	

**Figura 55.** Acueducto vereda Claridad



**Figura 56.** Malla de cubrimiento de la bocatoma



**Figura 57.** Sobrantes vereda Claridad



### 6.3.2.2. Vereda El Hogar

El sistema de acueducto de la vereda el Hogar se encuentra ubicado en su totalidad en la misma vereda, este capta sus aguas de dos fuentes superficiales, la quebrada Cerro Alto y Eliseo Lame. El sistema cuenta con los siguientes elementos para su operación: desarenador 1, rejilla 1, desarenador 2, rejilla 2, red de conducción, cámara de entrada y sobranes, desarenador principal, tanque de almacenamiento y red de distribución. En cercanía a la planta desarenadora 1 se encuentran plantaciones forestales de Cartón Colombia y Aguas arriba de la planta desarenadora 2 hay presencia de ganado por temporadas según comenta la presidenta de la JAC de la vereda. El sistema no cuenta con un cerramiento pero está ubicado en una zona de difícil acceso para animales.

El mantenimiento de las estructuras depende principalmente de la época del año, este se realiza una vez al mes en el desarenador principal, mientras que en los desarenadores es cada 15 días y en el tanque de almacenamiento se realiza cada 4 meses. Los desarenadores tienen tres cámaras cada una y cuentan con una rejilla que evita la entrada de materiales de gran tamaño al sistema, esta es removible permitiendo un mantenimiento sencillo y eficiente, están construidas en hierro de tal forma que se facilite la limpieza de los materiales que se adhieren a estas; estos se encuentran ubicados a una distancia aproximada de 25 metros entre sí y a 50 m del desarenador principal.

Con base en las ecuaciones 5.14, 5.15 y 5.16, y el dimensionamiento de la rejilla presente en la tabla 32, se encuentra el caudal captado para los tanques desarenadores y el desarenador principal. Como los tanques desarenadores tienen las mismas medidas en rejilla se realiza un solo cálculo, el cual se presenta a continuación:

- Área total= 0,037 m<sup>2</sup>
- Área neta = 0,016 m<sup>2</sup>
- Caudal captado = 0,002 m<sup>3</sup>/s = 2,17 lps

Para el desarenador principal, se realizan los mismos cálculos, dando los siguientes resultados:

- Área total= 0,026 m<sup>2</sup>
- Área neta = 0,012 m<sup>2</sup>
- Caudal captado = 0,002 m<sup>3</sup>/s = 1,55 lps

El valor de caudal captado en este caso de 1,55 lps es el correspondiente al valor de caudal que entra en el desarenador.

El tanque de almacenamiento tiene un revestimiento en cemento esmaltado y su respectiva tapa en concreto, no tiene ductos de ventilación ni macromedidores, cuenta con unas ventanas ubicadas a los lados que están protegidas por una malla que ayudan con la ventilación y un solo compartimento, tiene su respectiva entrada para realizar el

mantenimiento; según el RAS 2010 literal B.9.3.1 Tipo de tanque, este es de tipo semienterrado.

Para calcular la capacidad del tanque se sigue lo estipulado en la resolución 330 del 2017, teniendo en cuenta que el tanque fue construido en el 2005 con un periodo de diseño de 15 años se toman los valores de QMD presentes en la tabla 26.

$$\text{Capacidad del tanque} : \frac{1}{3} 1,02 \text{ Lps}$$

$$\text{Capacidad del tanque} : 0,34 \text{ Lps}$$

$$\text{Capacidad del tanque} : 0,34 \text{ Lps} * \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ día}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}$$

$$\text{Capacidad del tanque} : 29,24 \text{ m}^3$$

Haciendo los cálculos para hallar el volumen de agua que puede almacenar el tanque basado en el dimensionamiento presente en la tabla 32 se encuentra que este valor es de 27,1  $\text{m}^3$  lo que nos muestra una diferencia de 2,14  $\text{m}^3$ .

**Tabla 32.** Dimensionamiento estructuras acueducto veredal El Hogar

Estructura	Material	Medidas	Registro fotográfico
Rejillas: Tanques desarenadores	Hierro	Ancho:0,37 m Largo: 0,10 m Número de barras: 22 Espacio entre barras: 0,005m ancho de barra: ¼ pulgada Lámina de agua sobre la rejilla: 0,01 m	
Rejilla desarenador principal	Hierro	Ancho:0,22 m Largo: 0,12 m Número de barras: 19 Espacio entre barras:0,01m ancho de barra: ¼ pulgada Lámina de agua sobre la rejilla: 0,005 m	

Desarenador	Concreto	Ancho: 1,00 m Largo: 4,30 m Ancho de muro: 0,15 m	
Tanque de almacenamiento	Concreto	Ancho: 4,60 m Largo: 4,12 m Ancho de muro: 0,18 m Profundidad de agua: 1,7 m Borde libre: 0,35 m	
		Tapa: 0,60 m x 0,64 m	

**Figura 58.** Desarenador 1 vereda El Hogar



**Figura 59.** Desarenador 2 vereda El Hogar



**Figura 60.** Captación vereda El Hogar



**Figura 61.** Captación vereda El Hogar



### 6.3.2.3. Vereda Pisojé Alto

El sistema de acueducto de la vereda Pisoje Alto capta sus aguas de la fuente superficial llamada quebrada Patico. Este cuenta con los siguientes elementos para su operación: bocatoma, rejilla, desarenador, red de conducción, tanque de almacenamiento y red de distribución.

