



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Propuesta de mejoramiento en los acueductos, municipio de
Guarne. Caso de estudio Vereda San Isidro**

Erica Urrea Minota

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental

Medellín, Colombia

2020



**Propuesta de mejoramiento en los acueductos, municipio de Guarne. Caso de estudio
Vereda San Isidro**

Erica Urrea Minota

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniera Sanitaria

Asesores (a):

Francisco Molina Pérez
Ingeniero Sanitario, Doctor Ingeniería Química y Ambiental

Línea de Investigación:

Modelación de Sistemas Ambientales

Grupo de Investigación:

Semillero en Gestión Integrada del Recurso Hídrico

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2020

Agradecimientos

Culminar esta etapa de mi vida involucra a cada persona que me acompaño en este camino; Dios y familia ocupan el primer lugar pues son mi columna vertebral, mis compañeros de clase, mis amigos, los profesores y muy especial la profe Nora Villegas quien siempre me ha brindado su acompañamiento y apoyo, también al profesor Francisco Molina por permitirme desarrollar mi trabajo de grado con él y al acueducto veredal San Isidro por abrirme las puertas y ser tan comprometidos con mi trabajo.

Tabla de contenido

RESUMEN.....	5
1 INTRODUCCIÓN.....	5
2 OBJETIVOS.....	7
2.1 Objetivo General.....	7
2.2 Objetivos Específicos.....	7
3 MARCO TEÓRICO.....	7
3.1 Ámbito Mundial.....	7
3.1.1 Aspectos demográficos y demanda de agua.....	7
3.1.2 Distribución hídrica.....	8
3.2 Agua potable y saneamiento básico.....	9
3.2.1 Agua Potable.....	9
3.2.2 Saneamiento básico.....	11
3.2.3 Enfermedades generadas por la mala calidad del agua.....	12
3.3 Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.....	14
3.4 Ámbito Nacional.....	16
3.4.1 Aspectos demográficos.....	16
3.4.2 Distribución hidrográfica.....	17
3.5 Problemáticas.....	19
3.5.1 Saneamiento básico y agua potable.....	20
3.6 Normatividad de agua potable y plan de ordenamiento territorial.....	22
3.7 Ámbito Regional.....	23
3.7.1 Juntas Administrativas de acueductos veredales.....	23
3.8 Plantas de tratamiento de agua potable PTAP.....	25
3.8.1 Importancia.....	25
3.8.2 Componentes.....	25
3.9 Índice de Calidad del Agua.....	26
4 MARCO METODOLÓGICO.....	28
4.1 Descripción del área de estudio.....	28
4.1.1 Ubicación.....	28
4.1.2 Características Biofísicas.....	29
4.2 Metodología para el desarrollo de los objetivos.....	30
4.2.1 Levantamiento de Información Secundaria.....	30

4.2.2	Visita Preliminar	31
4.2.3	Toma de Muestra	31
4.2.4	Procesamiento de Muestras.....	31
4.2.5	Análisis de Resultados y Conclusiones	31
4.2.6	Visita acueducto.....	31
4.2.7	Informe Diagnostico y Manual de la PTAP	31
5	RESULTADOS Y ANÁLISIS.	32
5.1	Tipología acueductos.....	32
5.1.1	IRCA 2018 Municipio de Guarne	33
5.2	Identificación de problemas técnicos en la planta de potabilización del acueducto rural San Isidro	40
5.2.1	Funcionamiento de las plantas de potabilización del acueducto rural San Isidro 40	
5.2.2	Adición de químicos	42
5.2.3	Variable físico-químicas Acueducto San Isidro.....	42
5.2.4	Muestreo acueducto San Isidro.....	47
5.3	Manual de operación y mantenimiento acueducto San Isidro	47
5.4	Circulación de conocimiento	48
6	CONCLUSIONES.	48
7	Referencias	50
8	ANEXOS.	54
8.1	Manual de operación y mantenimiento de la PTAP San Isidro	54

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1.	Distribución mundial de la escasez de agua.....	9
Ilustración 2.	Interacciones enfermedades vehiculizadas por el agua.....	12
Ilustración 3.	Clasificación de enfermedades relacionadas con el agua.....	13
Ilustración 4.	Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible.	14
Ilustración 5.	Distribución demográfica.....	16
Ilustración 6.	Mapa cobertura acueducto zona rural. Tomado del Informe sectorial de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado 2018.	24
Ilustración 7.	Ubicación vereda San Isidro y PTAP acueducto San Isidro.....	29
Ilustración 8.	Metodología propuesta de mejoramiento de los acueductos veredales. Caso de estudio vereda San Isidro.	32
Ilustración 9.	Estaciones Meteorológicas.	38
Ilustración 10.	Tren de tratamiento convencional PTAP compacta.....	40

Ilustración 11 Esquema posterior Q= 2.21 L/s	58
Ilustración 12. Esquema frontal Planta Q=0,5 L/s	59
Ilustración 13 Esquema frontal Q=2.21 L/s	60
Ilustración 14. Esquema posterior planta Q=0,5 L/s	61

Lista de Fotos

Foto 1. Vista superior PTAP Q:2.21L/S	41
Foto 2. Vista superior PTAP Q=0.5 L/s	41
Foto 3. Socialización con operarios	48
Foto 4. Socialización con operarios y administradores	48
Foto 5 Bocatoma 1 tomada de: http://www.acueductosanisidroguarne.com/galeria/	56
Foto 6. Bocatoma 2. tomada de http://www.acueductosanisidroguarne.com/galeria/	56

Lista de Tablas

Tabla 1. Aspectos Agua Potable	10
Tabla 2. Parámetros de un sistema de calidad del agua idóneo.	11
Tabla 3. Metas Objetivo 6 de ODS.	15
Tabla 4. Oferta Hídrica.	18
Tabla 5. Parámetros para determinar el IRCA.	27
Tabla 6. Clasificación y nivel de riesgo - IRCA.	28
Tabla 7. Características de las PTAP.	34
Tabla 8 Actividades de los diferentes componentes de la PTAP.	63

Lista de Gráficos

Gráfico 1 Distribución Hídrica en Colombia	18
Gráfico 2. Demanda hídrica por sectores	19
Gráfico 3. Cobertura Servicios Públicos, 2018.	20
Gráfico 4. Cobertura Acueducto y Alcantarillado en Antioquia, 2012.	21
Gráfico 5. Suscriptores acueductos Guarne al año 2018.	33
Gráfico 6. Características PTAP Guarne	35
Gráfico 7. Porcentaje IRCA Acumulado en los Acueductos.	36
Gráfico 8. Distribución porcentual en la clasificación IRCA.	37
Gráfico 9. IRCA medio acumulado mensual para el año 2018.	37
Gráfico 10. Precipitaciones medias en Guarne durante el 2018.	38
Gráfico 11. IRCA mensual para el municipio de Guarne en 2018.	39
Gráfico 12. Resultados pH en PTAP San Isidro	43
Gráfico 13. Resultados pH en Turbiedad en PTAP San Isidro	44
Gráfico 14. Resultados de Color Aparente en PTAP San Isidro.	45
Gráfico 15. Resultados de Cloro Residual en PTAP San Isidro	46
Gráfico 16. Análisis de parámetros en PTAP San Isidro.	47

RESUMEN.

Históricamente el acceso al agua potable ha marcado un hito importante en los asentamientos humanos, puesto que este recurso es indispensable para el desarrollo de las actividades más básicas, la creación de los acueductos rurales son la respuesta a dicha necesidad; en el municipio de Guarne, Antioquia existen 33 acueductos veredales los cuales se evidencia que obtienen puntajes mayores en el indicador IRCA cuando se encuentran en época de lluvia, por lo que los resultados ubica a la mayoría de los acueductos en un nivel de riesgo bajo-medio; el acueducto veredal San Isidro hace parte de los 33 acueductos veredales que se encuentran en un nivel de riesgo bajo-medio, al representar una de las debilidades que tienen la mayoría de los acueductos se elige este para realizar una valoración más exhaustiva y se identifica oportunidades de mejora en la parte técnica; como hallazgos se tiene que una de las dos plantas compactas que administra el acueducto, su tren de tratamiento no es el adecuado pues el ensamble está incorrecto, así mismo las variables físico-químicas turbiedad, color y cloro residual libre en algunos meses no cumplen con los valores fijados en la *Resolución 2115 de 2007*, las variaciones meteorológicas son un factor que influye considerablemente los valores comunes especialmente turbiedad y color. Se elabora un manual como insumo documental donde se plasma las actividades de operación y mantenimiento, finalmente se divulgan los resultados del estudio con los integrantes de la junta administradora San Isidro.

Palabras Claves: agua potable, acueductos veredales, normatividad, IRCA.

1 INTRODUCCIÓN.

El acceso al agua potable sigue siendo uno de los puntos más álgidos en la agenda mundial, no solo por los esfuerzos que desde la década de los 90 las Naciones Unidas (Naciones Unidas, 2019) han emprendido sino también por no producir el efecto esperado, puesto que, hoy en día aún existen comunidades que no cuentan con agua apta para consumo, sin embargo, los desafíos que se deben enfrentar en pleno siglo XXI son muy diferentes a los de hace treinta años (Abel Mejía, 2016), debido a la disponibilidad y calidad del recurso hídrico, la cual, se ha visto fuertemente afectado por el crecimiento poblacional, las demandas energéticas y alimentarias, entre otras (CAPITAL, 2015). En el año 2015 las Naciones Unidas aprueban mediante la resolución 70/1 la agenda 2030 para el desarrollo sostenible donde definen 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y de los cuales el objetivo 6 hace referencia al recurso hídrico, buscando asegurar la disponibilidad de agua para todos los habitantes del mundo a través de una adecuada gestión y/o articulación sostenible (Organización de las Naciones Unidas, 2015). Una vez definidos los frentes de trabajo, a cada país le corresponde elaborar un plan de acción dentro de sus políticas

internas que permitan dar cumplimiento a los ODS y es así como Colombia aprueba el documento CONPES 3918 en el año 2018 donde se establecen los lineamientos y estrategias para la implementación de los ODS (Republica de Colombia, 2018), no obstante, este documento no es la primera herramienta de gestión en materia de recurso hídrico que se tiene, es importante resaltar que existe una política nacional para la gestión del recurso hídrico (Viceministerio de Ambiente , 2010) y hay una guía para la elaboración de un plan de ordenamiento del recurso hídrico - PORH (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2010), lo anterior indica que la fases de exploración, reconocimiento y planeación están allanadas y acorde con la realidad del país, sin embargo, aún no son muy claras las actividades de aplicabilidad y ejecución de dichos planes puesto que aún existen comunidades privadas del derecho a tener agua potable, entre ellas la población rural.

Actualmente existe una brecha entre lo rural y lo urbano debido a que las empresas de servicios públicos domiciliarios (*ESPD*) no ofrecen una cobertura integral en materia de agua potable y saneamiento básico a las comunidades rurales, esta realidad obligó a los habitantes del campo a generar mecanismos a aprovisionamiento de agua (Botero, 2017), dando paso al nacimiento de acueductos veredales, que son asociaciones organizadas que brindan el servicio público de acueducto, sin embargo, aún no se cuenta con todas las herramientas técnicas y tecnológicas que aseguren la calidad y continuidad en el servicio; de acuerdo al departamento administrativo nacional de estadística (DANE) (Departamento Nacional de estadística, 2018), en Antioquia existen 4.825 veredas de las cuales en el año 2018 solo 4.572 cuentan con sistemas de abastecimiento (Gobernación de Antioquia, 2018), en este sentido, hay 253 veredas que no cuentan con una junta organizada que abastezca a la población asentada allí, esto sin cuantificar las zonas que a pesar de tener acueductos cerca no logran ser usuarios del sistema, debido a esto optan por captar agua cruda para su consumo sin ningún tipo de tratamiento, elevando el nivel de vulnerabilidad pudiendo adquirir enfermedades asociadas a agua de mala calidad como hepatitis A y E, cólera, disentería, fiebre tifoidea, entre otras (Oxfaminternom, 2017). Estas enfermedades establecidas principalmente debido a un saneamiento precario son transmitidas a través de las heces fecales, que en ausencia de medidas de higiene entran en contacto con líquidos o alimentos ingeridos vía oral por los demás pobladores.

Uno de los desafíos que deben enfrentar los gobiernos locales son el acompañamiento técnico y financiero para perfeccionar los sistemas existentes en la ruralidad con el fin de garantizar agua de manera continua, en condiciones óptimas para su consumo asegurando un adecuado balance hídrico entre oferta y demanda.

Guarne, hace parte de los 125 municipios que conforman el departamento de Antioquia; es el más cercano a Medellín de todos los municipios ubicados en el oriente antioqueño; está conformada por 37 veredas en la cuales existen juntas administradoras o asociaciones de usuarios que abastecen de con agua potable a los residentes del lugar, sin embargo, la prestación de este servicio en la mayoría de las veredas presentan dificultades similares asociadas a: tratamiento del agua, altas turbiedades en invierno, disponibilidad del recurso en época de verano, entre otros problemas técnicos y administrativos entre los cuales se

encuentran la sostenibilidad financiera, la adquisición de equipos e insumos que faciliten la operación, la capacitación del personal que trabaja en el acueducto, la pérdida de la información, entre otros, por esta razón se selecciona a la Asociación de usuarios del acueducto San Isidro del municipio de Guarne, vereda San Isidro, como estudio de caso piloto de un acueducto que presenta dificultades comunes a las demás juntas administradoras, focalizándose este trabajo en la mejora de las fallencias asociadas al tratamiento del agua, permitiendo el cumplimiento de todas las variables físico-químicas exigidas por la normatividad.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General.

Caracterizar los sistemas de tratamiento de agua potable de los acueductos rurales para contribuir con la mejor en el funcionamiento de las plantas potabilizadoras. Caso de estudio: acueducto rural Vereda San Isidro del municipio de Guarne.

2.2 Objetivos Específicos.

- Clasificar las plantas de tratamiento de los acueductos rurales, de acuerdo a las tipologías encontradas en los acueductos rurales del municipio de Guarne.
- Identificar los principales problemas técnicos de la planta de potabilización del acueducto rural San Isidro, comparándolas con los problemas identificados en otros acueductos rurales del municipio de Guarne.
- Elaborar un manual de operación y mantenimiento de la planta de potabilización del acueducto rural San Isidro.
- Realizar circulación de conocimiento al acueducto veredal San Isidro divulgando hallazgos a los miembros de la junta administradora como presidente, secretaria, fontanero entre otros.

3 MARCO TEÓRICO.

3.1 Ámbito Mundial

3.1.1 Aspectos demográficos y demanda de agua.

En los próximos 30 años se espera que la población mundial aumente en 2.000 millones de habitantes para los próximos 30 años, pasando de 7.700 millones para el año 2019 a 9.700 millones para el año 2050, en relación a esta proyección se espera llegar al pico en el crecimiento poblacional para el año 2100 en el cual se tendrían 11.000 millones de habitantes, (Organización de las Naciones Unidas, 2019). El incremento de la población mundial viene acompañado de una migración progresiva de la población a las zonas

urbanas, con más del 55% de la población mundial viviendo en áreas urbanas en 2017 en contraste con el 30% en 1950, se establece una tendencia demográfica centrada en las urbes alrededor del mundo, así, aproximadamente dos tercios de la población mundial (68%) se establecerían en zonas urbanas en los próximos años, (Lerch, 2017). Generalmente la urbanización ha sido un factor influyente en el crecimiento económico, la reducción de la pobreza y el desarrollo humano, son centros de desarrollo que permiten que los a menudo más jóvenes sean más alfabetizados, más educados y presenten más probabilidades de tener acceso a trabajo decente, vivienda adecuada y servicios públicos y sociales, (Cohen, 2004).

El desarrollo y el crecimiento poblacional ha aumentado la demanda de agua a un ritmo de más del doble del crecimiento de la población en el siglo XX, esta situación ha generado la reducción considerable de la calidad del agua en varias regiones alrededor del mundo. Factores como la contaminación, la urbanización, el desarrollo económico y el crecimiento demográfico, están generando una sobreexplotación de un recurso limitado, (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017) En cuestión, hay suficiente agua para abastecer las necesidades crecientes del mundo actual, sin embargo, esto no sucede debido al modo en el que se usa y se distribuye el recurso, en este sentido la crisis se fundamenta en la gobernanza más que en la disponibilidad de dicho recurso, (Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura, 2019). Aunque la gestión integrada del recurso hídrico ha sido encaminada para mantener un balance entre la sostenibilidad ambiental, la economía eficiente y la igualdad social, en la práctica, el enfoque social queda en segundo plano en la instancia de toma de decisiones relacionada con la asignación y distribución del agua, por lo que aquellos grupos sin poder tienden a quedar excluidos del acceso al preciado líquido, (Water Governance Facility, 2012).

3.1.2 Distribución hídrica.

La distribución de agua en promedio es de aproximadamente 1.386 millones de km³, cuya distribución se divide en un 97,5% de agua salada y un 2,5% de agua dulce, esta ultimo representa aproximadamente 35 millones de km³, con referencia a esta cantidad, cabe aclarar que el 70% de esta se encuentra en forma de hielo, nieve o glaciares, por lo que no representa una fuente disponible de agua en el presente o futuro próximo, de esta manera solo el 0,75% del agua en el mundo está disponible para abastecer a la humanidad. Por otro lado, un porcentaje del agua disponible de agua dulce, está distribuida geográficamente en sitios distantes a los centros urbanos, presente en forma de lagos, ríos o depósitos subterráneos en los que su renovación depende directamente de la infiltración dada posterior a las precipitaciones y por lo que su representa un obstáculo debido al costo de acceder a estas fuentes debido a su lejanía (Comisión Nacional del Agua, 2011).

El 50% de la población mundial es abastecida por fuentes de agua subterránea, a su vez esta representa el 43% del agua usada para riego en agricultura (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2010). Alrededor del mundo

2.500 millones de habitantes tienen como única fuente de agua los yacimientos subterráneos para lograr satisfacer sus tareas y necesidades básicas (UNESCO, 2012).

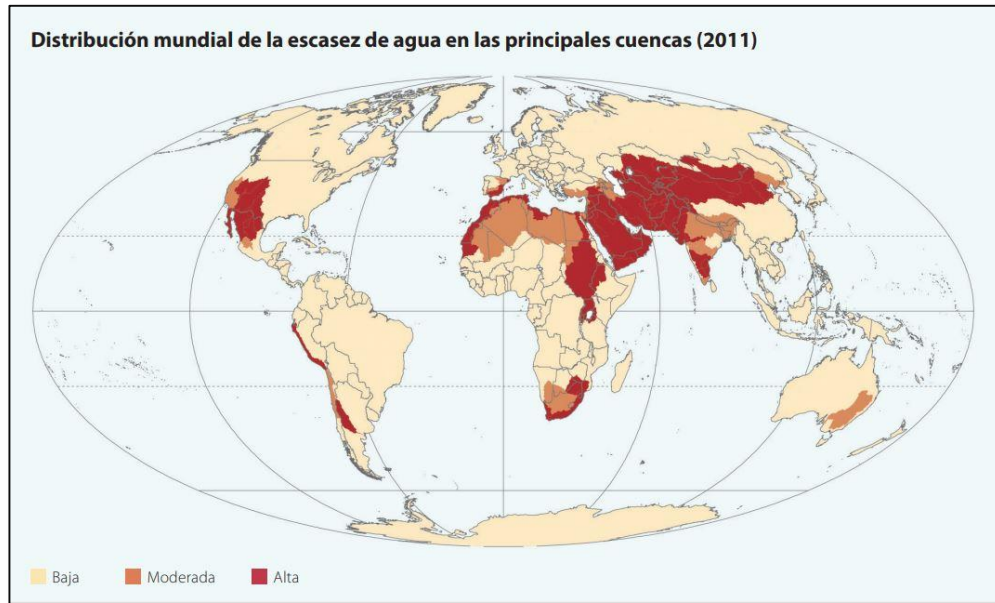


Ilustración 1. Distribución mundial de la escasez de agua.

Fuente de Información: FAO (2011, mapa 1.2, pág. 29).

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2011. *El Estado de los Recursos de Tierras y Aguas del Mundo para la Alimentación y la Agricultura (SOLAW): Cómo gestionar los sistemas en peligro.* Roma/Londres, FAO/ Earthscan. <http://www.fao.org/docrep/017/i1688e/i1688e.pdf>

En Latino América por su parte, debido a la abundancia de agua en la región, sus esfuerzos están centrados principalmente en mejorar y consolidar la gobernanza del recurso hídrico, enfocado en la integración de los diferentes actores en la gestión del recurso y su implementación como herramienta en la reducción de la pobreza y en el desarrollo socioeconómico de la región (Organización de las Naciones Unidas, 2015). Al tomar en conjunto Caribe y América Latina se presenta la región del mundo con mayor disponibilidad de agua, establecida en aproximadamente 24.400 m³ per cápita. Sin embargo, esta cifra no necesariamente representa el panorama de cada nación, inclusive al interior de cada uno su disponibilidad puede variar significativamente, encontrado zonas con patrones habituales respecto a la utilización del agua que ha generado una demanda insostenible del recurso, (Banco Interamericano de Desarrollo, 2018).

3.2 Agua potable y saneamiento básico.

3.2.1 Agua Potable.

El agua definida como el recurso más valioso es indispensable para el desarrollo de la sociedad, al satisfacer sus necesidades alimentarias, de saneamiento y agua potable. La gestión adecuada de este recurso implica un gran desafío, ya que su ausencia o escasez

generara grandes repercusiones en la sociedad, la economía y la supervivencia misma. (PNUMA & OMS, 2010). El agua potable se define como aquella que presenta características de consumo inocua, por lo que su consumo no representa un riesgo significativo para la salud en ningún lapso temporal posterior a su consumo siendo indiferente la frecuencia con la que se consuma el líquido, esto teniendo en cuenta la vulnerabilidad que pueden presentar las personas en las diferentes etapas de su vida (Organización Mundial de la Salud, 2011). El agua potable debe cumplir con un conjunto de especificaciones definidas bajo rangos y criterio de aceptabilidad acorde a cada aspecto.

Tabla 1. Aspectos Agua Potable

Aspectos Microbiológicos	<ul style="list-style-type: none"> • La garantía de la inocuidad microbiana del abastecimiento de agua de consumo se basa en la aplicación, desde la cuenca de captación al consumidor, de barreras múltiples para evitar la contaminación del agua de consumo o para reducirla a niveles que no sean perjudiciales para la salud.
Desinfección	<ul style="list-style-type: none"> • La desinfección es una operación de importancia incuestionable para el suministro de agua. La destrucción de microorganismos patógenos es una operación fundamental que muy frecuentemente se realiza mediante productos químicos reactivos como el cloro.
Aspectos Químicos	<ul style="list-style-type: none"> • Los riesgos para la salud asociados a los componentes químicos del agua de consumo son distintos de los asociados a la contaminación microbiana y se deben principalmente a la capacidad de los componentes químicos de producir efectos adversos sobre la salud tras periodos de exposición prolongados.
Aspectos Radiológicos	<ul style="list-style-type: none"> • También debe tenerse en cuenta el riesgo para la salud asociado a la presencia en el agua de consumo de radionúclidos de origen natural, aunque su contribución a la exposición total a radionúclidos es muy pequeña en circunstancias normales.
Aspectos Relativos a la Aceptabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • El agua no debe presentar sabores u olores que pudieran resultar desagradables para la mayoría de los consumidores.

Fuente de Información: OMS (2006, pág. 12 -16).

Tabla: Autoría propia.

Contenido tomado de: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf?ua=1

Un organismo de control es aquel que ejerce como actor responsable de la vigilancia de los sistemas de abastecimiento de agua, por tanto, intercede por la salud de los habitantes de manera generalizada, enfocando sus esfuerzos al logro de un servicio idóneo en relación al abastecimiento de agua para consumo humano en múltiples aspectos, (Organización Mundial de la Salud, 2006).

Tabla 2. Parámetros de un sistema de calidad del agua idóneo.

Calidad	Cantidad	Accesibilidad	Asequibilidad	Continuidad
Un sistema de abastecimiento de calidad es aquel que ha sido validado y que se somete a auditorías periódicas para demostrar su conformidad	Hace referencia a los distintos niveles de abastecimiento de agua de consumo (Ej. tiene acceso al agua, que cuentan con un acceso básico, un acceso intermedio o un acceso óptimo).	Es el porcentaje de la población que tiene un acceso razonable a un sistema de abastecimiento de agua de consumo mejorado y fiable.	La asequibilidad hace referencia a la oportunidad de una tarifa coherente al contexto territorial y de los consumidores domésticos.	Es el porcentaje de tiempo durante el que se dispone de agua de consumo (con carácter diario, semanal y estacional).

Fuente de Información: OMS (2006, Guías para la calidad del agua potable, pág. 29).

3.2.2 Saneamiento básico.

El termino saneamiento hace referencia al acceso y uso de servicios e instalaciones para la eliminación efectiva y segura de la orina y las heces humanas. Un sistema de saneamiento seguro se define como aquel utilizado y diseñado para separar las heces humanas y evitar el contacto de estas con las personas en todas las etapas de saneamiento partiendo de su contención el en inodoro hasta su disposición final (Orgniazación Mundial de la Salud, 2018). El saneamiento en la sociedad ha carecido de real importancia, ya que alrededor del mundo es considerable el número de ciudades cuyos recursos enfocados en la gestión óptima de las aguas residuales son deficientes. Se calcula que aproximadamente el 90% de las aguas residuales generadas en las ciudades ubicadas en los países en vía de desarrollo, se vierten directamente a los cuerpos de agua naturales sin presentar un proceso de tratamiento previo que reduzca su carga contaminante. (WHO & UNICEF, 2014).

En relación a los recursos enfocados al saneamiento, en un gran porcentaje de los casos de facturación del sistema público de abastecimiento de agua y alcantarillado en áreas urbanas, apenas logra cubrir los costos asociados a operación y mantenimiento, teniendo así, una disposición mínima de recursos disponibles para invertir en la modernización y expansión de los mismos. Específicamente en las áreas rurales, las precarias gestiones de los recursos, el presupuesto de operación, la ausencia de mantenimiento y reinversión contribuye a un funcionamiento generalizado regular en los procesos de saneamiento y tratamiento de las aguas residuales. (WWAP, 2009). En las áreas urbanas generalmente hay más cobertura en el acceso al saneamiento, sin embargo, el ritmo acelerado en la expansión de las zonas urbanas ha generado un aumento del 40% en relación al número de habitantes sin acceso a un servicio de saneamiento básico, pasando de 541 millones a 754 millones entre 1990 y 2012, (WHO & UNICEF, 2014).

3.2.3 Enfermedades generadas por la mala calidad del agua.

Alrededor del mundo se han registrado varios brotes de enfermedades vehiculizadas por el agua – EVA, de gran magnitud con repercusiones considerables en la salud de las poblaciones. El cambio climático es un factor que influye en la estacionalidad, la distribución espacial y los medios de transmisión de las enfermedades. (Instituto Nacional de Salud & SIVICAP, 2014).

Las EVA representa la consecuencia de un conjunto de acciones humanas e interacciones entre las personas y el ambiente, escenarios como la eliminación inadecuada de aguas residuales, un precario suministro de agua potable, el uso de agua no potable en fines recreativos, aseo o riego, el aumento de la urbanización, así como también podrían ser el resultado de fenómenos meteorológicos (**Ilustración 2**).

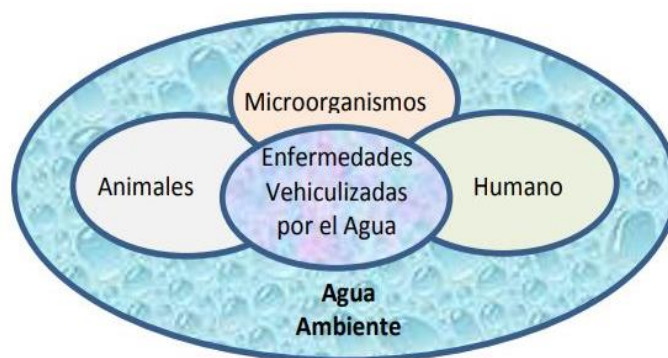


Ilustración 2. Interacciones enfermedades vehiculizadas por el agua.

Fuente de Información: OMS, 2004

El desabastecimiento de agua potable es un escenario que implica repercusiones sociales y económicas en campo de la salud, causando enfermedades gastrointestinales a causa del consumo del agua no potable, a su vez implica una limitante al desarrollar actividades en los centros educativos o centros de salud (Organización Mundial de la Salud & Banco Mundial, 2004). Un saneamiento deficiente está directamente relacionado con la transmisión de enfermedades como la diarrea, el cólera, la hepatitis A, la tifoidea, la poliomielitis, la disentería y además promueve el retraso del crecimiento en los niños y adolescentes. Aunque la diarrea es una de las principales causas de muerte en estos escenarios, la mayoría de estas se pueden prevenir por medio de la mejora de la calidad del agua y sus características, las instalaciones de saneamiento y de la higiene, logrando una reducción considerable en el número de muertes a causas de la diarrea, evitando aproximadamente el deceso de 361 mil menores de 5 años cada año (Naciones Unidas, 2019).

Las enfermedades diarreicas tienen implicaciones directas en el estado de nutrición de los niños lo que aumenta el riesgo de muerte al padecer la enfermedad. La presenta de esta enfermedad en uno o varios integrantes de un hogar implica una carga además en términos económicos y en los servicios de salud puesto que suelen estar sobre demandados en estos

entornos. De esta manera la comisión de Macroeconomía y Salud de la OMS calificó la inversión de saneamiento básico y agua potable como una intervención muy rentable en contraste a los costos que implica el no hacerlo. (UN-Water, 2010).

Hay una variedad importante de enfermedades relacionadas de manera directa o indirecta con el agua, estas suelen generar una reducción en los índices de salud y calidad de vida impactando negativamente el bienestar social. Las enfermedades vehiculizadas por el agua o EVA se clasifican según el papel que desempeña el agua como precursor de estas enfermedades, sea por su abundancia o escases y las características fisicoquímicas que podría presentar.

3.2.3.1 CLASIFICACIÓN DE ENFERMEDADES Y EL AGUA

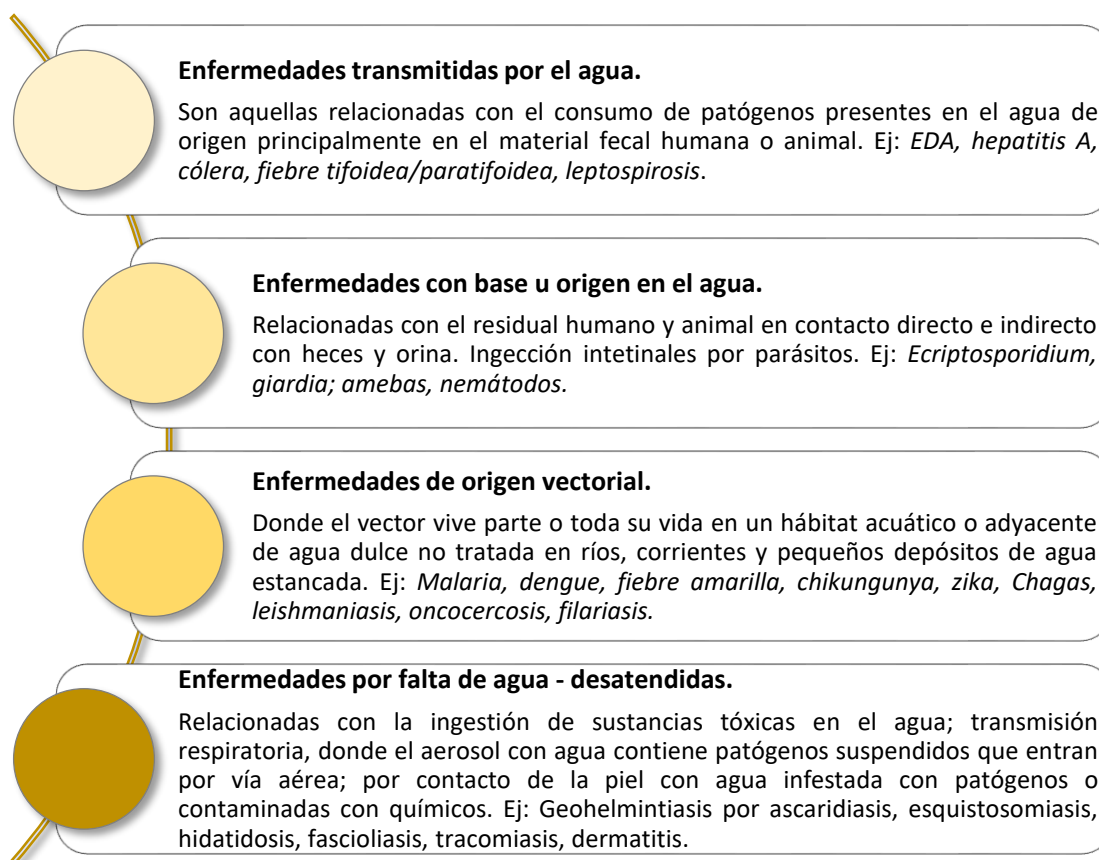


Ilustración 3. Clasificación de enfermedades relacionadas con el agua.

Fuente de Información: Organización Mundial de la Salud.

Ilustración: Autoría propia.

Con el pasar de los años la frecuencia con la cual estas enfermedades tienen origen en las diferentes poblaciones ha aumentado, así como la aparición de nuevas enfermedades

relacionadas con el agua. Se presentan brotes de ciertas enfermedades en ubicaciones geográficas en donde no se había tenido registro de su presencia antes, catalogándolas como emergentes, además aquellas enfermedades que se denominaban como controladas se han reactivado con un mayor impacto en la salud y en su propagación, (Miranda, 2016).

3.3 Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.

En vista de los evidentes problemas que afronta la humanidad en la actualidad, el 25 de septiembre de 2015, diferentes líderes mundiales adoptan un conjunto de objetivos generales a fin de lograr un desarrollo sostenible para cada individuo y asegurar la prosperidad para todos, estos objetivos plantean por sí mismo metas que deberán ser alcanzadas en los próximos 15 años.



Ilustración 4. Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible.

En el planeta hay agua dulce suficiente para satisfacer las necesidades de cada habitante en el mundo. La seguridad alimentaria, las oportunidades de educación para los habitantes de bajos recursos y las opciones de medios de subsistencia se ve comprometidos debido a

una gestión regular del recurso hídrico, un saneamiento inadecuado y la mala calidad del agua. Se estima que al menos una de cada cuatro personas se verá afectado por la escasez de agua dulce para el año 2050. (Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura, 2019). A fin de lograr una accesibilidad a un recurso hídrico apto para consumo humano y un saneamiento básico digno, se establece el objetivo 6 en relación al agua limpia y saneamiento básico bajo un conjunto de metas definidas **Tabla 3**.

Tabla 3. Metas Objetivo 6 de ODS.

Metas del Objetivo 6		Indicadores	
6.1	De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos	6.1.1	De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos
6.2	De aquí a 2030, lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad	6.2.1	Proporción de la población que utiliza: a) servicios de saneamiento gestionados sin riesgos b) instalaciones para el lavado de manos con agua y jabón
6.3	De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial	6.3.1	Proporción de aguas residuales tratadas de manera adecuada
		6.3.2	Proporción de masas de agua de buena calidad
6.4	De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua	6.4.1	Cambio en el uso eficiente de los recursos hídricos con el paso del tiempo
		6.4.2	Nivel de estrés hídrico: extracción de agua dulce en proporción a los recursos de agua dulce disponibles
6.5	De aquí a 2030, implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda	6.5.1	Grado de implementación de la gestión integrada de los recursos hídricos (0-100)
		6.5.2	Proporción de la superficie de cuencas transfronterizas sujetas a arreglos operacionales para la cooperación en materia de aguas
6.6	De aquí a 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos	6.6.1	Cambio en la extensión de los ecosistemas relacionados con el agua con el paso del tiempo
6.a	De aquí a 2030, ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización	6.a.1	Volumen de la asistencia oficial para el desarrollo destinada al agua y el saneamiento que forma parte de un plan de gastos coordinados por el gobierno
6.b	Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento	6.b.1	Proporción de dependencias administrativas locales que han establecido políticas y procedimientos operacionales para la participación de las comunidades locales en la g

Fuente de Información: Objetivos de desarrollo del Milenio, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD, 2015.

Aunque se han logrado importantes avances a lo que confiere a la cobertura de agua potable y saneamiento, en el mundo aún hay miles de millones de personas ubicadas principalmente en zonas rurales que aún no tienen acceso a estos servicios, las cifras nos muestran que una de cada tres personas no tiene acceso a agua salubre, dos de cada cinco personas no disponen de una instalación básica para el lavado de manos y más de 673 millones de personas aún defecan al aire libre. En el mundo más 4.100 millones de personas no cuentan con un sistema de saneamiento adecuado o simplemente no existe y aproximadamente 2.300 millones de personas no tiene acceso a agua potable y de calidad. El Objetivo 6 de los objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) definidos por las Naciones Unidas, está enfocado en garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2015).

3.4 Ámbito Nacional.

3.4.1 Aspectos demográficos.

3.4.1.1 Distribución

Colombia, para el año 2018, presentaba una población de aproximadamente 48.258.494 personas, concentradas principalmente en las cabeceras municipales albergando el 77,1% de la población total, por su parte los centros poblacionales y la población ubicada en zona rural representan el 7,1% y el 15,8% respectivamente. En contraste con el departamento de Antioquia, se calcula una población total de 5.974.788 habitantes, de estos 4.779.570 (80,0%) se encuentran en las cabeceras municipales del departamento y 1.195.218 (20,0%) están ubicados en centros poblados y zona rural dispersa en el territorio. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, 2018).