Según la clasificación de tipos de captación de la resolución 330 del 2017, artículo 54, la bocatoma al igual que en la vereda Claridad, se encuentra catalogada como captación de toma en dique con rejilla, cuenta con una rejilla metálica para retener los materiales que sean transportados por la corriente, esta presenta corrosión pues no está protegida con algún tipo de revestimiento, fue construida en hierro pero presenta dificultad para ser removida lo que impide un mantenimiento eficaz.

Para realizar el cálculo de caudal captado se utilizó el dimensionamiento de la rejilla el cual se encuentra en la tabla 33 y las ecuaciones 5.14, 5.15 y 5.16.

- Área total= 0,042 m<sup>2</sup>
- Área neta = 0,026 m<sup>2</sup>
- Caudal captado = 0,003 m<sup>3</sup>/s = 3,41 lps

Con base en el caudal captado y el aforo de sobrantes en el desarenador, presente en la tabla 20, se determina el caudal derivado en el desarenador:

$$Q \text{ derivado} = Q \text{ captado} - Q \text{ excesos}$$

$$Q \text{ derivado} = 3,41 - 2,12$$

$$Q \text{ derivado} = 1,29 \text{ lps}$$

El mantenimiento en el desarenador se realiza una vez al mes, la cámara de entrada tiene una tapa provisional en tablas madera. La red de conducción presenta una longitud aproximada de 2,5 km entre desarenador y tanque de almacenamiento. El tanque de almacenamiento no cuenta con macromedidores de ningún tipo, presenta dos compartimentos, tiene 4 ductos de ventilación los cuales no presentan la forma adecuada para evitar la entrada de cualquier elemento o animal, no cuenta con algún tipo de revestimiento, no presenta cajas de entrada o salida, el tanque de almacenamiento tiene dos entradas para realizar el mantenimiento el cual se realiza cada que la comunidad observa que el agua les llega a la casa con turbiedad esto según la presidenta de la junta de acción comunal de la vereda; según el RAS 2010 literal B.9.3.1 Tipo de tanque, este es de tipo enterrado, este tanque de almacenamiento no presenta flujo de sobrantes.

Para determinar la capacidad del tanque de almacenamiento según la resolución 330 del 2017 se realizaron los siguientes cálculos, teniendo en cuenta el caudal máximo diario (QMD) de la vereda presente en la tabla 26:

$$\text{Capacidad del tanque} : \frac{1}{3}(1,02 \text{ Lps})$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidad del tanque} &: 0,34 \text{ Lps} \\ \text{Capacidad del tanque} &: 0,34 \text{ Lps} * \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ día}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \\ \text{Capacidad del tanque} &: 29,44 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

En el 2017 se construyó un segundo tanque de almacenamiento al lado del primero, ya que según manifiesta la presidenta de la junta de acción comunal existía desabastecimiento, teniendo en cuenta el dimensionamiento que se observa en la tabla 33 se calculó el volumen de las cámaras del tanque, dando como resultado para la cámara uno: 19,4 m<sup>3</sup> y para la cámara dos: 18,5 m<sup>3</sup>, lo que suma un total de 37,88 m<sup>3</sup>.

**Tabla 33.** Dimensionamiento estructuras acueducto veredal Pisojé Alto

Estructura	Material	Medidas	Registro fotográfico
Rejilla	Hierro	Ancho:0,35 m Largo: 0,12 m Número de barras: 10 Espacio entre barras: 0,02 ancho de barra: ½ pulgada Lámina de agua sobre la rejilla: 0,01 m	
Desarenador	Concreto	Ancho: 1,30 m Largo: 4,27 m Ancho de muro: 0,20 m	
Tanque de almacenamiento	Concreto	Largo total: 9,11 m Ancho de muro: 0,25 m Profundidad de agua: 1,4 m Borde libre: 0,46 m <b>Cámara 1</b> Ancho: 4,00 m Largo: 4,46 m <b>Cámara 2</b> Ancho: 3,50 m Largo: 4,65 m	
		<b>Tapas:</b> 0,60 m x 0,35	

**Figura 62.** Captación Acueducto de la vereda Pisojé Alto



**Figura 63.** Captación Acueducto de la vereda Pisojé Alto



**Figura 64.** Acueducto de la vereda Pisojé Alto



#### **6.3.2.4. Vereda San Alfonso**

La vereda San Alfonso no cuenta con un acueducto veredal, esta obtiene el suministro directamente del acueducto interveredal, donde el agua sale del tanque de almacenamiento principal a un tanque de almacenamiento secundario ubicado en la vereda San Alfonso a aproximadamente 1,5 Km, de donde finalmente se distribuye el agua a los usuarios de esta vereda.