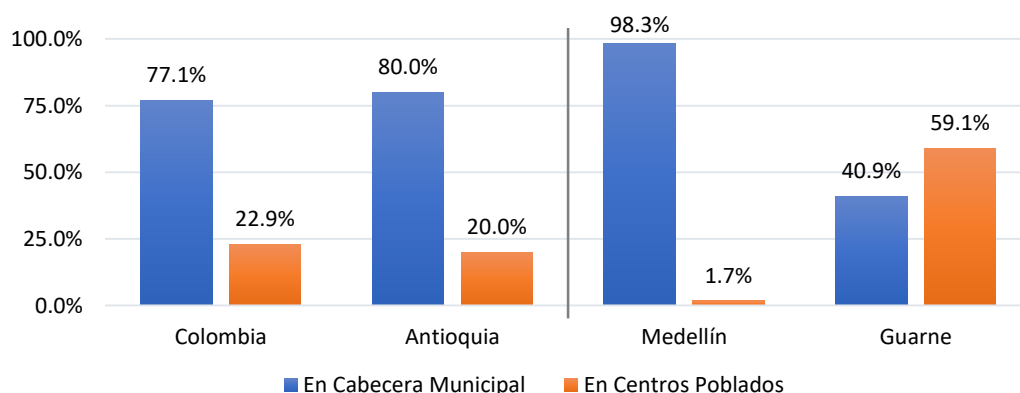


Ilustración 5. Distribución demográfica.

Fuente de Información: Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE, 2018.

Gráfica: Autoría propia.

En el municipio de Guarne ubicado en el oriente Antioqueño hay aproximadamente 42.500 personas, de estas el 41% (17.396) se encuentra ubicada en la cabecera municipal, el 59% restante (25.104) está ubicada en centros poblados y zonas rurales distribuidas en el territorio municipal, (MINAMBIENTE & IDEAM, 2018). Aunque en la actualidad se presenta un fenómeno de migración a hacia los centros urbanos y debido a esto municipios como Medellín ubican el 98,3% de sus habitantes en la cabecera municipal, el municipio de Guarne aún concentra la mayor parte de su población de territorio rural.

3.4.2 Distribución hidrográfica.

3.4.2.1 Geografía

Situada en la parte noroccidental de América del Sur se encuentra la República de Colombia cuyo territorio cubre un área de 1.141.750 km². El país limita en el costado norte con el mar Caribe, al sur con los países de Perú y Ecuador, al este con el país de Venezuela y Brasil y al oeste con Panamá y el océano Pacífico (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2017). A lo largo del territorio nacional se pueden identificar siete diferentes tipos de relieves denominados; valles, montañas, planicies, piedemonte, superficies de aplanamiento residual, lomerío y altiplanicie. La distribución geográfica de estos relieves se establece así, el pie de monte contempla el 5,4% del territorio nacional, la altiplanicie estructural en conjunto con la superficie de aplanamiento residual abarca el 17,6%, las planicies y valles el 20,8%, la montaña el 25,5% y por último el lomerío se ubica como el relieve predominante en el territorio nacional extendiéndose en el 30,9% del territorio nacional (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO, 2015).

La presencia de la Cordillera de los Andes y la ubicación del país en la Zona de Convergencia Intertropical (ZICT), determinan considerablemente el clima predominante. La temperatura como variable suele ser generalmente uniforme en la geografía del país, presentando variaciones significativas únicamente determinadas por la altitud de la zona (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO, 2015).

3.4.2.2 Hidrografía

En Colombia se presenta una precipitación media anual de 3.000 mm, esto representa un volumen de agua muy superior al promedio anual de Sur América con 1.600 mm y es aún mayor a contrastarlo con la precipitación anual del planeta con 900 mm de agua. En términos de caudal específico de escorrentía superficial Colombia presenta un caudal promedio de 58 l/s/km², una cifra que triplica el promedio establecido en el territorio suramericano de 21 l/s/km² y resulta seis veces mayor a la oferta hídrica estipulada a nivel mundial de 10 l/s/km² (MAVDS & IDEAM, 2005). La ubicación geográfica del país permite una circulación específica de la atmósfera, debido a esto, la presencia de precipitaciones tiene una alta variabilidad, en términos generales se tiene un volumen anual de precipitación de 3.425 km³, proporcional al 12% del volumen de precipitación

anual presente en el continente suramericano y al 3% en el mundo. (Global Water Partnership & Naciones Unidas, 2000). El 5% de la riqueza hídrica en el mundo se da lugar sobre la superficie del territorio colombiano el cual a su vez representa solo el 0,7% del terreno continental mundial, (MINAMBIENTE & IDEAM, 2018).

Tabla 4. Oferta Hídrica.

Territorio	Disponibilidad hídrica (m3/año/persona)
Colombia	50.000
Promedio Mundial	7.700
América del Norte	16.300
Europa	4.700
África	6.500
Asia	3.400

Fuente de Información: IDEAM, 2005.

En el territorio se destaca además la favorabilidad en relación al almacenamiento superficial ilustrado en los extensos ecosistemas de humedales y los cuerpos de agua lenticos distribuidos en un gran porcentaje de la superficie total del territorio. Del volumen de agua total de escorrentía anual, el 1,81% se almacena temporalmente en cuerpos de agua superficial distribuida en un 0,04% en páramos, un 0,47% en pantanos y 1,30% almacenada en lagos naturales, conformando de esta manera una oferta usada para fines productivos o funcionamiento de los sistemas naturales bajo ciertas condiciones ambientales (Viceministerio de Ambiente , 2010). Respecto a la distribución de la oferta hídrica por escorrentía superficial dada en las cinco grandes regiones hidrológicas que representan el territorio nacional, se encuentra que el 64% del volumen de agua en áreas hidrológicas está concentrada en las regiones Magdalena – Cauca y Orinoquía (**Gráfico 1**).

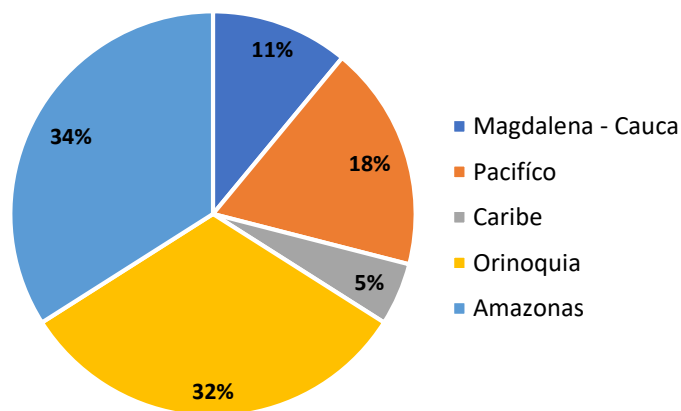


Gráfico 1 Distribución Hídrica en Colombia.

Fuente de Información: IDEAM, 2004.

De acuerdo al Estudio Nacional del Agua realizado en los últimos años la demanda del recurso aumento un 5% entre el 2012 y 2016. En relación a la demanda discriminada por sectores, la agricultura para el 2016 abarca el 43% del total, seguido de la hidroenergía y el sector pecuario con 23% y 8% respectivamente (**Gráfico 2**). Al discriminar la demanda del recurso hídrico nacional acorde al consumo porcentual por departamento del recurso, se define el departamento de Antioquia como el departamento con la mayor demanda de consumo del país demandando el 16,2% del recurso, seguidamente se encuentran Huila y Santander con 12,5% y 9,6% respectivamente del volumen total de agua demandada para el año 2016 (MINAMBIENTE & IDEAM, 2018).

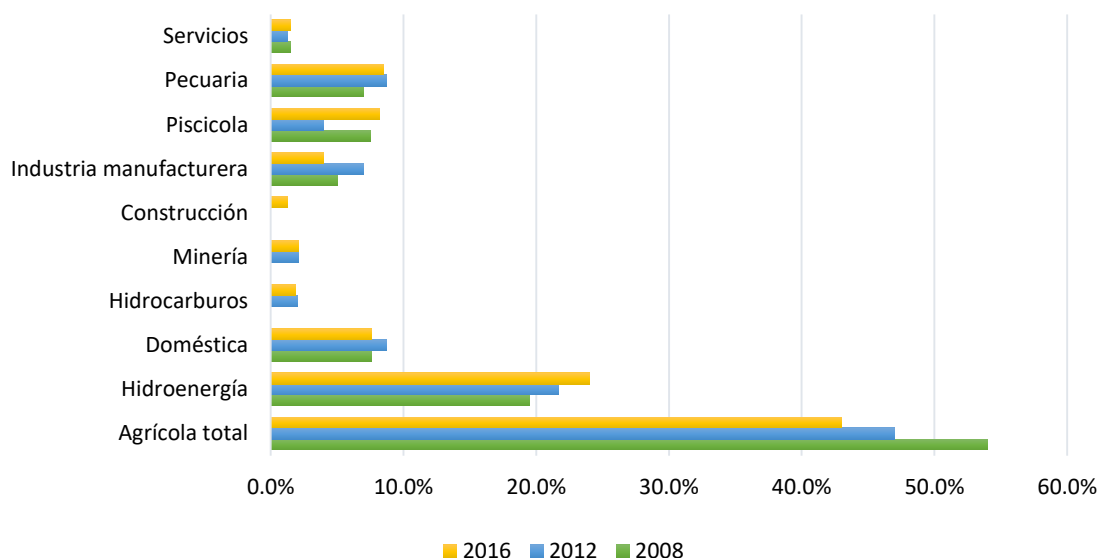


Gráfico 2. Demanda hídrica por sectores.

Fuente de Información: IDEAM – Estudio Nacional del Agua, 2018.

Gráfico: Autoría propia.

3.5 Problemáticas

Existen diversas metodologías que permiten cuantificar la oferta hídrica para aguas superficiales y subterráneas; Colombia tiene como herramienta de gestión el índice de escasez que presenta de forma porcentual la relación oferta/demanda; el crecimiento poblacional y el desarrollo socio-económico han desequilibrado la relación directa que existe entre oferta y demanda de agua (Domínguez Calle, 2008), debido a que existe una relación directa entre el incremento de la demanda de agua y el incremento de los vertimientos a aguas superficiales o subterráneas generando problemas de calidad, es decir, hay agua disponible pero inadecuada para consumo humana o para utilizarlas en otras actividades productivas (Cruz, 2009). La gran oferta hídrica en Colombia representa también una gran responsabilidad. Según informe presentado por un estudio generado por

la Contraloría General de la República, se presentan seis principales problemas en las fuentes de agua, la deforestación incontrolada ha dado lugar a una alta concentración de sedimentos en los cuerpos de agua y deterioro de los suelos, el aumento de las aguas residuales domesticas que terminan en los ríos genera una alta contaminación, la disposición inadecuada de basuras, el uso no responsable de plaguicidas de manera masiva, las aguas residuales industriales y la disposición inadecuada de basuras de origen industrial conforman los seis principales ejes responsables del deterioro del recurso hídrico en el país (MAVDS & IDEAM, 2005).

3.5.1 Saneamiento básico y agua potable.

3.5.1.1 Cobertura de Servicios.

Los hogares de Colombia en promedio están conformados por aproximadamente 3 personas, muchas de estas aún no tiene acceso a saneamiento básico o agua potable. En relación a la cobertura de servicios públicos en el territorio nacional, del año 2005 a 2018 se ha logrado un aumento en la cobertura de energía y electricidad del 2,7%, en relación al acueducto su cobertura aumento en un 3,0%, en alcantarillado un 3,5% y en lo que refiere a gas natural se ha logrado un incremento de usuarios conectados a la red pública del 26,4%, siendo este último el servicio público con mayor impacto sobre aquella población cesante de este (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, 2018).

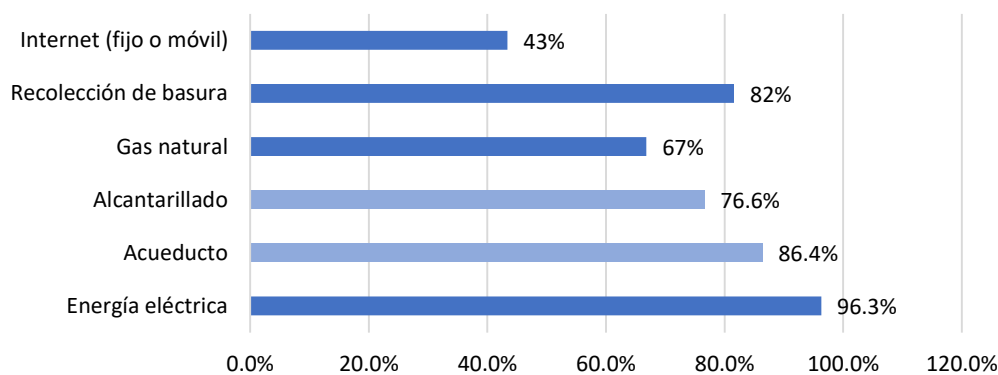


Gráfico 3. Cobertura Servicios Públicos, 2018.

Fuente de Información: DANE 2018.

Gráfica: Autoría propia.

A través de la Gran Encuesta Integrada de Hogares (GEIH) realizada en 2012, se determinó la cobertura de servicios públicos de acueducto y alcantarillado en relación a la zona urbana y rural del departamento de Antioquia (Gráfico 4). En relación al IRCA, el Índice de Riesgo de Calidad del Agua para la zona urbana se estableció en 13,2% representando un nivel de riesgo bajo, en contraste, el IRCA para la zona rural se estableció en 49,8% lo que implica un nivel de riesgo alto para la salud de las personas (Departamento Nacional de Planeación, 2014). El derecho al acceso al agua de calidad y

la garantía de su continuidad es un hecho para la mayoría de habitantes en los centros urbanos, mientras que la ausencia del servicio de agua potable, hace parte del día a día para un gran número de habitantes que consideran su hogar en zonas apartadas de los centros poblacionales, ubicados en la geografía rural del departamento y el país.

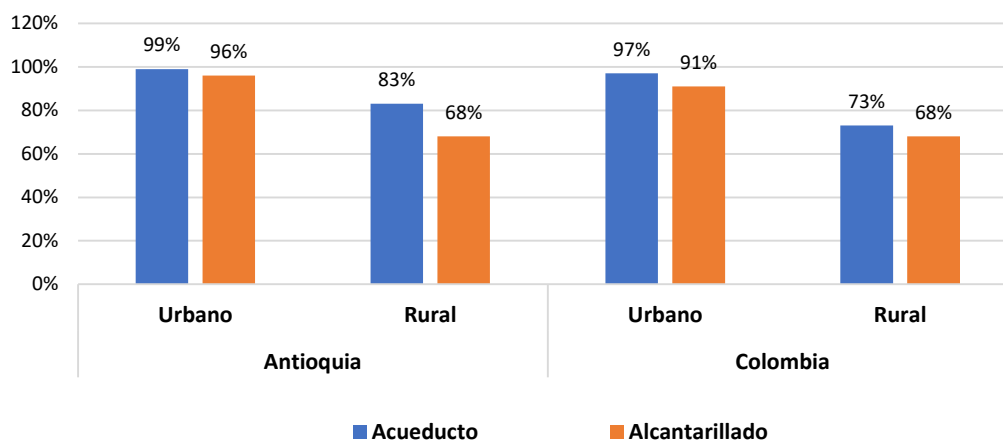


Gráfico 4. Cobertura Acueducto y Alcantarillado en Antioquia, 2012.

Fuente: DANE – GEIH, 2012.

Gráfica: Autoría propia.

Según la OMS, un porcentaje considerable de las enfermedades relacionadas con el consumo de agua no potable como la difteria y la diarrea se presentan debido a una mala administración de los recursos hídricos en la región. A nivel mundial 1,1 mil millones de personas no cuentan con acceso a agua potable y 2,4 mil millones carecen de sistemas de saneamiento básico (Castañeda, 2016). En Colombia las fuentes de agua alternas tales como los pozos individuales, los camiones cisterna, las conexiones ilegales a la red pública, ríos, lagos o demás cuerpos de agua sin tratamiento, son fuentes de agua seleccionadas por los hogares que no cuentan con un sistema de tratamiento de agua potable o sistema de abastecimiento confiable, estos escenarios representan grandes riesgos para la salud humana especialmente para los niños y adulto mayores (Viceministerio de Ambiente , 2010). Las poblaciones más vulnerables son las comunidades asentadas en zonas rurales de los diferentes municipios del país, por ser los que enfrentan de manera directa el comportamiento de las fuentes abastecedoras en época de lluvia y en época seca, por esta razón, se deben ejecutar las herramientas normativas con las que contamos para mitigar los problemas relacionados con calidad y cantidad de agua (Abel Mejía, 2016). Actividades como la ganadería, agricultura, vertimientos directos a las fuentes de agua y demás actividades desarrolladas en zonas próximas a las fuentes de agua generan cambios directos en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del cuerpo de agua afectando comunidades aguas abajo que requieran del aprovechamiento del recurso.

Los problemas de disponibilidad, desabastecimiento y racionamiento de agua generalmente son escenarios generados por el déficit del recurso y la no optima administración de este, desencadenando efectos nocivos sobre las actividades económicas

y la calidad de vida de la población. El sector agropecuario es la actividad con mayor demanda sobre el recurso hídrico, sin embargo, la carencia de abastecimiento presenta sus mayores consecuencias sobre las poblaciones, los procesos industriales y la generación de energía (Viceministerio de Ambiente , 2010) .

3.6 Normatividad de agua potable y plan de ordenamiento territorial

- **Constitución Política de Colombia de 1991** Se promulgan los derechos fundamentales y deberes de los colombianos y en especial lo que trata el capítulo 5, artículo 366. (Constitución Política de Colombia, 1991).
- **Política para el Suministro de Agua Potable y Saneamiento Básico en la Zona Rural** CONPES 3810. (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2014).
- **Ley 142 de 1994** Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. (Congreso de la República de Colombia, 1994).
- **Decreto 1575 de 2007** Por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad de agua para consumo humano. (Ministerio de la Protección Social, 2007).
- **Resolución 2115 de 2007** Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).
- **Resolución 4716 de 2010** Por medio de la cual se reglamenta el parágrafo del artículo 15 del Decreto 1575 de 2007.
- **Decreto 1898 de 2016** Por el cual se adiciona el Título 7, Capítulo 1, a la parte 3, del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015, que reglamenta parcialmente el artículo 18 de la Ley 1753 de 2015, en lo referente a esquemas diferenciales para la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo en zonas rurales. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2016).
- **Acuerdo 003 de 2015** Por medio del cual se adopta la revisión y ajuste del Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Guarne-Antioquia. (Guarne-Antioquia, 2015).

3.7 Ámbito Regional.

3.7.1 Juntas Administrativas de acueductos veredales.

Los acueductos veredales o comunitarios nacen de la necesidad de abastecer de agua a poblaciones asentadas en las periferias de las ciudades y/o en zonas rurales, este tipo de asociaciones es una práctica antigua común en nuestro país, que con el nacimiento de la Ley 142 cobro más fuerza permitiendo tener una mejor organización tanto a nivel administrativo como técnico (Lara Diaz, 2013), sin embargo, en la actualidad siguen enfrentando desafíos que en algunas ocasiones puede afectar la calidad del agua, la eficiencia económica y ambiental siendo insostenibles en el tiempo, (Marín Bedoya & Villada Villada, 2008), la contaminación de la fuentes y hoyas hidrográficas, la alteración de las épocas de lluvia y las épocas secas, las pérdidas en el transporte del agua (conducción-aducción) son algunos de las variables que deben de sortear.

Para diciembre de 2018 se encontraron inscritos en el Registro Único de Prestadores de Servicios Públicos Domiciliarios (RUPS) 3113 prestadores de servicios de acueducto, alcantarillado y aseo; el 83 % de estos corresponden a prestadores de servicios con suscriptores menores o iguales a 2500, es decir, en el país gobiernan los pequeños prestadores de servicios, sin embargo, esta cifra puede ser alarmantemente mayor ya que se ha identificado que en las zonas rurales aún hay prestadores de servicios que no se encuentran inscritos en el RUPS. (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2018).

Para el año 2006 la Superintendencia de servicios públicos domiciliarios calculo la existencia de unos 12000 acueductos comunitarios, cifra importante para dar cuenta del papel protagónico que desempeñan estos prestadores de servicios públicos en zonas rurales (Cadavid Giraldo, 2009).

Realizar un análisis profundo de como se está prestando realmente el servicio de acueducto en el país en términos de cantidad, calidad, continuidad y cobertura, presenta dificultades debido a que la información reportada al gobierno nacional no abarca realmente todas la empresas o comunidades que presenten servicios públicos, bien sea de acueducto, alcantarillado o aseo (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2018), sin embargo, es claro que aun el acceso a agua potable para algunas comunidades sigue siendo una utopía existiendo en la actualidad comunidades que enfrentan problemas de abastecimiento, por eso el Plan Nacional de Desarrollo para el 2022 espera incrementar la cobertura de agua potable para al menos 3 millones de habitantes, cerrando de la brecha entre lo urbano y lo rural. (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2018)

Finalmente, con la información reportada por los municipios que cuantificó que el servicio de acueducto es del 34.95% para el área rural vs 87.54% para el área urbana, a continuación, se presenta un mapa sobre la cobertura de acueducto para la ruralidad, tomado del Informe sectorial de servicios públicos domiciliarios.

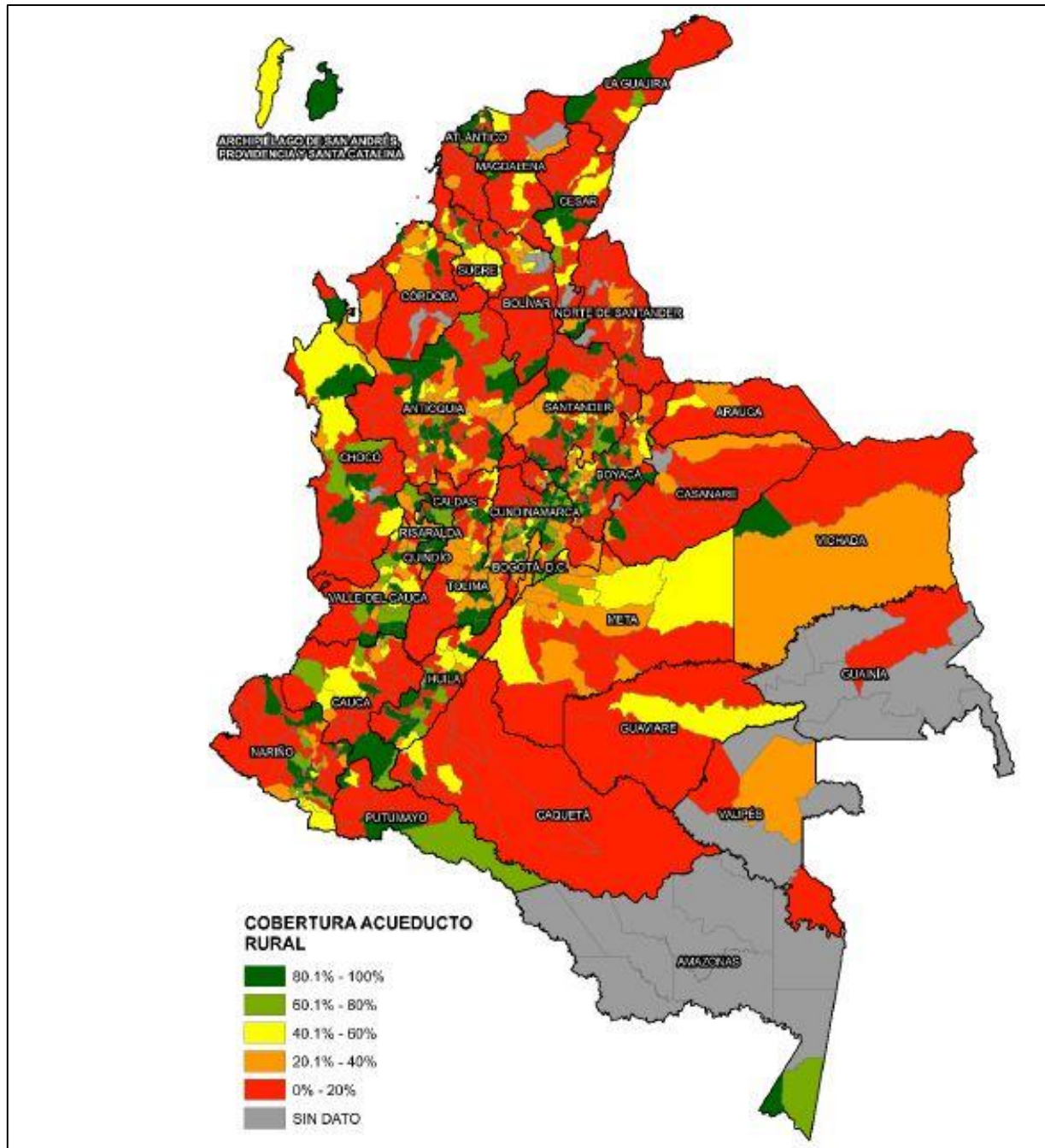


Ilustración 6. Mapa cobertura acueducto zona rural. Tomado del Informe sectorial de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado 2018.

La **Ilustración 6**, muestra gráficamente el panorama a nivel nacional que la ruralidad enfrenta.

3.8 Plantas de tratamiento de agua potable PTAP.

3.8.1 Importancia

Una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) elimina macroorganismos, microorganismos o sustancias que en determinadas concentraciones pueden poner en riesgo la salud humana, es decir, la PTAP ya sea en cabeceras municipales o en pequeñas comunidades deben cumplir con valores máximos permisibles estipulados por la resolución 2115 de 2007 (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007); esta establece límites para variables físicas, químicas y microbiológicas; para lograr el cumplimiento de todos los parámetros el agua captada debe pasar por una serie de etapas o procesos que aseguran su inocuidad, disminuyendo el riesgo a la población abastecida.

3.8.2 Componentes.

A continuación, se describen los procesos de transformación por la que el agua cruda debe someterse para ser apta para consumo humano:

- **Captación:** Las fuentes superficiales o subterráneas requieren estructuras hidráulicas que permitan la extracción de una porción del fluido; las fuentes superficiales generalmente utilizan bocatomas y las aguas subterráneas sistemas de bombeo.

La calidad de la fuente en términos físico-químicos y microbiológicos determina el grado de tratamiento requerido (Ministerio de desarrollo económico, Dirección de agua potable y saneamiento básico, 2000), entre las variables a cuantificar se encuentran DBO5, Coliformes totales, oxígeno disuelto, pH, turbiedad, color, cloruros, fluoruros (Ministerio de desarrollo económico, Dirección de agua potable y saneamiento básico, 2000).

- **Desarenador:** Esta unidad el sistema de tratamiento es la encargada de retirar el más denso del agua, como lo son las arenas y piedras; debe ubicarse lo más cerca posible de la captación con el objetivo de que el material retirado no obstruya tuberías, ni deteriore el sistema de bombeo de la planta. (Proceso de potabilización del agua, 2008).
- **Coagulación-Floculación:** La coagulación o mezcla rápida consiste en la adición de polímeros o sales que desestabilizan las partículas coloidales (material suspendido) presentes en el agua cruda, generalmente se agrega el coagulante en la entrada de la planta en donde debe haber una perturbación del fluido que asegura una combinación uniforme. Una vez adicionado el químico inicia la reacción y la formación de flocs es perceptible al ojo humano. (Ministerio de desarrollo económico, Dirección de agua potable y saneamiento básico, 2000).

La dosificación y concentración del producto deben determinarse mediante un ensayo periódico de jarras, garantizando así una formación eficiente de los flóculos.

- **Sedimentación:** Los sedimentadores más comunes son los de flujo horizontal y los de flujo vertical, su elección depende la calidad del agua a tratar (la cantidad de

turbidez en el agua es una variable que debe tenerse en cuenta), también existen los sedimentadores de manto de lodos; sin importar el tipo de sedimentador seleccionado el objetivo fundamental es garantizar que el floc generado en la unidad anterior no llegue a la unidad de filtración, ya que podría ocasionar el colmatamiento de los filtros.

- **Filtración:** Existen dos tipos de filtración: filtración rápida y filtración lenta, su elección al igual que los sedimentadores depende del agua a potabilizar. A continuación, se exponen las características principales a considerar a la hora de seleccionar el tipo de filtración (Proceso de potabilización del agua, 2008).
- **Filtración rápida:** Es utilizada en plantas potabilizadoras donde son llevados a cabo procesos de pretratamiento como coagulación-floculación. Este tipo de filtración se divide en dos:
 - **Filtración directa:** La turbiedad y el color del agua cruda debe ser menor de 8 UNT y 30 UC respectivamente. (Ministerio de desarrollo económico, Dirección de agua potable y saneamiento básico, 2000).
 - **Filtración convencional:** La turbiedad debe ser menor a 8 UNT y el color inferior a 20 UC para ingresar a los filtros.
- **Filtración lenta:** Se divide en dos: (Ministerio de desarrollo económico, Dirección de agua potable y saneamiento básico, 2000).
 - **Como tratamiento único:** Es utilizada cuando el agua cruda tiene una turbiedad inferior a 15 UNT, color menor de 20 y las Coliformes fecales estén por debajo de 500 NMP.
 - **Filtración lenta en diversas etapas:** Se emplea cuando la calidad de la fuente no es muy buena, la turbiedad y el color deben estar menor a 80 UNT y 30 UC respectivamente.
- **Desinfección:** Es la etapa del proceso donde se le añade al agua productos químicos para garantizar la eliminación de agentes patógenos; el agente desinfectante más común es el cloro, sin embargo, existen otras tecnologías como la ozonización y los rayos ultravioleta. (Ministerio de desarrollo económico, Dirección de agua potable y saneamiento básico, 2000).

3.9 Índice de Calidad del Agua.

Cómo instrumento básico para garantizar la calidad del agua para consumo humano, el Artículo 12 del *Decreto 1575 de 2007* define el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano – IRCA, por el cual se define el riesgo de ocurrencia de las enfermedades asociadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano.

Tabla 5. Parámetros para determinar el IRCA.

Característica	Puntaje de riesgo	Característica	Puntaje de riesgo
Color Aparente	6	Dureza Total	1
Turbidez	15	Sulfatos	1
pH	1,5	Hierro Total	1,5
Cloro residual libre	15	Cloruros	1
Alcalinidad total	1	Nitratos	1
Calcio	1	Nitritos	3
Fosfatos	1	Aluminio (Al ³⁺)	3
Manganeso	1	Fluoruros	1
Molibdeno	1	COT	3
Magnesio	1	Coliformes Totales	15
Zinc	1	Escherichia Coli	25
Sumatoria de puntajes asignados			100

Fuente: Resolución 2115 de 2007

El Índice de Riesgo de Calidad del Agua para Consumo Humano – IRCA depende del análisis y resultado de los parámetros establecidos en **Tabla 5** y se calcula por medio de la **Ecuación 1**.

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

Ecuación 1. Cálculo del IRCA

El valor del IRCA (%) tomará una magnitud igual a cien (100) cuando cada uno de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos estipulados por la norma, superen los valores aceptables por la misma y en cuyo caso se dará el más alto riesgo respecto a la calidad del recurso, por su parte el IRCA tomará un valor de cero (0) cuando cada parámetro cumpla dentro de los valores máximos permisibles sin representar un riesgo para la salud humana, **Tabla 6**.

Tabla 6. Clasificación y nivel de riesgo - IRCA.

Clasificación IRCA	Nivel de Riesgo	IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA mensual (Acciones)
80,1 -100	INVIABLE SANITARIAMENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	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, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
14,1 – 35	MEDIO	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 de 2007

4 MARCO METODOLÓGICO.

4.1 Descripción del área de estudio

4.1.1 Ubicación

La vereda San Isidro cuenta con un área de 211,08 Ha. es una de las 36 veredas que tiene el municipio de Guarne, Antioquia este encuentra ubicado en el oriente antioqueño, su extensión rural es superior a la urbana con 147 km² y 4 km² respectivamente; es importante resalta que el acueducto rural también abastece a las veredas EL Zango, El Salado y Batea Seca. A continuación, se muestra la ubicación del acueducto y las veredas que atiende.

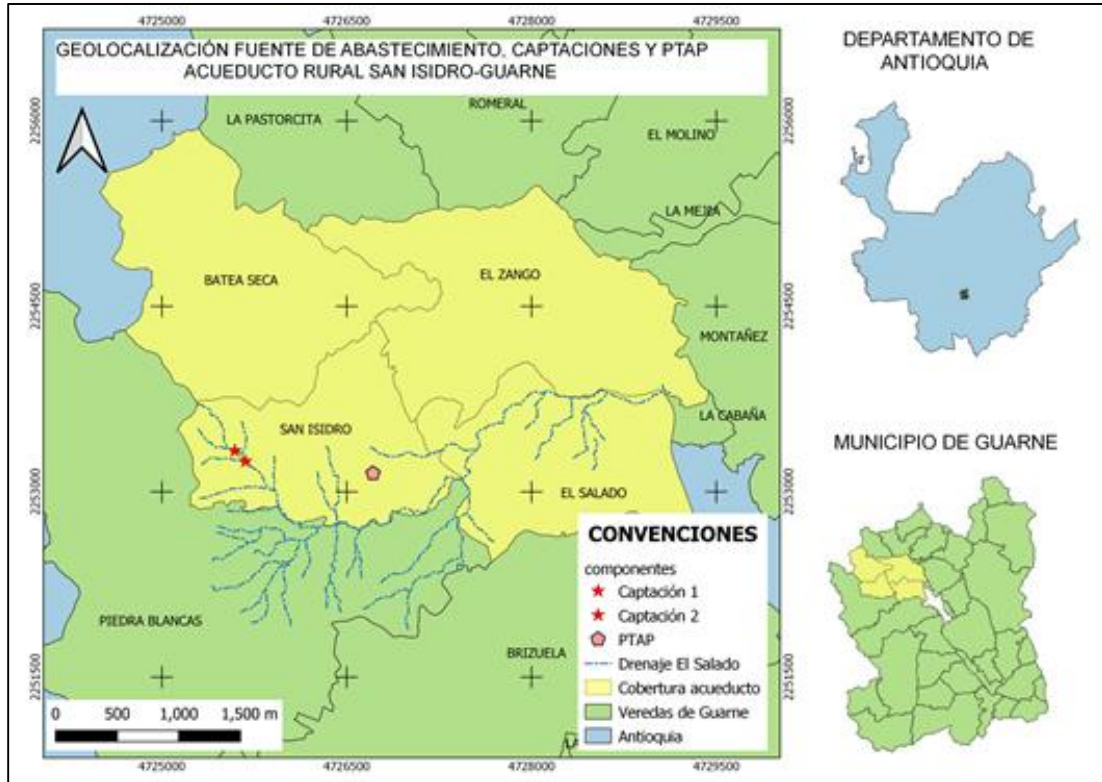


Ilustración 7. Ubicación vereda San Isidro y PTAP acueducto San Isidro.

4.1.2 Características Biofísicas

4.1.2.1 Hidrografía

La quebrada La Mosca es la corriente principal del municipio de Guarne, cuenta con una longitud de 30 Km en ella desembocan varias corrientes tanto en su margen derecha como izquierda; las quebradas Batea Seca, El Sango, El Salado La Brizuela, La Honda, San José, Hojas Anchas, La Mosquita y Garrido entran por el margen derecho, mientras que La Mejía, Montañés, La Mulona, Basto Norte, Basto Sur, La Ochoa, San Felipe, La Clara, Chaparral y La Castro son quebradas que confluyen por el margen izquierdo. (**página web de Guarne, 20/09/2020**).

La vereda San Isidro hace parte de la cuenca de la quebrada La Honda, que a su vez pertenece a la subcuenca de la Quebrada La Mosca. La quebrada La Honda nace en la vereda Piedras Blancas y tiene una extensión aproximada de 2.426,9 Ha. El 90% de la cuenca pertenece al parque Arvi, y el 10% Población rural del municipio de Guarne, se encuentran asentada en la cuenca La Honda. (**POT GUARNE 2015**).

4.1.2.2 Clasificación y uso del suelo

La vereda San Isidro es clasificado por el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio como “Centro poblado San Ignacio” estando impactado por el parque Eco turístico Arví, parque Piedras Blancas, Santa Elena y la Reserva Nare, por esta razón es un potencial para ejecutar actividades de servicios turísticos y agrarios.

Los usos permitidos en esta zona rural son los siguientes

- Vivienda rural
- Actividades artesanales
- Actividades y servicios turísticos
- Actividades campesinas como producción de flores, hortalizas y ganadería

Debido a la ubicación de San Isidro y a las características morfológicas como zonas con altas pendientes, cobertura vegetal que no favorece la retención del suelo entre se pueden presentar movimientos en masa, sin embargo, en términos generales la vulnerabilidad de este centro poblado por fenómenos geológicos es baja, así lo clasifica el artículo 68 del POT.

4.1.2.3 Características demográficas

El último censo poblacional fue realizado en el 2020, el cual arrojó una población rural estimada de 1.296 habitantes al que el acueducto presta el servicio de agua potable, es decir, actualmente el total de usuarios residenciales que atienden son 324 con un número de habitantes por vivienda de 4 personas.

4.2 Metodología para el desarrollo de los objetivos

4.2.1 Levantamiento de Información Secundaria

Las principales fuentes de información se encontraron en la Alcaldía de Guarne en las secretarías de Planeación y Sanidad; se contactaron de forma telefónica y por correo electrónico recolectando la siguiente información: base de datos de los acueductos rurales, caudales de captación, tipo de plantas, consolidados del IRCA de los años 2018-2019, Plan de Ordenamiento territorial, plan municipal de gestión de riesgo de desastres entre otros.

De igual manera el acueducto rural de la vereda San Isidro facilitó los análisis de laboratorios realizados por la secretaria de sanidad y por CORNARE de los dos últimos años, además de brindar toda la información técnica y administrativa que se necesitó para desarrollar el trabajo.

4.2.2 Visita Preliminar

Se realizó una visita a la Planta de tratamiento de agua potable PTAP en la cual se desarrolló una inspección general logrando un registro del estado actual de la planta, sus componentes, su estado y funcionalidad.

4.2.3 Toma de Muestra

Con apoyo del operario de la planta se ejecutó el monitoreo de las variables (Turbiedad, pH, Temperatura y Color), las mediciones de estos parámetros se llevaron a cabo en cuatro sitios de muestreo: Bocatoma; tanque de almacenamiento planta; tanque la porra y red de distribución (Caseta comunal), en esta oportunidad solo se evaluaron las variables, pH, temperatura y turbiedad. Esta primera jornada de muestreo se realizó en el mes de julio de 2020.