El tanque de almacenamiento según el RAS 2010 literal B.9.3.1 Tipo de tanque, es de tipo semienterrado, este presenta un revestimiento en cemento esmaltado y su respectiva tapa en concreto, el diámetro de la tubería tanto de entrada como de salida es de 1 pulgada, cuenta con 4 ductos de ventilación en PVC que no presentan la forma adecuada para evitar el ingreso de elementos o animales, cuenta con una entrada para realizar mantenimiento el cual se lleva a cabo una vez cada tres meses, no tiene macromedidores de ningún tipo, de acuerdo al nivel de complejidad bajo el tanque tiene un solo compartimiento pero no presenta una

tubería de paso directo, cuenta con sus respectivas cajas de entrada y salida y un cerramiento para evitar el paso de animales, el tanque de almacenamiento presenta en época de invierno un flujo constante de sobrantes.

Para hallar la capacidad del tanque de almacenamiento al igual que con las veredas anteriores se siguen lo establecido en la resolución 330 del 2017, el cálculo se realiza teniendo en cuenta que el tanque fue construido en el 2012 con un periodo de diseño de 15 años, se toman los valores de QMD presentes en la tabla 26.

$$\text{Capacidad del tanque} : \frac{1}{3}(0,35 \text{ Lps})$$

$$\text{Capacidad del tanque} : 0,12 \text{ Lps}$$

$$\text{Capacidad del tanque} : 0,12 \text{ Lps} * \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ día}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}$$

$$\text{Capacidad del tanque} : 10,14 \text{ m}^3$$

La capacidad del tanque según el dimensionamiento que se encuentra en la tabla 34, es de 17,81 m<sup>3</sup>, podemos observar que existe una diferencia de 7,67 m<sup>3</sup> entre la capacidad teórica y la real.

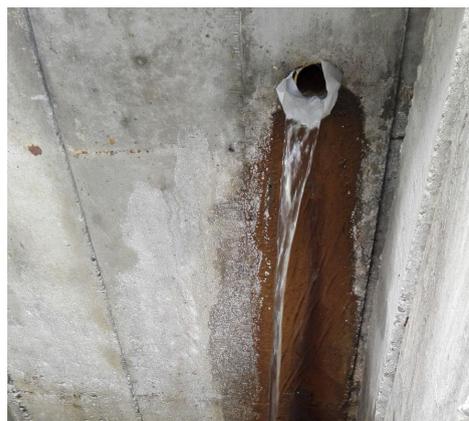
**Tabla 34.** Dimensionamiento tanque de almacenamiento vereda San Alfonso.

Estructura	Material	Medidas	Registro fotográfico
Tanque de almacenamiento	Concreto	Ancho: 3,33 m Largo: 3,60 m Ancho de muro: 0,20 m Profundidad de agua: 1,9 m Borde libre: 0,20 m	

**Figura 65.** Entrada de flujo tanque de almacenamiento vereda San Alfonso



**Figura 66.** Sobrantes tanque de almacenamiento vereda San Alfonso



**Tabla 35 .** Resumen de falencias en el sistema acueducto interveredal El Hogar

<b>Acueducto</b>	<b>Falencias</b>
Interveredal El Hogar	<p>Bocatoma:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Inconvenientes con la comunidad de Santa Helena por el acceso al recurso.</li> <li>● Fácil acceso de personas y animales tanto a la fuente de abastecimiento como a las estructuras.</li> </ul> <p>Conducción:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Cambios importantes en el trazado de las redes por desacuerdos con terceros para pasar tubería por sus terrenos.</li> <li>● Viaducto metálico tramo de tubería donde esta se encuentra por fuera de viaducto sostenida por alambre.</li> <li>● Falta de estructuras o cajas de protección para las válvulas.</li> <li>● Válvula de lavado fuera de uso, por daño ocasionado por el paso del ganado.</li> <li>● Tramo de tubería que atraviesa la alcantarilla en la vía Popayán - Coconuco, no presenta el anclaje adecuado a la entrada de esta.</li> </ul> <p>Tanque de almacenamiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Falta de medidores de caudal y presión a la entrada del tanque.</li> <li>● Los ductos de ventilación no cuentan con una protección (malla) que impida el ingreso de objetos o animales no deseados.</li> <li>● El tanque de almacenamiento presenta en invierno una cantidad importante de sobrantes.</li> </ul>
Claridad	<p>Bocatoma y desarenador:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● No cuenta con el cerramiento adecuado.</li> <li>● La frecuencia del mantenimiento no es la adecuada por las condiciones que se presentan alrededor de las estructuras, debido a la cantidad de hojarasca que cae sobre la rejilla limitando el caudal de entrada.</li> <li>● El desarenador no tiene salida de sobrantes</li> </ul> <p>Tanque de almacenamiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Los ductos de ventilación no cuentan con una protección (malla) que impida el ingreso de objetos o animales no deseados.</li> <li>● No cuenta con medidores de ningún tipo.</li> <li>● El mantenimiento no es realizado a fondo y de manera adecuada.</li> </ul>
El Hogar	<p>Tanque de almacenamiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● No presenta ductos de ventilación pero cuenta con unas ventanas a los lados del tanque que ayudan con la ventilación.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Falta de medidores de caudal y presión a la entrada.</li> </ul>
Pisojé Alto	<p>Bocatoma:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● La rejilla no está revestida por algún material que impida la corrosión y no es removible afectando la correcta limpieza.</li> <li>● No se tiene una frecuencia de mantenimiento establecida.</li> </ul> <p>Desarenador:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● las tapas tanto de la cámara de entrada como de la salida no cuentan con la tapa adecuada.</li> <li>● Se presenta en época de invierno un volumen constante de sobrantes y en época de verano menor cantidad de estos.</li> <li>● No se tiene una frecuencia de mantenimiento establecida.</li> </ul> <p>Tanque de almacenamiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● No se encuentra revestido.</li> <li>● Los ductos de ventilación no presentan la forma adecuada pues no tienen la curva de 180° y estos carecen de la malla protectora.</li> <li>● No se tiene una frecuencia de mantenimiento establecida.</li> <li>● No cuenta con medidores de ningún tipo.</li> </ul>
San Alfonso	<p>Tanque de almacenamiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Los ductos de ventilación no presentan la forma adecuada pues no tienen la curva de 180° y estos carecen de la malla protectora.</li> <li>● El tanque de almacenamiento no cuenta con medidores de ningún tipo.</li> </ul>

## 7. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se mencionan a continuación para el mejoramiento del suministro se presentan para: el acueducto interveredal El Hogar y los acueductos veredales, esto teniendo en cuenta el análisis realizado.

### 7.1. ACUEDUCTO INTERVEREDAL EL HOGAR

- Debido a la expansión de la frontera agrícola y al fácil acceso que se tiene en la zona de la bocatoma y desarenador es importante la construcción de un cerramiento para evitar la entrada y acercamiento de animales tanto a la fuente de abastecimiento como a las estructura, pues estos dejan sus desechos afectando la calidad del agua; la construcción de esta protección lleva a cumplir lo establecido en la consideración 7 del artículo 53 de la resolución 330 del 2017.
- Con el fin de mantener y mejorar la vida útil de la red de conducción se debe realizar un mantenimiento preventivo por medio de una programación previa de actividades, donde se organice el plan a seguir teniendo en cuenta el tiempo a utilizar, procurando

que sea el menor posible y que abarque la mayoría de las necesidades, al igual que imprevistos que alargan el tiempo de trabajo. Las actividades que se recomiendan son: **Mantenimiento preventivo de válvulas:** se debe realizar inspecciones técnicas preventivas a cada válvula de la conducción, el mantenimiento se realizará verificando el estado, cierre y apertura, esto con una frecuencia mínima de una vez al año, según lo establecido en el artículo 92 de la resolución 330 del 2017.

**Mantenimiento preventivo de tuberías:** La calidad del servicio del acueducto depende en gran medida del mantenimiento que se realice a las estructuras y conducciones, es importante aparte del lavado, hacer un mantenimiento a fondo con desinfección. El proceso de desinfección se debe realizar siguiendo los parámetros establecidos en las normas AWWA C651 o NTC 4246, donde se especifica las dosificaciones y tiempos.

Adicional a lo planteado se recomienda llevar un libro de registros de reparaciones, donde se describa los siguientes aspectos: tipo de daño, acciones realizadas para reparar, evidencia fotográfica y ubicación; con el fin de tener un registro detallado y mayor organización.

- Adoptar medidas que permitan la protección de redes y válvulas de la conducción, específicamente la construcción de cajas de protección para válvulas, puesto que existen problemas visibles en cuanto a la falta de estas estructuras para los accesorios como válvulas de cierre, lavado y ventosas, dificultando el correcto funcionamiento, pues el paso de animales causan daños considerables. De igual manera se recomienda el uso de anclajes en dos tramos de tubería expuesta que representan un peligro en el sistema, el primer tramo es el denominado viaducto metálico en el cual la tubería pasa por fuera de este, encontrándose sujeta por alambre, en este caso se recomienda el uso de anclajes de seguridad metálicos sujetos al viaducto; en el segundo caso de la tubería que atraviesa la vía por una alcantarilla se observa que en el lado de la salida cumple con los anclajes de seguridad establecidos, mientras que en la entrada se encuentra sostenida por alambres, en este espacio se recomienda el uso de anclajes de seguridad metálicos, fijados a la estructura de la alcantarilla.
- El mantenimiento y limpieza del tanque de almacenamiento son actividades fundamentales para prolongar la calidad del suministro y la vida útil de la estructura, la limpieza del tanque debe realizarse por lo menos una vez cada 6 meses procurando afectar lo menos posible la prestación del servicio. Se plantean las siguientes recomendaciones:

**Desinfección del tanque de almacenamiento:** Con el fin de mantener la calidad del agua es importante realizar una desinfección del tanque con una frecuencia de una vez al año, para realizar este procedimiento se debe tomar como base las normas NTC 4576 o AWWA d-115.

**Protección de los ductos de ventilación:** Todo tanque de almacenamiento debe tener ductos de ventilación que permitan la entrada y salida de aire, estos ductos según la RAS 2010 deben tener una malla de 5 mm como protección para evitar la entrada de insectos, es por esto que se recomienda el uso de este material.

**Prueba de estanqueidad:** Con el objetivo de examinar y registrar el funcionamiento del tanque se recomienda la realización de pruebas que garanticen su estanqueidad, esta se realiza para conocer si existen fugas en el sistema, basándose en lo establecido en la resolución 330 del 2017 artículo 96. Esta prueba se debe realizar una vez al año y brinda una clara visión del estado del revestimiento, en caso las filtraciones superen el 1% se debe encontrar la fuente de las filtraciones y planear su reparación.