Posteriormente el acueducto programo un segundo muestreo, esta vez, se contrató al laboratorio CORNARE para que analizaran las muestras en los sitios de monitoreo anteriormente mencionados.

4.2.4 Procesamiento de Muestras

Acorde a las condiciones pautadas para cada una de las muestras tomadas manteniendo la representatividad de cada una de ellas, se realizó el respectivo análisis y registro de los valores obtenidos.

4.2.5 Análisis de Resultados y Conclusiones

La información suministrada por la alcaldía municipal permitió elaborar un panorama general de las similitudes, diferencias y dificultades de los acueductos rurales de Guarne, permitiendo seleccionar al acueducto San Isidro como referente.

De igual manera se estudió el estado actual de la planta y cada uno de sus componentes y los valores definidos para los parámetros fisicoquímicos mencionados previamente, se ejecutó un diagnóstico de la PTAP ubicada en la vereda de San Isidro, en el que se identificaron los escenarios propensos a mejora, los aspectos técnicos bajo los cuales se justifican dichas modificaciones y las repercusiones que representan dichos escenarios en la operación actual de la planta.

4.2.6 Visita acueducto

Se socializó al personal del acueducto como el operario los hallazgos obtenidos del análisis de la información arrojada por los informes de laboratorio, toma de muestras e inspección del sistema de tratamiento.

4.2.7 Informe Diagnostico y Manual de la PTAP

Como insumo al acueducto se realiza entrega digital de toda la propuesta de mejoramiento desarrollada, igualmente se entrega, el manual de operación y mantenimiento de la planta.

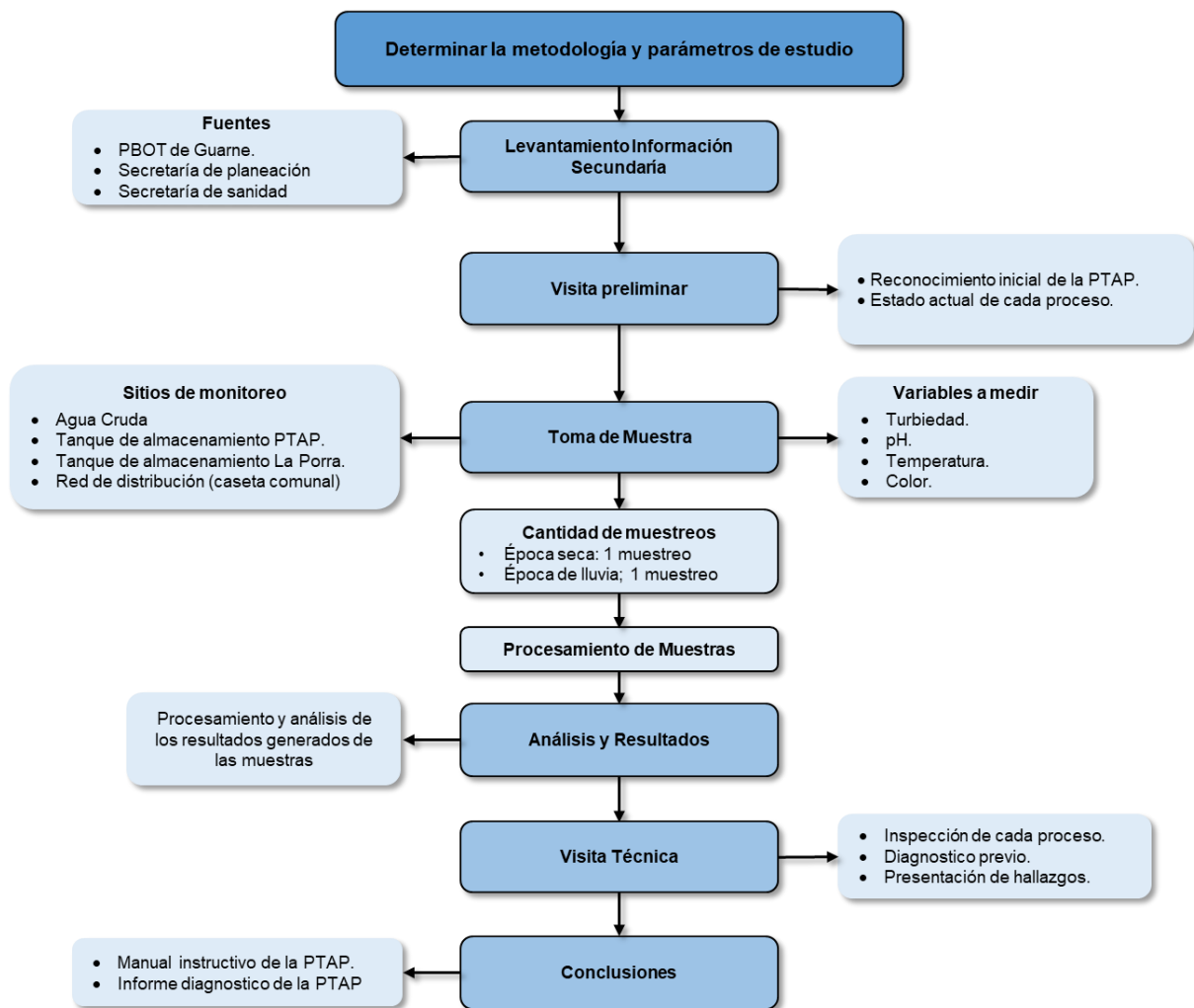


Ilustración 8. Metodología propuesta de mejoramiento de los acueductos veredales. Caso de estudio vereda San Isidro.

5 RESULTADOS Y ANÁLISIS.

5.1 Tipología acueductos

El objetivo principal que motivó realizar una tipología de los 33 acueductos rurales del municipio de Guarne, fue el poder encontrar las similitudes, diferencias y desafíos de los mismos que permitiera seleccionar a uno de ellos como caso de estudio; la búsqueda de información fue un proceso que presentó dificultades ya que no todas las juntas administradoras eran abiertas a brindar este tipo de información, fue gracias a la Alcaldía del municipio en cabeza de la Secretaría de Planeación y la Secretaría de Sanidad que se pudo recolectar información general de todos los acueductos, a continuación se presentan los resultados encontrados con la información brinda.

5.1.1 IRCA 2018 Municipio de Guarne

El municipio de Guarne cuenta con 33 acueductos rurales entre los que se encuentran los acueductos:

Hondita Hojas Anchas PTAP 01, Muntiveredal Juan XIII PTAP 01 y Multiveredal El Roble con 892, 1.170 y 1.485 suscriptores respectivamente siendo así los acueductos con mayor número de suscriptores en el municipio de Guarne. Cabe aclarar que aquellos acueductos que no cuentan con valor numérico en cantidad de suscriptores (*Hondita Hojas Anchas PTAP La Clarita y Santa Elena*), se debe a la no disponibilidad de esta información.

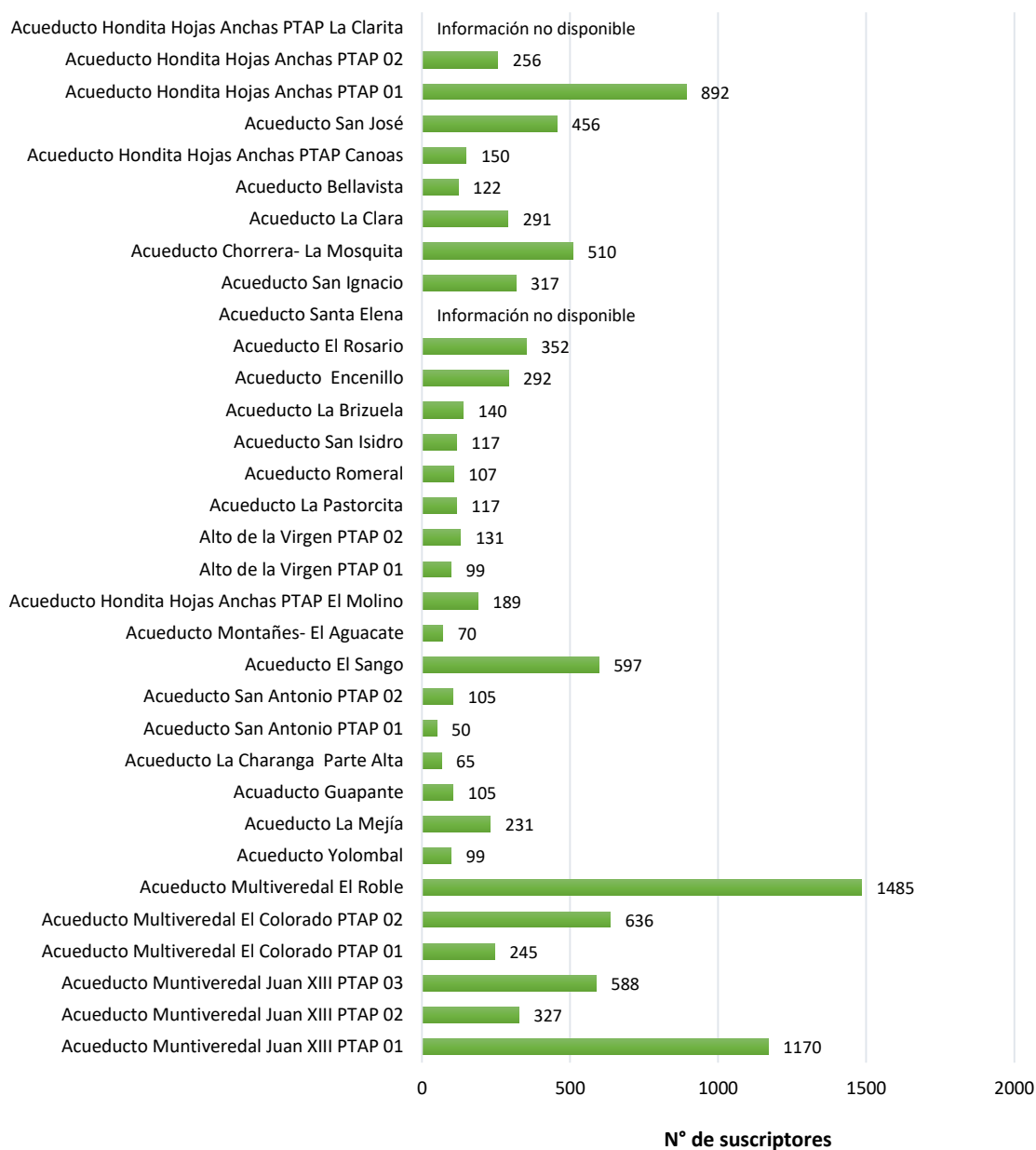


Gráfico 5. Suscriptores acueductos Guarne al año 2018.

En conformidad con el caudal aferente a cada acueducto, **Tabla 7** se trata en promedio 12 L/s. Teniendo mayor capacidad los acueductos operados por *Corporación La Enea*, *Asociación De Suscriptores Del Acueducto Hondita Hojas Anchas Del Municipio De Guarne Asacuhan* y *Empresa De Servicios Públicos Domiciliarios Del Municipio De Guarne E.S.P.* con capacidad de 40, 50 y 70 L/s respectivamente.

Tabla 7. Características de las PTAP.

<i>Planta de Tratamiento</i>	<i>Tipo</i>	<i>Caudal (L/Seg)</i>
<i>Asociación De Suscriptores Aguas La Chorrera</i>	Compacta	*
<i>Asociación De Usuarios Del Acueducto San Ignacio A.S.U.A.S.I.</i>	*	*
<i>Asociación De Suscriptores Del Acueducto Multiveredal Juan XXIII Chaparral</i>	Modular	*
<i>Asociación De Suscriptores Acueducto Multiveredal El Colorado Asuacol</i>	Modular	7
<i>Asociación De Usuarios Del Acueducto Veredal La Clara</i>	Modular	7
<i>Asociación De Usuarios Del Acueducto Veredal San José</i>	Modular	*
<i>Asociación De Usuarios Del Acueducto De La Vereda La Brizuela</i>	Compacta	2
<i>Asociación De Usuarios Del Acueducto De La Vereda La Brizuela (2da)</i>	Compacta	7
<i>Asociación De Suscriptores Del Acueducto Barrio San Antonio Aguasanan</i>	Compacta	1.8
<i>Asociación De Usuarios Acueducto La Charanga Parte Alta</i>	Compacta	2.5
<i>Asociación Acueducto Guapante Asoagua</i>	Compacta	3
<i>Asociación De Usuarios Del Acueducto Montanez El Aguacate</i>	Compacta	1.5
<i>Asociación De Usuarios Del Acueducto Montanez El Aguacate (2da)</i>	Compacta	2.5
<i>Asociación De Usuarios Del Acueducto Ensenillo Asoense</i>	Modular	*
<i>Asociación De Usuarios Del Acueducto El Rosario Piedras Blancas</i>	Compacta	6
<i>Asociación De Usuarios Del Acueducto De La Vereda San Isidro</i>	Compacta	2.21
<i>Asociación De Usuarios Del Servicio De Acueducto De La Vereda El Sango</i>	Compacta	*
<i>Asociación De Usuarios Del Acueducto La Pastorcita</i>	Compacta	1.5
<i>Asociación De Usuarios Del Acueducto De La Vereda Romeral</i>	Compacta	2
<i>Asociación Acueducto Vereda La Mejía</i>	Compacta	3
<i>Asociación De Usuarios Del Acueducto Alto De La Virgen</i>	Modular	2
<i>Asociación De Usuarios Del Acueducto Alto De La Virgen (2da)</i>	Compacta	2
<i>Asociación De Usuarios Del Servicio De Acueducto De La Vereda Yolombal</i>	Compacta	4
<i>Asociación De Suscriptores Del Acueducto Multiveredal El Roble</i>	*	*
<i>Asociación De Suscriptores Del Acueducto Hondita Hojas Anchas Del Municipio De Guarne Asacuhan</i>	Modular	20
<i>Asociación De Suscriptores Del Acueducto Hondita Hojas Anchas Del Municipio De Guarne Asacuhan (2da)</i>	Modular	50
<i>Acción Comunal Bellavista (Asociación De Usuarios Del Acueducto De La Vereda Bellavista)</i>	Modular	1.5
<i>Asociación De Usuarios Del Acueducto Multiveredal El Molino</i>	*	*
<i>Corporación Acueducto Multiveredal Carmin Cuchillas Mampuesto Y Anexos</i>	Modular	32
<i>Corporación De Acueducto Multiveredal Santa Elena</i>	Modular	20
<i>Corporación La Enea</i>	Modular	40
<i>Empresa De Servicios Públicos Domiciliarios Del Municipio De Guarne E.S.P.</i>	Modular	70

Nota: Los campos definidos como * hacen relación a los registros para los cuales no se logró adquirir información relacionada.

De la **Tabla 7** se registran una mayoría de plantas (16) de tratamiento de agua potable con una funcionalidad compacta y un sistema funcional modular, es decir con los procesos estándares funcionando de manera individual se registran 13 plantas, por otro lado las PTAP operadas bajo el Acueducto Multiveredal El Roble, Acueducto Multiveredal El Molino y Acueducto San Ignacio A.S.U.A.S.I. no presentan información disponible en relación al tipo de planta **Gráfico 6**.

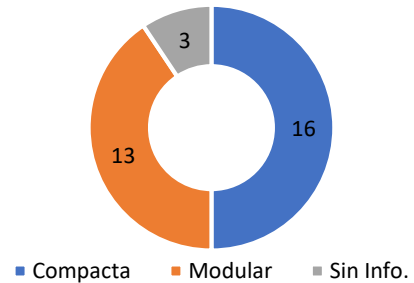


Gráfico 6. Características PTAP Guarne.

El Índice de Riesgo de Calidad del Agua para Consumo Humano – IRCA se determina con una periodicidad mensual para cada una de las plantas de tratamiento de agua potable. Para el caso de los acueductos ubicados en el municipio de Guarne, se dispone del valor IRCA definido entre los meses de marzo y diciembre del año 2018 **Gráfico 7**. De las 33 plantas analizadas se caracterizan las denominadas “Acueducto San Ignacio” y “Acueducto La Charanga Parte Alta” por presentar un porcentaje IRCA muy bajo clasificando el cuerpo de agua como apta para consumo humano ya que no presenta riesgo alguno, por otro lado, la planta denominada “Acueducto Muntiveredal Juan XIII PTAP 01” ubicada en la localidad JUAN XXIII, acorde al índice porcentual acumulado IRCA para este acueducto el cuerpo de agua no es apta para consumo humano debido al alto riesgo.

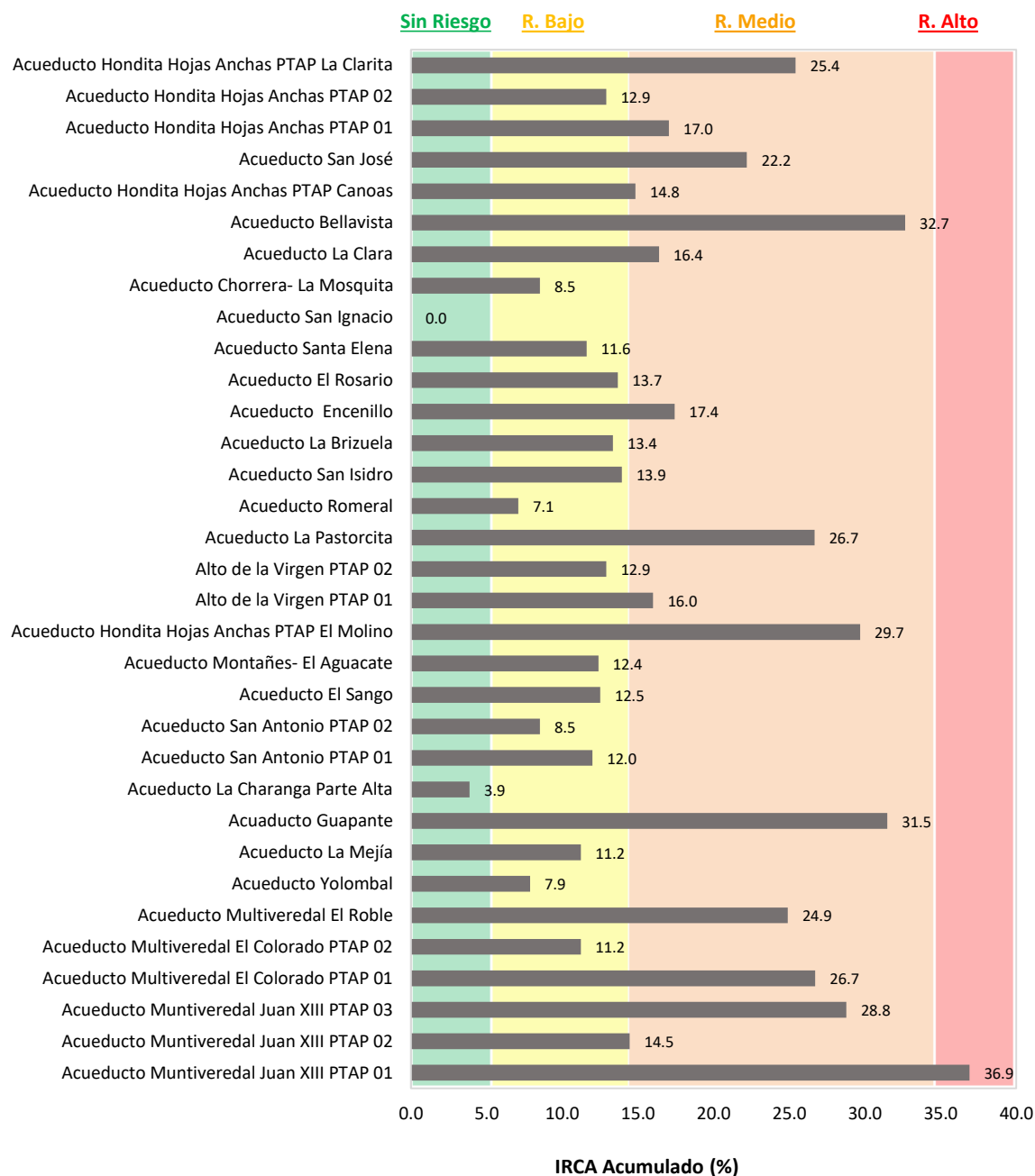


Gráfico 7. Porcentaje IRCA Acumulado en los Acueductos.

Acorde al porcentaje de IRCA acumulado entre el lapso de tiempo mencionados previamente para los 33 acueductos veredales, solo dos del total de acueductos analizados reflejan un Índice de Riesgo de Calidad del Agua para Consumo Humano acumulado clasificado como “Sin Riesgo” (**Gráfico 8**), siendo así apta para consumo humano, en contraste 31 acueductos presentan algún grado de riesgo que podría comprometer la salud tras el consumo humano, teniendo 15 acueductos con clasificación “Riesgo Bajo”, 15 acueductos con clasificación “Riesgo Medio” y una planta de acueducto con IRCA

acomulado clasificado como “Riesgo Alto” por lo que esta ultima no es apta para consumo humano debido al alto riesgo que implica acorde al índice de calidad.

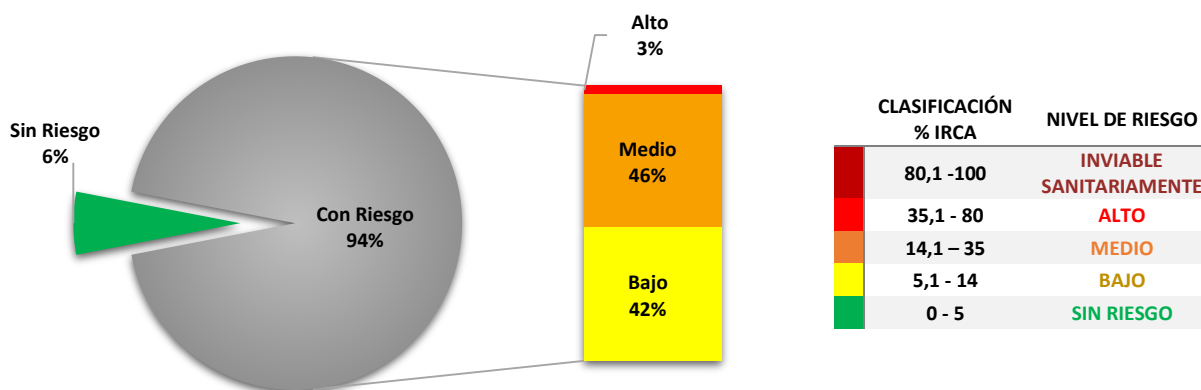


Gráfico 8. Distribución porcentual en la clasificación IRCA.

Al determinar el IRCA acumulado promedio mensual con base en los registros de los 33 acueductos de estudio **Gráfico 11**, se logra determinar el comportamiento medio para el índice de calidad del agua entre los meses de marzo y diciembre de 2018, año para el cual durante los meses de mayo y septiembre se adquiere el porcentaje IRCA con mayor magnitud como resultado del aumento en la concentración de los parámetros analizados para el cálculo del índice de calidad. Este comportamiento general del índice podría estar relacionado con el régimen de lluvias presentes durante dicho año.

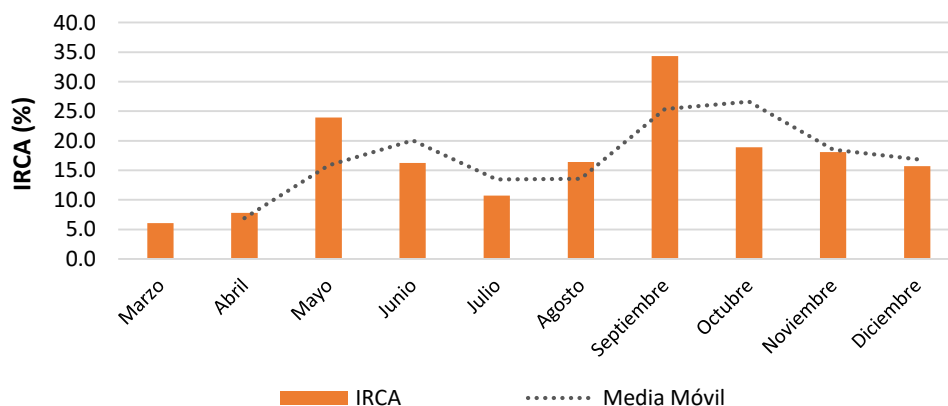


Gráfico 9. IRCA medio acumulado mensual para el año 2018.

Ya que el municipio de Guarne no cuenta con una estación meteorológica activa con registros de precipitación para el año 2018, se determina el comportamiento aproximado de las precipitaciones en el municipio de Guarne y sus veredas a través de los registros captados por las 3 estaciones meteorológicas del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) más cercanas al municipio. La estación meteorológica ubicada en el Estadio Tulio Ospina ubicada en el municipio de Bello, la estación Olaya Herrera ubicada en el Aeropuerto del municipio de Medellín y la estación

José María Córdoba ubicada en el aeropuerto del municipio de Rionegro son las estaciones definidas por su proximidad al municipio de Guarne para determinar el comportamiento aproximado del régimen de lluvias en el lapso de tiempo de estudio **Ilustración 9**.

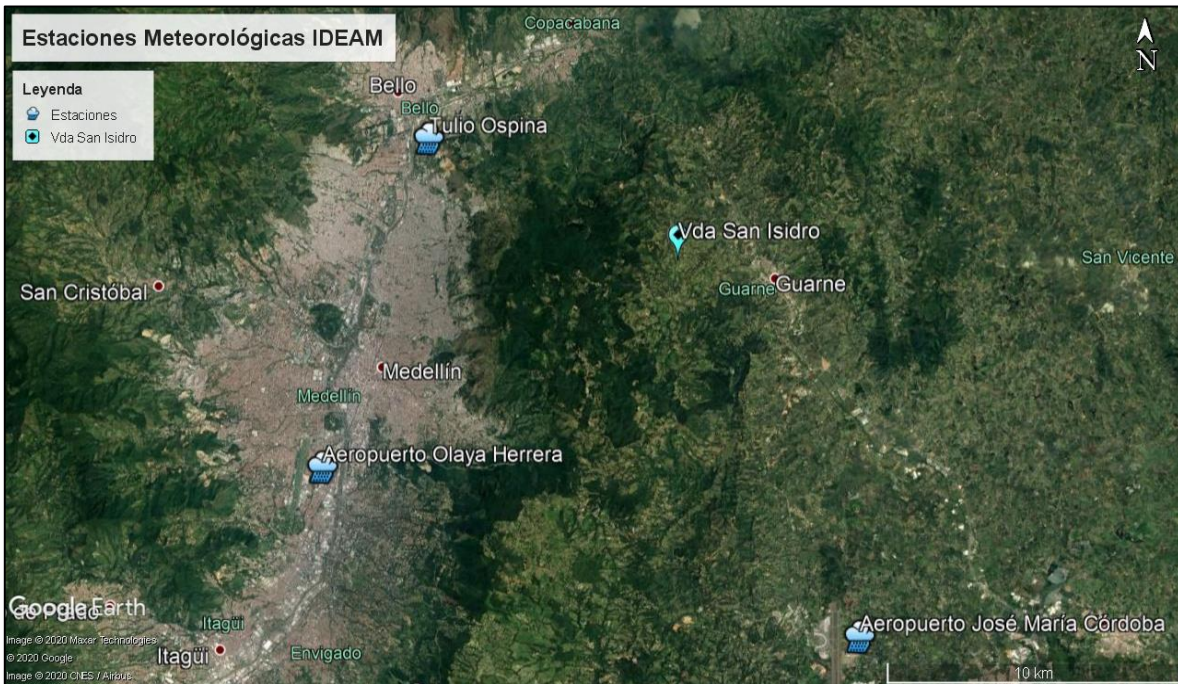


Ilustración 9. Estaciones Meteorológicas.

Fuente: Google Earth.

Al determinar la precipitación media mensual de cada una de las tres estaciones mencionadas para el lapso de tiempo de interés se evidencia una relación media aproximada en la magnitud de las precipitaciones registradas por cada estación en cada mes específico **Gráfico 10**.

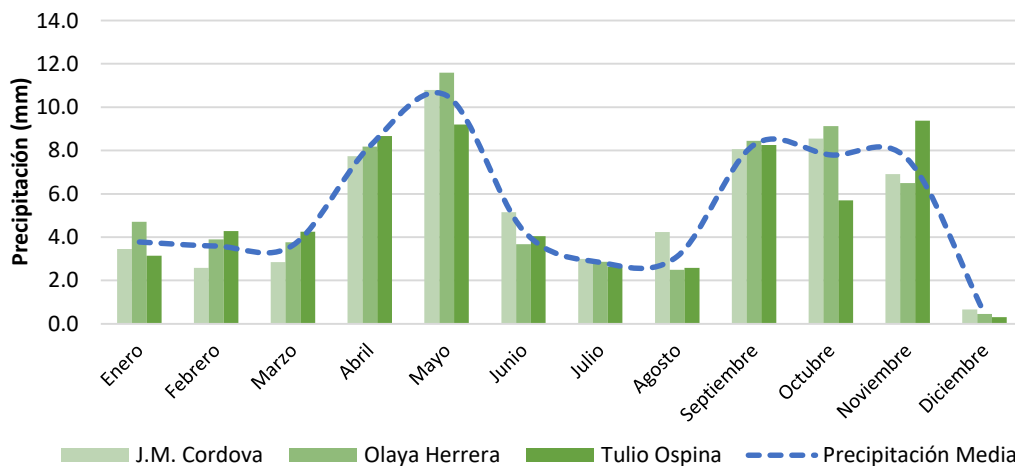


Gráfico 10. Precipitaciones medias en Guarne durante el 2018.

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
Gráfico: Autoría propia.

Un promedio mensual ponderado de las tres estaciones para cada mes podría mostrar la tendencia de las precipitaciones medias presentes en la zona de estudio, así se tiene una aproximación de las precipitaciones presentes en el municipio de Guarne entre marzo y diciembre de 2018. De la **Gráfico 10** se estima el régimen de lluvias aproximado sobre el municipio de Guarne.

A continuación, se ilustra el comportamiento del IRCA medio de las PTAP del municipio de Guarne en contraste con el IRCA medio específica del acueducto de San Isidro y el régimen promedio de precipitaciones en cada periodo mensual. La concentración de los parámetros analizados para el cálculo del índice de calidad del agua IRCA presentan una relación proporcional al régimen de lluvias debido a la susceptibilidad de algunos parámetros analizados en el IRCA frente al aumento de los caudales debido a las precipitaciones, este escenario se ilustra en el comportamiento de las variables del IRCA medio de los 33 acueductos con influencia directa principalmente en variables como la turbiedad y el color aparente lo cual se determina posteriormente, así, variaciones en las condiciones meteorológicas influyen directamente sobre la calidad del agua en las plantas de tratamiento de agua potable, tal y como se evidencia de manera particular en el acueducto de San Isidro para el cual se da un aumento en el índice porcentual IRCA medio justamente durante las temporadas con altas precipitaciones.

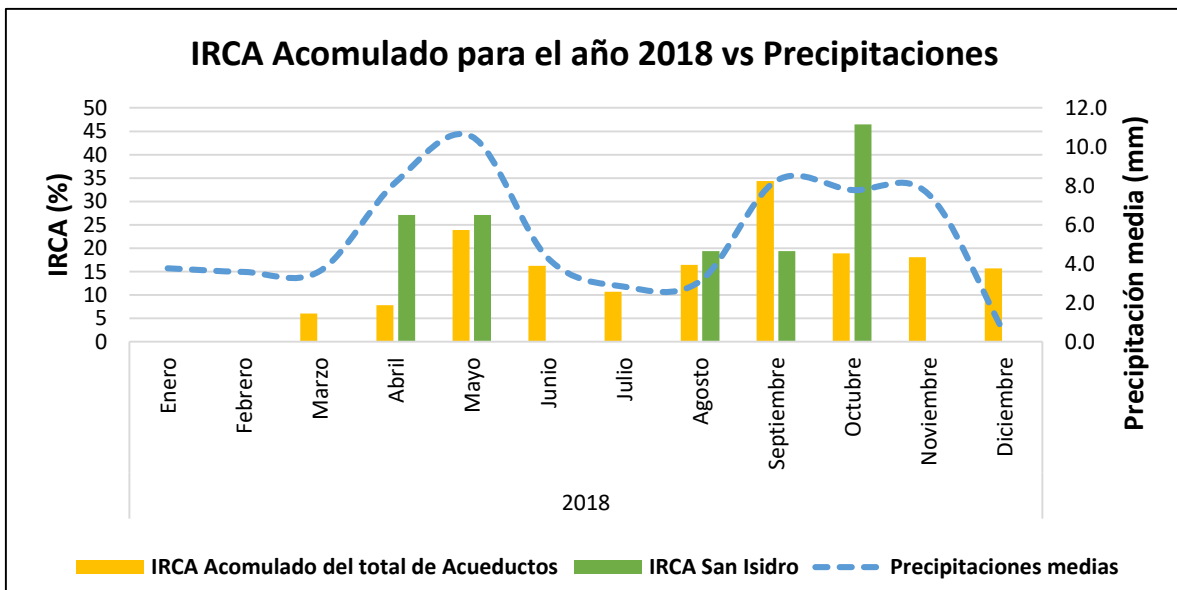


Gráfico 11. IRCA mensual para el municipio de Guarne en 2018.

5.2 Identificación de problemas técnicos en la planta de potabilización del acueducto rural San Isidro

El acueducto San Isidro en su sistema de potabilización cuenta con dos bocatomas, dos desarenadores; dos plantas compactas para el tratamiento del agua cruda, los caudales de tratamiento son de 2,21 L/s y 0,5 L/s; cuatro tanques de almacenamiento, el primero se encuentra ubicado en la planta de tratamiento con una capacidad de 35 m³ y distribuye el agua por gravedad, al igual que los dos tanques de reserva que están junto a la planta, ambos tienen un volumen de 70 m³ y el último tanque de almacenamiento se encuentra ubicado en el sector La Porra la distribución de agua es por bombeo y su capacidad es de 65 m³.

En el proceso de transformar el agua cruda en agua apta para consumo humano se adiciona al fluido dos químicos, el primero es el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ el cual es un coagulante y participa en el proceso de coagulación-floculación permitiendo agrupar las partículas disueltas en el agua responsables de la turbiedad y color en el agua; el segundo es el hipoclorito de calcio $CaCl_2O_2$ que se adiciona como desinfectante.; anteriormente utilizaban cal para realizar corrección de pH, sin embargo en la actualidad esta práctica de adicionar el producto ya mencionado se eliminó del tren de tratamiento debido a que no presentan problemas de pH del agua cruda que entra a la planta como en años anteriores.

5.2.1 Funcionamiento de las plantas de potabilización del acueducto rural San Isidro

Como se mencionó anteriormente el acueducto cuenta con dos plantas cuentan con los procesos convencionales de tratamiento, sin embargo, difieren en las capacidades hidráulicas de tratamiento, a continuación, se describirá el funcionamiento de ambas el día de la visita, pero antes se presentará la secuencia lógica de un tren de tratamiento convencional de una PTAP compacta.

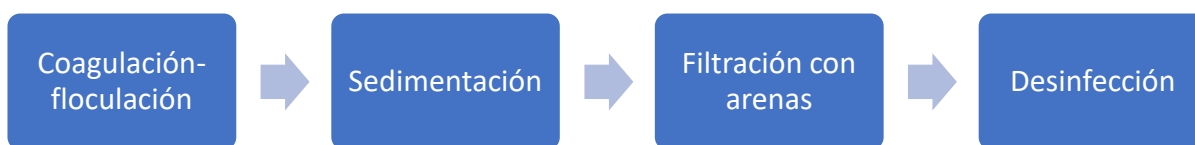


Ilustración 10. Tren de tratamiento convencional PTAP compacta.

- **Planta compacta Q=2.21 L/s:** el ingreso de agua cruda se realiza por cuatro (4) compartimientos independientes, en cada uno de ellos se llevan a cabo los procesos de floculación, sedimentación y filtración por arenas finalmente en la parte superior por rebose cae a un anillo en donde se une el agua de las cuatro cámaras para pasar al proceso de desinfección. La secuencia de los procesos llevados a cabo en la planta es consistente a un tratamiento convencional y no se visualizaron anomalías.



Foto 1. Vista superior PTAP Q:2.21L/S

- **Planta compacta Q=0.5 L/s:** El ingreso se realiza por dos entradas a un único compartimiento, donde se encuentra primero la etapa de floculación, filtración y por último sedimentación; las etapas de esta planta no se encontraban correctamente ubicadas debido a que el proceso de filtración se encontraba en la fase intermedia, mientras que el proceso de sedimentación estaba en la etapa final, lo anterior, permitió identificar, incongruencias en el tren de tratamiento.



Foto 2. Vista superior PTAP Q=0.5 L/s

5.2.2 Adición de químicos

El acueducto cuenta con una “*Caseta de químicos*”, en este lugar se almacenan y se preparan la sustancia química adicionada al agua cruda que facilitan el proceso de potabilización

- **Sulfato de Aluminio líquido tipo A:** Se cuenta con un recipiente con un volumen de 180 L en el cual se prepara el coagulante con una concentración de 200ppm, es decir, 3,6 Litros de la sustancia. La durabilidad de la mezcla es de 37.5 días por lo que el caudal de descarga al agua cruda es de 80 ml/min, este es constante, es decir, sin importar las características del agua de entrada o si se encuentra en época de lluvia o época seca siempre se la adiciona la misma concentración y cantidad, es importante realizar ensayo de jarras para determinar las concentraciones de coagulante teniendo en cuenta los cambios del agua de entrada.
- **Hipoclorito de Calcio granular:** La preparación de este, al igual que el sulfato de aluminio es en un recipiente de 180 L al cual le adicionan 3150 gramos de producto, su durabilidad es inferior a la del coagulante ya que cada diez (10) días se debe de realizar nuevamente la preparación, por lo que la dosificación es de 300 ml/min. Las adiciones de cloro para llevar a cabo los procesos de desinfección deben responder a las propiedades físico-químicas del agua una vez pase por los procesos de tratamiento, es decir, se deben tener en cuenta las sustancias orgánicas e inorgánicas porque dependiendo de la concentración de estas el desinfectante tendrá un mayor gasto, además, se debe de considerar el tiempo de contacto del desinfectante y el agua, que en este caso se daría en los tanques de almacenamiento.