Cada vez que se realice la limpieza del tanque de almacenamiento, se debe verificar y registrar preferiblemente en un libro de mantenimiento, los daños o anomalías en la estructura interna.

- Todos los sistemas de agua para consumo humano o doméstico, deberán utilizar métodos de estimación de consumo, dispositivos de medición o mecanismos de control de los volúmenes de agua, independientemente del uso que se dé a la misma (Art 24, párrafo 2, resolución 844/2018) por tanto con el objetivo de conocer y llevar registro de información de caudal y presión se propone la instalación de equipos de medición. Con base en la información recolectada por los medidores de caudal, se recomienda construir cada 5 años, o cada que se produzcan cambios significativos en las condiciones hidráulicas, patrones de consumo, esta curva es importante para conocer la frecuencia de consumo instantáneo, para su elaboración se requiere definir los rangos de caudales a estudiar, se asigna a cada rango el porcentaje de volumen sobre el total consumido dentro de cada intervalo; esta herramienta ayudará a conocer y analizar la forma en la que los usuarios hacen uso del servicio<sup>10</sup>

## 7.2. ACUEDUCTOS VEREDALES

Los acueductos veredales o de apoyo, presentan al igual que el acueducto interveredal deficiencias en su funcionamiento, es por esto que según las necesidades de cada sistema, se hacen las siguientes recomendaciones:

- Basándose en lo planteado para el acueducto interveredal, se propone un programa que siga las mismas indicaciones de las recomendaciones para el mantenimiento preventivo de redes de conducción y tanque de almacenamiento, en los acueductos veredales de Claridad, El Hogar Y Pisojé Alto. Para el caso específico de las veredas Claridad y Pisojé Alto, se debe adicionar actividades de limpieza y mantenimiento en la bocatoma tanto de la estructura como de los accesorios o estructuras adicionales, como lo es la rejilla; la frecuencia con la que se propone realizar esta actividad es de 2 veces al mes como mínimo. En el caso de la vereda San Alfonso que solo cuenta con tanque de almacenamiento, se recomienda realizar actividades de mantenimiento y limpieza preventiva como se especifican para el caso del acueducto interveredal. Es importante hacer el cambio de los ductos de ventilación por unos que cumplan con lo establecido en la normatividad vigente en cuanto a forma y protección, esto para las veredas Claridad, Pisojé Alto y San Alfonso.

- Se recomienda hacer uso de materiales de revestimiento en el tanque de almacenamiento y rejilla de la bocatoma del acueducto veredal de Pisojé Alto, y en el tanque de almacenamiento principal del acueducto interveredal El Hogar.
- Es importante el uso de instrumentos de medición específicamente de caudal y presión, a lo largo de las redes de distribución y en los tanques de almacenamiento de casa una de las veredas de estudio, esta alternativa se debe realizar siguiendo lo propuesto para el acueducto interveredal.

Teniendo en cuenta la alternativa propuesta para el acueducto interveredal y planteando el sistema del acueducto interveredal El Hogar y los acueductos veredales como un solo sistema, es de gran importancia tener el conocimiento de los patrones de consumo de cada vereda, esto con el fin de mejorar el servicio en términos de abastecimiento y continuidad.

- Basados en los principios orientadores se propone una jornada de educación ambiental con los usuarios de cada vereda, donde se hable principalmente de la escasez y uso eficiente del recurso, con el fin de crear conciencia sobre la importancia del recurso agua y de igual manera sobre el valor de los proyectos, actividades y acciones que se han realizado y se efectuarán para el mantenimiento y mejoramiento del acueducto interveredal y los acueductos veredales. Se considera que este tipo de programas tiene la capacidad de producir ahorros de agua entre un 4 a 5 % (Arreguín, 2000). De igual manera es importante concientizar a la comunidad para que mantengan una participación activa en todos los procesos y actividades en pro del mejoramiento del suministro de agua en su comunidad.
- Se plantea alternativas para el tratamiento a nivel domiciliario o individual, que ayudarán a mejorar la calidad del agua destinada a consumo, las cuales son el uso de filtros, la acción de hervir el agua y a nivel general una cloración en el tanque de almacenamiento del acueducto interveredal. Estas actividades representan un paso de importancia para el consumo del agua a pesar de ser un método temporal para la eliminación de microorganismos es una opción que garantiza el mejoramiento en la calidad y con ello la prevención de adquirir alguna enfermedad. En caso se requiera la construcción de una planta de tratamiento la selección de la alternativa se debe realizar con la comunidad como lo establecen los principios rectores teniendo en cuenta factores técnicos, ambientales, económicos y sociales. Existe una gran variedad de tecnologías, para el caso de estudio se recomienda implementar estructuras pequeñas y sencillas de filtración en múltiples etapas como: filtros de grava o paso del agua por un lecho filtrante.

## 8. CONCLUSIONES

- El sistema de acueducto interveredal El Hogar presenta una calidad de agua dentro de los niveles máximos permisibles correspondiente a agua cruda según lo establecido en el decreto 1594 de 1984, pero no cumple con la resolución 2115 del 2007 donde se presentan los valores máximos permisibles para agua potable, ya que los valores de los parámetros bacteriológicos están por encima del permisible; el cálculo del índice IRCA el cual representa el nivel de riesgo en la salud, arrojó un valor de 53,3% indicando un nivel de riesgo alto, demostrando así que el agua que abastece el sistema no es apta para el consumo humano. Teniendo en cuenta los usos múltiples del agua en las veredas de estudio, se identifica que tanto para uso agrícola como pecuario el agua de suministro cumple con los valores máximos permisibles para estos usos, pero ya que en un sistema donde se evidencian múltiples usos del agua, los criterios de calidad se deben regir según el más restrictivo, y teniendo en cuenta el resultado del IRCA se vuelve necesario la implementación de métodos de remoción de contaminantes, donde por medio de una optimización complementaria con el uso de dispositivos o técnicas de tratamiento, se considere la alternativa más eficiente y viable económicamente, en este caso la realización de un tratamiento a nivel domiciliar permanente o de manera transitoria mientras se adecua el sistema para suministro de agua potable si la comunidad lo cree conveniente.
- De acuerdo a los resultados arrojados por el comportamiento del caudal medio mensual hallado a través del procesamiento de datos de temperatura y precipitación en el programa Qgis y posterior cálculo del balance hídrico, los periodos de estiaje corresponden a los valores más bajos de caudales que son los meses de junio, julio, agosto y septiembre, en los cuales se puede presentar el mayor déficit de agua para el área de estudio, estos meses corresponden a los denominados por la comunidad como la época de verano y de igual manera como los meses en los que se debe hacer racionamiento del líquido. Para el corregimiento de Santa Bárbara se presenta una oferta hídrica neta anual de 520.17 Mm<sup>3</sup> que corresponde a la oferta total superficial disponible, considerando la reducción por caudal ambiental.
- La demanda hídrica para el corregimiento de Santa Bárbara, se encontró teniendo en cuenta el periodo de diseño de 15 y 25; para el año 2018, 2027 y 2037, los valores de demanda son de 253.972,82 m<sup>3</sup>/año, 309.591,06 m<sup>3</sup>/año y 372.028,79 m<sup>3</sup>/año respectivamente. Para definir la relación oferta demanda hídrica se utiliza el índice de uso de agua (IUA), el cual entrega resultados entre 0,05 y 0,07% valores menores a 1%, clasificando la relación dentro de la categoría demanda muy baja. A pesar de este valor se debe tener en cuenta que en los meses secos la oferta es muy baja por lo que no se logra suplir la demanda y mantener el caudal ambiental, por esta razón es importante realizar jornadas de educación ambiental con la comunidad promoviendo el uso eficiente del recurso. El resultado de demanda entregado en este estudio se

limita netamente al uso doméstico, ya que para tener en cuenta los usos agrícola y pecuario, no se logró reunir la información necesaria.

- Mediante el uso de documentos como la resolución 844 del 2018 “por la cual se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales”, la resolución 330 del 2017 y las memorias de cálculo del acueducto interveredal, se logró identificar las condiciones de los componentes pertenecientes al sistema, observando que la mayoría de las estructuras cumplen con los requerimientos de la resolución 844 del 2018, pero existen algunas falencias dentro del sistema como: tramos de tubería que requieren el uso de anclajes con el fin de prevenir accidentes; se determinó la importancia de realizar mantenimientos preventivos en todas las estructuras del sistema de acueducto interveredal El Hogar, incluyendo los acueductos veredales. Se calcularon los valores de caudal captado por la bocatoma y caudal derivado teniendo en cuenta las dimensiones reales de los componentes, donde se evidenció que por cambios hechos por la comunidad en la etapa de construcción y puesta en marcha, no se está suministrando el volumen de agua para el que se diseñó el sistema, esto puede verse evidenciado en el caudal de excesos o en la eficiencia del desarenador.
- Con base en la calidad de las fuentes y del agua de suministro, la demanda hídrica, la oferta hídrica y la identificación del estado actual de los componentes, se plantearon una serie de recomendaciones basadas en la normatividad vigente, que fueron socializadas con la comunidad donde ésta manifestó una buena perspectiva acerca del estudio y las recomendaciones propuestas, aprobando en su gran mayoría lo planteado, de igual manera se acordó realizar una socialización apoyada de una jornada de educación ambiental, donde se exponga a la comunidad en general de las cuatro veredas, los datos recolectados, el análisis realizado, las conclusiones y alternativas propuestas, promoviendo y recalcando la importancia del uso eficiente del recurso, actividad que posteriormente fue realizada con éxito.
- Debido a la baja disponibilidad de información para el estudio, se hace necesario utilizar técnicas indirectas para la estimación de la oferta hídrica superficial; por lo tanto la metodología usada arroja resultados que son difíciles de verificar debido a la falta de instrumentación en las fuentes hídricas del área de estudio. De igual manera por falta de información no fue posible realizar un análisis completo de la relación oferta demanda hídrica, ya que solo fue posible estimar la demanda de uso doméstico.
- El suministro de agua en la comunidad rural presenta dos dificultades importantes en términos técnicos y sociales, estos son: distribución poblacional dispersa y desconocimiento de los usos del agua en la etapa de diseño, convirtiendo el desabastecimiento en un problema no solo ámbito técnico sino también social; es importante entender que la comunidad rural tiene dificultades especiales que deben ser

tratadas y dialogadas con la misma comunidad siguiendo los principios orientadores, los cuales se basan en la opinión de la comunidad; es posible mediante una construcción colectiva lograr una solución u optimización adecuada, promoviendo un enfoque de usos múltiples del agua con un proyecto que en todas sus fases cumpla con los requerimientos de la comunidad sin dejar de lado los aspectos técnicos y normativos, esto permitirá un mejoramiento en la administración del recurso en términos de calidad y cantidad.