5.2.3 Variable físico-químicas Acueducto San Isidro

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de pH, turbiedad, color aparente, cloro residual, Coliformes totales y Escherichia Coli, analizados con una periodicidad mensual por la Corporación Autónoma Regional Cornare y la Secretaría de Sanidad entre enero de 2018 y agosto de 2019 para la PTAP de la vereda San Isidro.

Es importante mencionar que el análisis realizado en relación a cada parámetro se define bajo lo establecido en la Resolución N° 2115 de 2007.

5.2.3.1 Potencial Hidrogeno (pH).

El pH es un parámetro cuya variación determina si una sustancia es ácida, neutra o básica siendo así una variable relevante en el tratamiento químico y biológico tanto de agua potable como residual, así como el control de corrosión.

La escala de pH se ve reflejada en un rango que oscila de 0 a 14 Unidades de pH para el cual valores inferiores a 7,0 Unid. de pH hacen referencia a una sustancia con tendencias ácidas, por su parte, valores superiores a 7,0 Unid. de pH indican sustancias con tendencias básicas y sustancias con pH de 7,0 Unid. de pH indican la neutralidad absoluta en la

misma. La **Resolución 2115 de 2007** establece un valor permisible de pH apto para consumo humano deberá estar en el rango de 6,5 a 9,0 Unid. de pH.

En el **Gráfico 12** se muestran los valores obtenidos de pH para el lapso de tiempo de análisis. Se obtienen 31 registros para el tiempo de análisis que comprende 32 meses, teniendo la ausencia de registro durante el mes de febrero del año 2018, la totalidad de los registros obtenidos de pH por Cornare se encuentran dentro del rango definido por normatividad (6,5 y 9,0 Unid. de pH) y bajo una media de pH de 7,3 Unid. de pH. Por su parte la Secretaria de Salud registra 13 análisis de pH con un cumplimiento para la totalidad de estos y una media también de 7,3 Unid. de pH, cabe mencionar que ninguno de estos análisis ejecutados por la Secretaria de Salud fue ejecutado en el año 2020.

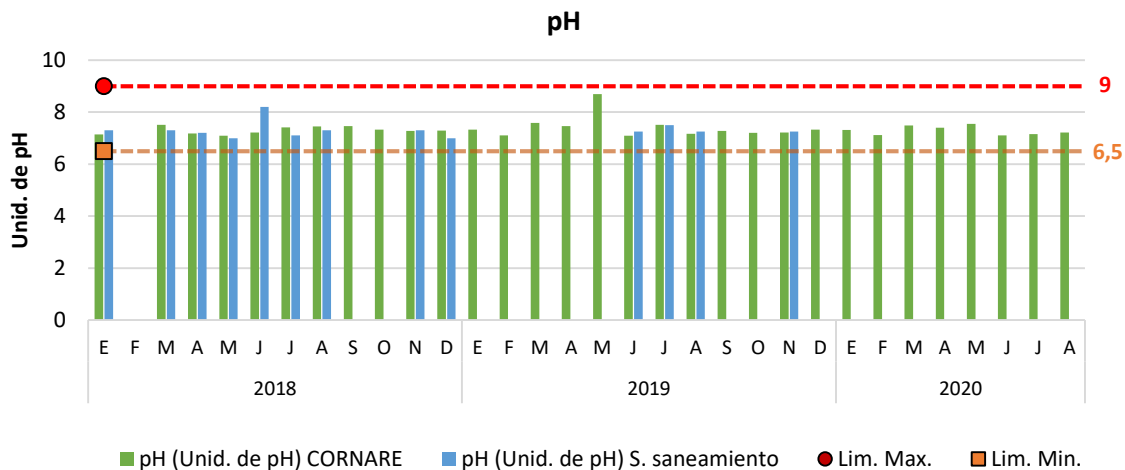


Gráfico 12. Resultados pH en PTAP San Isidro.

5.2.3.2 Turbiedad.

La turbidez o turbiedad es una propiedad óptica del agua basada en la medida de la luz reflejada por las partículas en suspensión. La turbidez puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, de tamaño variable entre las dispersiones coloidales y las gruesas, dependiendo del grado de turbulencia. La turbidez se debe a materiales de naturaleza inorgánica como la arcilla, la arena y el barro; o material orgánico y biológico (Pérez & Roldan, 2008).

La **Resolución 2115 de 2007** define que el valor de turbiedad analizado en aguas para consumo humano deberá ser inferior a 2,0 NTU.

En el **Gráfico 13** se observan los valores de Turbiedad registrados para el lapso de tiempo analizado. Por parte de la autoridad ambiental Cornare se registran 31 análisis para los cuales 23 de estos se encuentran dentro del cumplimiento normativo, así mismo se presenta una media de turbiedad de 1,9 UNT, por su parte la Secretaría de Salud ejecutó 13 análisis en los que 6 de ellos registraron valores de turbiedad dentro de los estándares

exigidos por normatividad, cabe resaltar que hasta el mes de agosto no se registran análisis por parte de la Secretaría de Salud para el año 2020. Por su parte, las variaciones en las condiciones meteorológicas influyen directamente los índices de turbiedad presentes en el cuerpo de agua, especialmente durante la época de lluvias es probable encontrar concentraciones de turbiedad sobresalientes por encima incluso del límite permitido por normatividad.

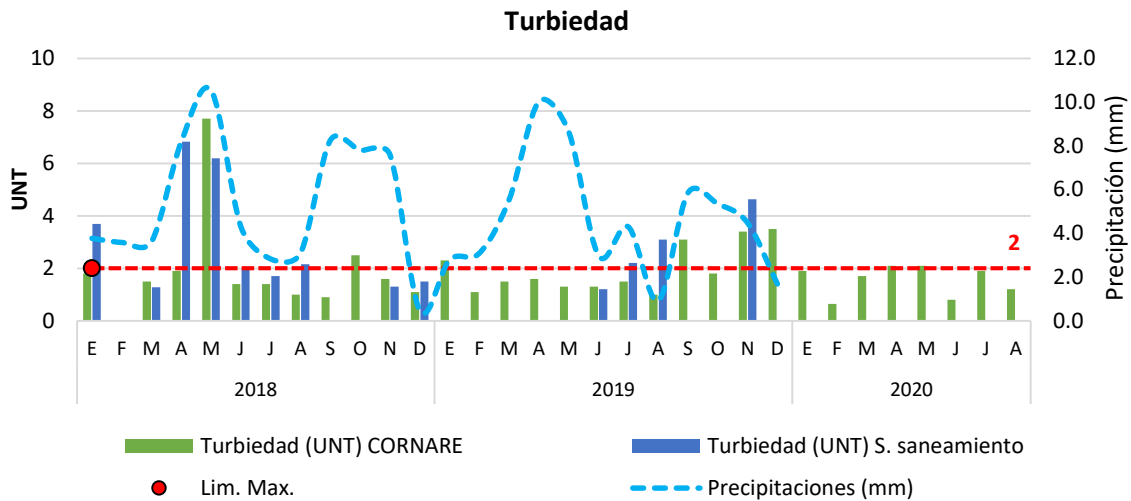


Gráfico 13. Resultados pH en Turbiedad en PTAP San Isidro.

5.2.3.3 Color Aparente.

El color en el agua está relacionado con la presencia de manganeso coloidal o en solución, hierro, ácidos húmicos, residuos industriales, desechos orgánicos como hojas, raíces, o demás materiales presentes en diferentes estados de descomposición. Dos tipos de color se reconocen en el agua: el color verdadero, o sea el color de la muestra una vez que su turbidez ha sido removida y el color aparente que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales si no también el color debido al material suspendido. (Arboleda, 1996).

La **Resolución 2115 de 2007**, con referencia al Color Aparente establece un valor máximo permisible en agua para consumo humano de 15 UPC.

En el **Gráfico 14** se definen los análisis realizados tanto por la autoridad ambiental Cornare como por la Secretaría de Salud. Se ejecutaron en el lapso de tiempo definido un total de 31 análisis para Color Aparente por parte de Cornare, de los cuales 18 se encontraron bajo cumplimiento normativo (< 15 UPC), además se define una media para Color Aparente de 17,7 UPC, por su parte la Secretaría de Salud ejecutó 13 análisis entre los cuales 9 de ellos presentaron registros de Color Aparente dentro de lo establecido por normatividad para consumo humano. Las condiciones meteorológicas presentan una influencia significativa en la variable color aparente, especialmente durante la época de

lluvias donde es probable encontrar concentraciones de color aparente por encima incluso del límite permitido por normatividad.

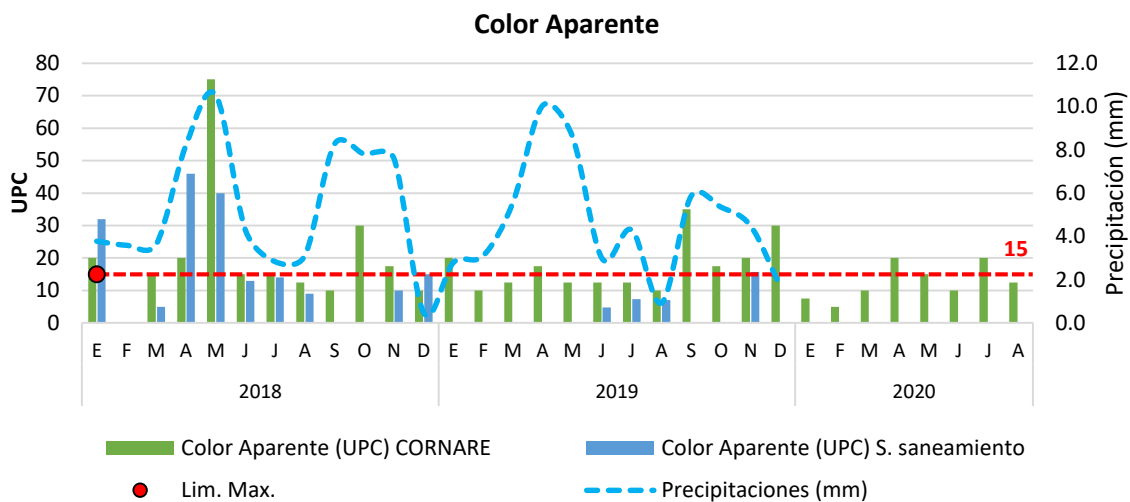


Gráfico 14. Resultados de Color Aparente en PTAP San Isidro.

5.2.3.4 Cloro Residual Libre.

El cloro residual libre generalmente se encuentra en el agua para consumo humano como una combinación de hipoclorito y ácido hipocloroso y cuya proporción en el agua se encuentra en función del pH. Para una desinfección adecuada es importante garantizar pequeñas concentraciones de cloro residual libre a lo largo de toda la red, tanto en el sistema de potabilización como en las acometidas de los consumidores.

De acuerdo a la **Resolución 2115 de 2007**, el valor aceptable del cloro residual libre en cualquier punto de la red de distribución del agua para consumo humano debe estar comprendido entre 0,3 mg/L y 2,0 mg/L.

En el **Gráfico 15** se analizó en Cloro Residual Libre por parte de la autoridad ambiental Cornare y la Secretaría de Salud para en lapso de tiempo establecido. Con relación a los análisis ejecutados por Cornare, se ejecutaron 31 análisis para cloro residual libre de los cuales 20 presentaron resultados con cumplimiento normativo (entre 0,3 y 2 mg/L Cl), el promedio de presenta una concentración de 0,7mg/L de Cloro Residual Libre, por su parte la Secretaría de Salud ejecutó 13 análisis para los cuales 12 registran resultados dentro de lo definido por las Resolución 2115 de 2007, cabe resaltar que para el año 2020 hasta el mes de agosto la Secretaría no ha ejecutados análisis de cloro residual libre.

Por otro lado, durante el año 2019 se registran dos datos cuya concentración sobresale de los registros medios, el promedio de ellos se presentó en mayo de 2019 con una concentración de 10mg/L de Cloro Residual Libre y fue ejecutado por Cornare, el segundo se presentó en agosto con una concentración de 3,9 mg/L de Cloro residual libre y este fue ejecutado por la Secretaría de Salud.

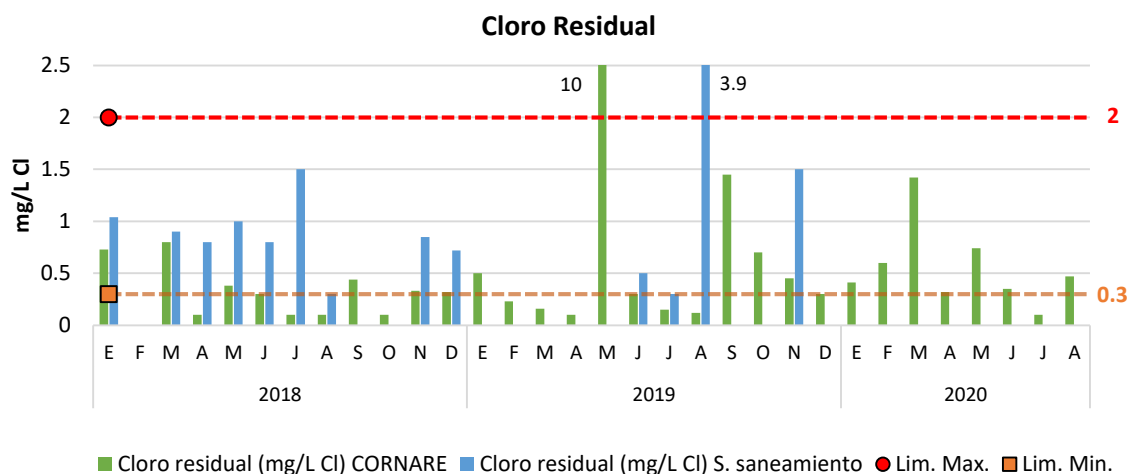


Gráfico 15. Resultados de Cloro Residual en PTAP San Isidro.

5.2.3.5 Coliformes Totales.

Los Coliformes totales son bacterias gram negativas aerobias y anaerobias facultativas se encuentran en forma de bastón y fermentan la lactosa en 48 horas a 35°C. Los Coliformes Totales se hallan en suelos y en vegetales en descomposición, aguas ricas en nutrientes y heces fecales.

La **Resolución 2115 de 2007** establece un límite máximo aceptable de Coliformes Totales en aguas destinadas para consumo humano de 0UFC/100 ml.

En el lapso de tiempo de estudio la autoridad ambiental Cornare ejecutó 30 análisis con un cumplimiento normativo del 100% acorde a la resolución (0 UFC/ml. De Coliformes Totales), por su parte la Secretaría de Salud ejecutó 14 análisis, de estos solo uno presentó incumplimiento normativo con una concentración de 4,0 UFC/100 ml de Coliformes totales caracterizado en el mes de julio de 2019, los demás registros como se menciona se encuentran dentro de lo establecido por norma.

5.2.3.6 Escherichia Coli.

La E. Coli pertenece a la familia de las enterobacteriaceas, se desarrollan a 45 °C y también fermentan la lactosa. Se encuentran principalmente en la materia fecal, en las aguas residuales y en suelos que han sufrido contaminación reciente por animales de sangre caliente. Tanto los Coliformes Totales como la E Coli traen consecuencia a la salud humana, provocando gastroenteritis, diarreas, vómitos y deshidratación.

La **Resolución 2115 de 2007** establece un límite máximo aceptable de Escherichia Coli en aguas destinadas para consumo humano de 0UFC/100 ml.

La autoridad ambiental Cornare ejecutó 30 análisis de agua para Escherichia Coli y por su parte la Secretaría de Salud registra 14 estudios para el mismo parámetro, para todos

los análisis ejecuto dados por ambas entidades se registran resultados dentro de los límites establecidos por la normatividad, por lo que se da cumplimiento a la misma.

5.2.4 Muestreo acueducto San Isidro

Se seleccionaron cuatro (4) puntos de monitoreo que abarcara la zona de influencia del acueducto con el objetivo fue poder determinar la fluctuación o cambios de las variables de interés con el fin de identificar las áreas con dificultades y las cuales se deben analizar su funcionamiento en detalle, obteniendo propuesta de mejora que permitan uniformidad en los resultados.

Se realizó en análisis de los parámetros pH, turbiedad y color aparente en cuatro puntos integrados en el sistema de potabilización; Red de distribución (caseta comunal), tanque la Porra, bocatoma y tanque PTAP), acorde a la **Gráfico 16**, en relación al pH no hay variaciones considerables tanto en temporalidad como en ubicación del sitio de muestra, con referencia a la turbiedad entre julio y septiembre solo hay variaciones considerables en los puntos definidos como Red de distribución y Bocatoma en los cuales aumentó la turbiedad, por su parte el color no se pudo analizar en el mes de julio debido a que no se contó con el equipo apropiado para ejecutar la medición de este, con relación al mes de septiembre se registraron altos valores de color aparente tanto en Tanque la Porra como en Tanque PTAP.

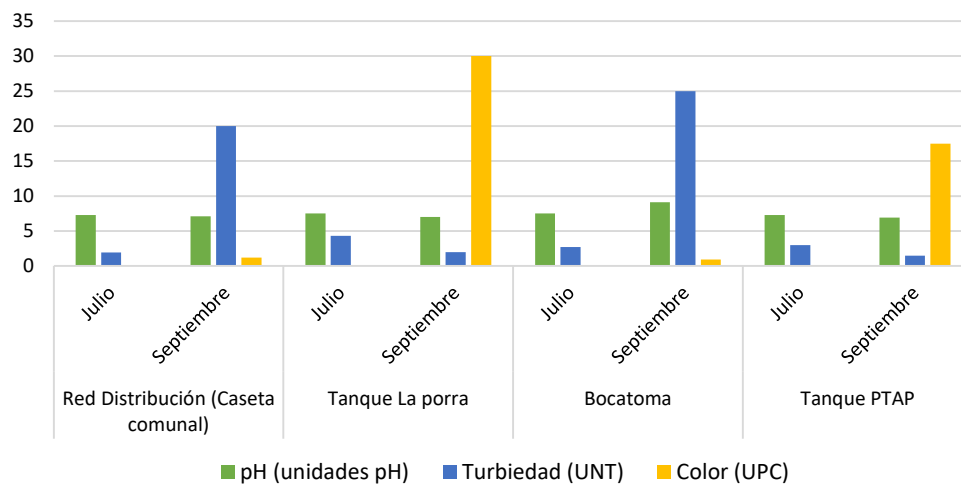


Gráfico 16. Análisis de parámetros en PTAP San Isidro.

5.3 Manual de operación y mantenimiento acueducto San Isidro

La elaboración de un documento escrito donde se describan las actividades cotidianas y no cotidianas llevadas a cabo en el sistema de acueducto desde su captación hasta su almacenamiento permite la estandarización de los procesos y al mejoramiento continuo del mismo; el manual de operación y mantenimiento del acueducto San Isidro es el primer acercamiento a la realidad operacional y de mantenimiento que se experimenta en la actualidad, por lo que, debe ser una construcción diaria y su actualización debe estar acorde a los cambios y mejoras que se hagan en el proceso. (ver documento anexo).