- Se evidenció la importancia de la vinculación de la Universidad del Cauca en procesos comunitarios que como estudiante nos permite el intercambio de conocimientos de lo empírico y lo teórico, propiciando un ambiente de retroalimentación y trabajo práctico en comunidad, lo que representa un aprendizaje complementario a lo enseñado en la institución.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P. Fuentes de abastecimiento. [en línea]. Disponible en: <http://www.acueductopopayan.com.co/gestion-ambiental/fundacion-procuencia-rio-las-piedras/fuentes-de-abastecimiento/>
2. Cortés, E. (1989). Estudio del régimen de temperaturas en Colombia. Colombia: IDEAM
3. Decreto 1594. República de Colombia, Bogotá, 26 de junio de 1984.
4. Decreto 3930. República de Colombia, Bogotá, 25 de octubre del 2010.
5. Documentación de Qgis 2.14. Análisis espacial interpolación. [en línea]. Disponible en: [https://docs.qgis.org/2.14/es/docs/gentle\\_gis\\_introduction/spatial\\_analysis\\_interpolation.html](https://docs.qgis.org/2.14/es/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html)
6. EcuRed. [en línea]. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Agua>.
7. Estudio nacional del agua (ENA). Bogotá, D.C., 2014.
8. Entendiendo la interpolación, (2016). [en línea] Disponible en: <https://acolita.com/entendiendo-la-interpolacion/>
9. Fernández, A. (2017). Calidad del agua para consumo vacuno. [en línea]. Argentina. Disponible en: <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/calidad-agua-consumo-vacuno-t40126.htm>
10. Garzón, A. (2014). Evaluación de patrones de consumo y caudales máximos instantáneos de usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá. Tesis de maestría en Ingeniería - recursos hidráulicos. [en línea]. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/46260/1/02822428.2014.pdf>
11. Hernández, J. y García, J. (2015). Diagnóstico y análisis de alternativas para la optimización del sistema de acueducto de la vereda de Chacua del municipio de Sibaté. Tesis de pregrado en Ingeniería ambiental y sanitaria. [en línea]. Universidad de la Salle. Bogotá. Disponible en: [http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/17425/41082140\\_2015.pdf](http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/17425/41082140_2015.pdf)

12. López, R. (2003). Elementos de diseño para Acueducto y Alcantarillado. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
13. Plan de ordenamiento territorial del municipio de Popayán, (2002) Colombia.
14. Plan de ordenación y manejo de la subcuenca hidrográfica del Río Molino - Quebrada Pubús, (2006). Corporación autónoma regional del cauca CRC, Fundación procuenca Río Las Piedras, Colombia.
15. Plan de ordenación y manejo de la subcuenca hidrográfica del Río Pisojé, (2006). Corporación autónoma regional del cauca CRC, Colombia.
16. Red nacional de acueductos comunitarios. [en línea]. Disponible en: <http://redacueductoscomunitarios.co/>
17. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS, (2010). Título B Sistema de acueductos, Colombia.
18. Restrepo, I., Domínguez, I., Corrales, S. y Bastidas, S. (2017). Lineamientos para la planificación y diseño de sistemas de uso múltiple del agua en zonas rurales de Colombia. [en línea]. Colombia: Universidad del Valle. Disponible en: <http://revistas.univalle.edu.co/omp/index.php/programaeditorial/catalog/book/54>
19. Resolución 0330. República de Colombia, Bogotá, 8 de junio del 2017.
20. Resolución 2115. República de Colombia, Bogotá, 4 de julio del 2007.
21. Resolución 844. República de Colombia, Bogotá, 8 de noviembre del 2018.
22. Resolución 865. República de Colombia, Bogotá, 22 de julio del 2004.
23. Sabas, C., Paredes, D. (2009). Estudio de oferta y demanda hídrica en la cuenca del río Barbas. [en línea]. Colombia: Universidad tecnológica de Pereira. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/277058698\\_Estudio\\_de\\_oferta\\_y\\_demanda\\_hidrica\\_en\\_la\\_cuenca\\_del\\_rio\\_barbas](https://www.researchgate.net/publication/277058698_Estudio_de_oferta_y_demanda_hidrica_en_la_cuenca_del_rio_barbas).
24. Tradecorp, (2018). Salinidad y sodicidad ¿Cual es la diferencia? [en línea]. Disponible en: <http://tradecorp.mx/salinidad-y-sodicidad-cual-es-la-diferencia/>

	<b>CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA</b> <b>LABORATORIO AMBIENTAL</b>	Código: FT-PDPA-LA027 Fecha: 13/02/2013 Versión: 3 Página 1 de 1
	<b>REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA</b>	

Fecha: Septiembre 25 de 2018.

Cliente: Víctor Hugo Zúñiga Silva Dirección: Popayán	Teléfono: 3188080773	Solicitud N°: 312
Municipio de muestreo: Popayán	Fecha de Recepción: Septiembre 12 de 2108. Fecha de Análisis: Septiembre 12 a septiembre 21.	

## Muestreo:

Plan de Muestreo N°	N/A
Fecha de Muestreo	N/A
Lugar de Muestreo	Tributarios río Molino
Procedimiento de muestreo	N/A
Condiciones ambientales	N/A

## Identificación de la Muestra

Código Muestra	Sitio de Muestreo
1034	Punto 1. Quebrada Alto Pesares
1035	Punto 2. Quebrada Cerro Alto
1036	Punto 3. Quebrada Patico
1037	Punto 4. Quebrada La Mina
1038	Punto 5. Quebrada Patico
1039	Punto 6. Quebrada Alto Pesares
1040	Punto 7. Quebrada La Mina

Variable: DBO<sub>5</sub>

Método: SM5210B/SM4500-OG

Unidad: mg/L

## Resultados laboratorio:

Código Muestra	Resultados
1034	< 0.9
1035	< 0.9
1036	< 0.9
1037	< 0.9
1038	< 0.9
1039	< 0.9
1040	< 0.9

## Observaciones:

- Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas.
- Este documento no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la debida autorización del Laboratorio Ambiental.



DIEGO ZULUAGA VERA  
 Responsable Laboratorio Ambiental

**ANEXO 2.** Clasificación de los niveles de calidad de las fuentes de abastecimiento en función de unos parámetros mínimos de análisis físico-químicos y microbiológicos, y el grado de tratamiento asociado.

Parámetros	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de contaminación			
	Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
<b>DBO 5 días</b>	3630					
Promedio mensual mg/L			<1.5	1.5 - 2.5	2.5 - 4	>4
Máximo diario mg/L			1 - 3	3 - 4	4 - 6	>6
<b>Coliformes totales (NMP/100 mL)</b>						
Promedio mensual		D-3870	0 - 50	50 - 500	500 - 5000	>5000
Oxígeno disuelto mg/L	4705	D-888	>=4	>=4	>=4	<4
PH promedio	3651	D 1293	6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	4707	D 1889	<2	2 - 40	40 - 150	>= 150
Color verdadero (UPC)			<10	10 -20	20 - 40	>= 40
Gusto y olor		D 1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L - Cl)		D 512	< 50	50 - 150	150 - 200	300
Fluoruros (mg/L - F)		D 1179	<1.2	<1.2	<1.2	>1.7
<b>GRADO DE TRATAMIENTO</b>						
Necesita un tratamiento convencional			NO	NO	Sí, hay veces (ver requisitos para uso FLDE : literal C.7.4.3.3)	SI
Necesita unos tratamientos específicos			NO	NO	NO	SI
Procesos de tratamiento utilizados			(1) = Desinfección + Estabilización	(2) = Filtración Lenta o Filtración Directa + (1)	(3) = Pretratamiento + [Coagulación + Sedimentación + Filtración Rápida] o [Filtración Lenta diversas etapas] + (1)	(4) = (3) + Tratamientos específicos

**Fuente:** RAS 2010 Título B Sistemas de acueducto, Tabla B.3.1 Calidad de la fuente.

**ANEXO 3.** Criterios de calidad de agua admisible para uso pecuario.

<b>Referencia</b>	<b>Expresada como</b>	<b>Valor</b>
<b>Aluminio</b>	Al	5.0
<b>Arsénico</b>	As	0,2
<b>Boro</b>	B	5,0
<b>Cadmio</b>	Cd	0,05
<b>Zinc</b>	Zn	25
<b>Cobre</b>	Cu	0,5
<b>Cromo</b>	Cr	1,0
<b>Mercurio</b>	Hg	0,01
<b>Nitratos + Nitritos</b>	N	100
<b>Nitrito</b>	N	10
<b>Plomo</b>	Pb	0,1
<b>Contenido de sales</b>	peso total	3000

**Fuente:** Decreto 1594 de 1984 artículo 41.

**ANEXO 4.** Criterios de calidad de agua admisible para uso agrícola.

<b>Referencia</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Valor</b>
<b>Aluminio</b>	Al	5,0
<b>Arsénico</b>	As	0,1
<b>Berilio</b>	Be	0,1
<b>Cadmio</b>	Cd	0,01
<b>Zinc</b>	Zn	2,0
<b>Cobalto</b>	Co	0,05
<b>Cobre</b>	Cu	0,2
<b>Cromo</b>	Cr	0,1
<b>Flúor</b>	F	1,0
<b>Hierro</b>	Fe	5,0
<b>Litio</b>	Li	2,5
<b>Manganeso</b>	Mn	0,2
<b>Molibdeno</b>	Mo	0,01
<b>Níquel</b>	Ni	0,2
<b>pH</b>	Unidades	4,5 - 9,0
<b>Plomo</b>	Pb	5,0
<b>Selenio</b>	Se	0,02
<b>Vanadio</b>	V	0,1
<b>Boro</b>	B	0,3 - 4,0
<b>Coliformes totales</b>	NMP	5000
<b>E Coli fecal</b>	NMP	1000

Fuente: Decreto 1594 de 1984 artículo 40.