5.4 Circulación de conocimiento

Los resultados obtenidos del trabajo adelantado en el acueducto veredal San Isidro, son un insumo importante para la toma de decisiones de ellos y permite incluir en su planeación anual las actividades encaminadas a fortalecer las debilidades o aspectos a mejorar que se encontraron; el siguiente registro fotográfico son la evidencia de la socialización del presente trabajo con algunos integrantes de la junta administradora.



Foto 3. Socialización con operarios



Foto 4. Socialización con operarios y administradores

6 CONCLUSIONES.

- De los 33 acueductos analizados 16 de ellos son plantas estructuradas de manera compacta y 13 son modulares, en promedio las plantas contemplan un caudal de 12 L/s, contemplando plantas con caudales de hasta 70 L/s y cuya cobertura abarca más de mil suscriptores. En relación al Índice de Calidad del Agua para Consumo Humano IRCA, para el año 2018 dos de las plantas de tratamiento de estudio presentaron un índice de calidad sin riesgo y las 31 plantas restantes registran algún grado de riesgo con incluso una PTAP con una clasificación acorde al IRCA de alto riesgo. Cabe aclarar que los parámetros bajo los cuales se calcula el índice de calidad están influenciados por el régimen de lluvias aumentando el nivel de riesgo de los cuerpos de agua durante la época de lluvia. Parámetros como el color aparente y la turbiedad en un cuerpo de agua son muy susceptibles a cambios abruptos en el nivel de agua ya que la escorrentía como consecuencia de las precipitaciones, direccionan a los cuerpos de agua los sedimentos y partículas barridas al pasar sobre la superficie, de igual manera el aumento del nivel de agua implica el aumento del caudal de los ríos y canales, el aumento de la velocidad genera

el levantamiento de las partículas en el lecho ya sedimentadas, así durante la época de lluvias los dos parámetros susceptible (Turbiedad y Color aparente) los cuales componen el 21% de la ponderación en el cálculo del IRCA se podría ver considerablemente afectados y por ende influenciar en el nivel de riesgo. Este escenario se evidencia en el comportamiento IRCA medio de los 33 acueductos y con mayor detalle en el IRCA medio específicamente para el acueducto de San Isidro el cual solo registra aumento del IRCA para las temporadas de lluvia en el periodo de análisis.

- La adición del coagulante se realiza de manera estándar, sin considerar las características físicas del agua cruda que entra a la planta, se recomienda realizar ensayos de jarras que permitan determinar las concentraciones del sulfato de aluminio tipo A, pues estas varían de acuerdo a las épocas de lluvia y sequía en las que se encuentren, otra variable, que puede alterar las características normales del agua cruda son las actividades realizadas aguas arriba de la captación, como movimientos importantes de masa, descargas de aguas residuales entre otras. El no considerar la variabilidad de la concentración de coagulante puede llevar a obtener valores altos en los ensayos de turbiedad y color, que como se evidenció para el 2020 en comparación con los dos años anteriores los valores mejoraron permitiendo el cumplimiento exigido por la norma, sin embargo, los valores reportados pueden mejorar siendo inferiores ya que el margen de cumplimiento aún se encuentra sobre el límite superior y fácilmente puede igualar o sobrepasar los valores admisibles.
- La dosificación del desinfectante hipoclorito de calcio en forma granular no responde a las necesidades de tratamiento, ya que su concentración y dosis son fijas, sin tener en cuenta la fluctuación del caudal de tratamiento y los tiempos de residencia del agua en las diferentes unidades de almacenamiento; en términos generales la planta cumple con los rangos establecidos en la resolución, sin embargo, el lugar donde se realiza el muestreo es muy cercano a la planta de tratamiento y las concentraciones generalmente se encuentran cercanos al límite inferior (0,3 mg/L Cl₂) ya que el promedio de este fue de 0,7 mg/L Cl₂ del total de una muestra de 32 meses, y no abarca la población atendida por el tanque de almacenamiento de La Porra el cual se encuentra más distante al acueducto, por lo que se sugiere, seleccionar varios puntos de muestreos distribuidos uniformemente abarcando usuarios cercanos, intermedios y lejanos que aseguren la presencia de cloro residual, una vez se determine la presencia o no del desinfectante se propone realizar una curva de demanda de cloro y evaluar si se requiere un lugar adicional para la desinfección.
- Entre autoridad ambiental Cornare y la Secretaría de Salud se ejecutaron 264 análisis de muestra de calidad de agua para los parámetros pH, turbiedad, color aparente, cloro residual libre, Coliformes Totales y Escherichia Coli. De los análisis ejecutados para *pH* todos resultados se encuentran dentro del cumplimiento normativo, para *turbiedad* el 34% de las muestras ejecutadas arrojaron resultados con incumplimiento con la mayoría de estas analizadas en época de lluvia, las condiciones meteorológicas también influyen en el *color aparente* cuyo comportamiento es análogo con un incumplimiento del 39% de las muestras analizadas con la mayoría de estas analizadas en temporalidad con altas

precipitaciones, por su parte el *Cloro residual* arroja un incumplimiento en el 27% de las muestras analizadas, en su mayoría con concentraciones inferiores al límite inferior (0,3mg/L Cl). El análisis de las concentraciones de Cloro no ejecutadas in situ pueden presentar un sesgo en relación a la concentración definida, resultado del análisis debido al tiempo de desplazamiento que estas muestras requiere previo a su análisis, dando como resultado una reducción en la concentración real de cloro presente. En relación a las condiciones microbiológicas, para Coliformes totales en julio de 2019 se presenta en único incumplimiento normativo y para E. Coli los resultados definen un cumplimiento general.

- El análisis ejecutado en la planta para pH, turbiedad y color aparente establece un aumento considerable de turbiedad entre julio y septiembre de 2020 tanto en la Red de Distribución como en la Bocatoma, este comportamiento está relacionado con el aumento en las precipitaciones, con referencia al Color Aparente sin la disponibilidad de datos para el mes de julio, en septiembre ambos tanques presentan altos índices en este parámetro por lo que la frecuencia en el mantenimiento de estos o la misma red de conducción hacia los tanques podría estar aportando coloración al flujo.

7 Referencias

- Abel Mejía, O. C. (2016). Agua Potable y Saneamiento en la nueva ruralidad de America Latina. Agua para el desarrollo. Bogotá: CAF. Retrieved from <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/918>.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2018). *Proceso Regional de las Américas Foro Mundial del Agua*. Obtenido de https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/informe_regional_america_latina_y_caribe.pdf
- Botero, B. H. (2017). Los Acueductos Veredales de las Comunidades Organizadas en el área rural del municipio de El Peñol, Antioquia: un análisis a partir del Régimen de Servicios Públicos Domiciliarios en Colombia. *Universidad San Buenaventura*, 31.
- Cadavid Giraldo, N. (2009). ACUEDUCTOS COMUNITARIOS: PATRIMONIO SOCIAL Y AMBIENTAL DEL VALLE DE ABURRÀ. *Avances en Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia*, 2-4.
- CAPITAL. (24 de 07 de 2015). Obtenido de <https://capital.pe/mundo/cuales-son-los-paises-con-las-mayores-reservas-de-agua-dulce-enterate-aqui-noticia-820368>
- Castañeda, R. G. (2016). Acceso equitativo a servicios de agua potable y alcantarillado: una oportunidad para el activismo judicial y social a nivel local. *REVISTA DE DERECHO*, 6-8.
- Cohen, B. (2004). Urban Growth in Developing Countries: A Review of Current Trends and a Caution Regarding Existing Forecasts. *ScienceDirect*, 32, 7-8. Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305750X03001967?via%3DiHub>

- Comisión Nacional del Agua. (2011). *Estadísticas del Agua en México*. Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-1-11-EAM2011.PDF>
- Cruz, C. P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingeniería Universidad de Medellín*, Vol. 8, 74-94.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. (2018). *Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/infografias/info-CNPC-2018total-nal-colombia.pdf>
- Departamento Nacional de estadística. (2018). *DANE*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censos-agropecuarios-en-colombia>
- Departamento Nacional de Planeación. (3 de Julio de 2014). *Ministerio de Vivienda y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/conpesagua/3810%20-%202014.pdf>
- Domínguez Calle, E. H. (2008). Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escases de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico Colombiano. *REV. ACAD. COLOMB. CIENCI.: VOLUMEN XXXII*, 196-212.
- Global Water Partnership & Naciones Unidas. (2000). *Agua para el Siglo XXI para América del Sur*. Obtenido de <https://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/5/23345/InCo00200.pdf>
- Gobernación de Antioquia. (2018). Obtenido de <https://www.dssa.gov.co/index.php/programas-y-proyectos/factores-de-riesgo/item/146-vigilancia-agua>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2017). Tecnologías de la información para la consolidación. *Análisis Geográficos*, 8-10.
- Instituto Nacional de Salud & SIVICAP. (2014). *Enfermedades Vehiculizadas por el Agua EVA e Índice de Riesgo de Calidad - IRCA*. Obtenido de <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacion%20SIVICAP/2015%20Enfermedades%20Vehiculizadas%20por%20Agua%202014.pdf>
- Lara Diaz, D. M. (30 de 05 de 2013). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de **CONFLICTOS EN TORNO AL USO DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y AFECTACIONES DE LAS FUENTES HÍDRICAS EN COMUNIDADES**

RURALES-Alternativas de manejo del agua para consumo humano en la Vereda Los Soches, Localidad de Usme – Bogotá D.C.:
http://www.idea.unal.edu.co/publica/docs/los_soches/Acueductos_Comunitarios_Los-Soches.pdf

- Lerch, M. (2017). International migration and city growth. *División de Población*, 15-17.
- Marín Bedoya, M. L., & Villada Villada, L. M. (2008). Evaluación de la gestión del servicio de los sistemas de acueductos rurales en la Cuenca del Río La Vieja. *Universidad Tecnológica de Pereira*, 18-22.
- MAVDS & IDEAM. (2005). *El IDEAM y la Gestión Integral del Recurso Hídrico*.
Obtenido de
http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/237324/Nelson+Vargas_IDEAM.pdf
- MINAMBIENTE & IDEAM. (2018). *Reporte de Avance del Estudio Nacional del Agua*.
Obtenido de http://www.andi.com.co/Uploads/Cartilla_ENA_%202018.pdf
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2010). Obtenido de
https://www.minambiente.gov.co/.../libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf
- Miranda, J. P. (2016). Enfermedades transmitidas por el agua y. *Revista Salud Pública*, 738-740.
- Naciones Unidas. (14 de 12 de 2019). Obtenido de
<https://www.un.org/development/desa/es/about/conferences.html>
- Organización Mundial de la Salud & Banco Mundial. (2004). *Relación del agua, el saneamiento y la higiene con la salud*. Obtenido de
https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/facts2004/es/
- Organización de las Naciones Unidas. (25 de 09 de 2015). *Transformar nuestro mundo: La agenda 2030 para el Desarrollo*. Obtenido de <https://undocs.org/es/A/RES/70/1>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*. Obtenido de
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Organización de las Naciones Unidas. (2019). *Población en crecimiento*. Obtenido de
<https://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html#:~:text=Se%20alcanzaron%20los%205.000%20millones,en%201999%2C%20los%206.000%20millones.&text=Se%20espera%20que%20la%20poblaci%C3%B3n,de%2011.000%20millones%20para%202100.>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. (2015). *Perfil de País - Colombia*. Obtenido de
<http://www.fao.org/3/ca0572es/CA0572ES.pdf>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2010). *El estado de los Recursos de Tierras y Aguas del Mundo Para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i1688s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). *El futuro de la alimentación y la agricultura - Tendencias y desafíos*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i6881s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura. (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019*. Obtenido de <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Informe Sobre la Salud en el Mundo*. Obtenido de https://www.who.int/whr/2006/whr06_es.pdf?ua=1
- Organización Mundial de la Salud. (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. Obtenido de <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Saneamiento*. Obtenido de <https://www.who.int/topics/sanitation/es/>
- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Colaboremos por la Salud*. Obtenido de https://www.who.int/whr/2006/whr06_es.pdf?ua=1
- Oxfaminternom. (2017). Obtenido de <https://blog.oxfamintermon.org/enfermedades-transmitidas-por-el-agua-contaminada/>
- PNUMA & OMS. (2010). *Agua*. Obtenido de <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2015). *Objetivo 6: Agua Limpia y Saneamiento*. Obtenido de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>
- Republica de Colombia. (15 de 03 de 2018). *Estrategia para la implementación de los ODS en Colombia*. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3918.pdf>
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2018). *Superservicios*. Obtenido de Informe sectorial de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado: https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Ene/informe_sectorial_aa_2018-20-12-2019.pdf
- UNESCO. (2012). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos*. Obtenido de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261494>

- UN-Water. (2010). *Global Annual Assessment of Sanitation and Drinking Water*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diarrhoeal-disease>
- Viceministerio de Ambiente . (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico* . Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Pre%20sentaci%C3%B3n_Pol%C3%ADtica_Nacional_-_Gesti%C3%B3n_libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf
- Water Governance Facility. (2012). *Responsabilidad de la gobernanza y aprendizaje para la sostenibilidad del agua*. Obtenido de <https://www.watergovernance.org/>
- WHO & UNICEF. (2014). *Informe Anual*. Obtenido de https://www.unicef.org/spanish/publications/files/UNICEF_Annual_Report_2014_Spanish.pdf
- WWAP. (2009). *Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos*. Obtenido de <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/wwdr3-2009/>

8 ANEXOS.

8.1 Manual de operación y mantenimiento de la PTAP San Isidro

PRESENTACIÓN DEL MANUAL

El manual de operación y mantenimiento del acueducto San Isidro es una aproximación a la operación rutinaria que desempeñan los fontaneros y auxiliares de operación de la planta estableciendo actividades rutinarias, actividades programadas para llevar a cabo limpieza y mantenimiento preventivo de los componentes del sistema con el fin de minimizar eventos no deseados que afecten la operación y continuidad en la prestación del servicio.

OBJETIVO

Establecer lineamientos generales para la operación y mantenimiento de las plantas compactas del acueducto San Isidro.

ALCANCE

Este manual es aplicable a todos los componentes del sistema de abastecimiento del acueducto San Isidro.

RESPONSABLES

Es responsabilidad del auxiliar de operación o fontanero el cumplimiento de los lineamientos del presente documento, bajo la inspección de su superior.

TÉRMINOS Y DEFINICIONES

- **Agua Potable:** Agua que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos es apta y aceptable con las normas de calidad de agua.
- **Caudal:** Cantidad de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo.
- **Desarenador:** Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación.
- **Mantenimiento correctivo:** Mantenimiento que se hace en algún componente del sistema de acueducto como reacción a una falla o daño.
- **Mantenimiento preventivo:** Mantenimiento que se hace en algún componente del sistema de acueducto a partir de un programa previo, para evitar que el sistema presente una falla o daño.
- **Sedimentación:** Proceso mediante el cual los sólidos suspendidos en el agua decantan por gravedad.
- **Sistema de acueducto:** Conjunto de elementos y estructuras cuya función es el transporte, almacenamiento y entrega al usuario final, de agua potable con unos requerimientos mínimos de calidad, cantidad y presión.
- **Tanque de almacenamiento:** Depósito de agua en un sistema de acueducto, cuya función es suplir las necesidades de demanda en los momentos picos, permitiendo una recuperación del volumen en las horas de bajo consumo para poder suministrar sin problemas las máximas demandas.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Estandarizar los procesos de operación y mantenimiento en el sistema de acueducto permite minimizar los eventos no deseados en la prestación del servicio, lo anterior, ayuda en la reducción de costos por daños o averías de algún componente del sistema y permite asegurar la continuidad del servicio a los usuarios; a continuación, se plantean las actividades que deben llevarse a cabo tanto en la operación como en el mantenimiento.

CAPTACIÓN

El acueducto toma el agua de la fuente superficial “Birimbí”, se tienen dos captaciones consolidadas sobre esta misma fuente, una captación aguas arriba con respecto la otra, así el ingreso de agua cruda se realiza a través de estas; el agua una vez captada llega a los desarenadores y luego se transporta hasta la planta.



Foto 5 Bocatoma 1

tomada de:

<http://www.acueductosanisidroguarne.com/galeria/>



Foto 6. Bocatoma 2.

tomada de

<http://www.acueductosanisidroguarne.com/galeria/>

Inspección preliminar

- En época seca subir hasta la bocatoma al menos tres (3) veces en la semana.
- En época de lluvia subir hasta la bocatoma diariamente.
- Examinar el estado de la captación: deterioro o averías en la estructura, colmatación de las rejillas por hojas o arenas.
- Realizar inspección visual de: la lámina de agua (aumento o disminución), coloración del agua, descargas de aguas residuales.
- Identificar derivaciones en la red de aducción no autorizadas por el acueducto.

Actividades de mantenimiento

- Retirar de la rejilla de la bocatoma cualquier material solido que este obstruyendo el paso del agua cruda por esta.
- Realizar actividades de limpieza a los desarenadores.
- Identificar daños en la tubería de conducción y repararlas en el menor tiempo posible, evitando contaminación cruzada del agua, colmatación del terreno, disminución del caudal de entrada a la planta, entre otros.
- Desconectar derivaciones no autorizadas identificadas.

COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN

Una vez el agua es conducida a la planta de tratamiento se adiciona un coagulante: Sulfato de Aluminio líquido tipo A, con el objetivo de retirar del agua el material disuelto en el agua causantes de aportar color y turbiedad al agua.

Inspección preliminar

- Verificar la disponibilidad de coagulante preparado.
- Aforar la bomba para garantizar el caudal de dosificación adecuado.
- Garantizar el almacenamiento adecuado evitando contaminar el producto perdiendo efectividad.

Operación

- Aforar la bomba dosificadora garantizando el caudal de polímero de acuerdo con el caudal de agua cruda de la planta.
- Verificar en la tubería de dosificación que efectivamente el producto este siendo aplicado al agua.
- Determinar la pertinencia o no de dosificar continuamente o de manera intermitente.

Dosis optima (proyectado)

De acuerdo con las características fisicoquímicas del agua cruda de debe determina la concentración o “cantidad” de coagulante, que debe de aplicarse, para la determinación de la dosis óptima de coagulante se requiere que el acueducto cuente con los siguientes equipos:

- Test de jarras.
- pH metro.
- Turbidímetro.

PLANTA COMPACTA

Inspección preliminar

- Verificar que no existan fugas del agua en las tuberías de entrada a la planta.
- Garantizar que los productos químicos necesarios para llevar a cabo el proceso de potabilización se estén dosificando si ningún tipo de fugas o infiltraciones.
- Revisar posición adecuada de los juegos de válvulas de cada una de las plantas.
- Identificar deformaciones o fugas en la estructura de la planta.

Operación

- **Planta $Q=2,5$ L/s**
 - Garantizar que la llave de bola principal de entrada de agua a la planta esté semiabierta, con el objetivo de controlar el caudal de entrada.
 - Abrir válvula intermedia entre la llave principal y la que da ingreso a los compartimientos de la planta.
 - Abrir las válvulas de ingreso a cada uno de las cuatro (4) divisiones de ingreso de la planta.
 - Verificar que las llaves de drenaje para lavado de la planta estén cerradas

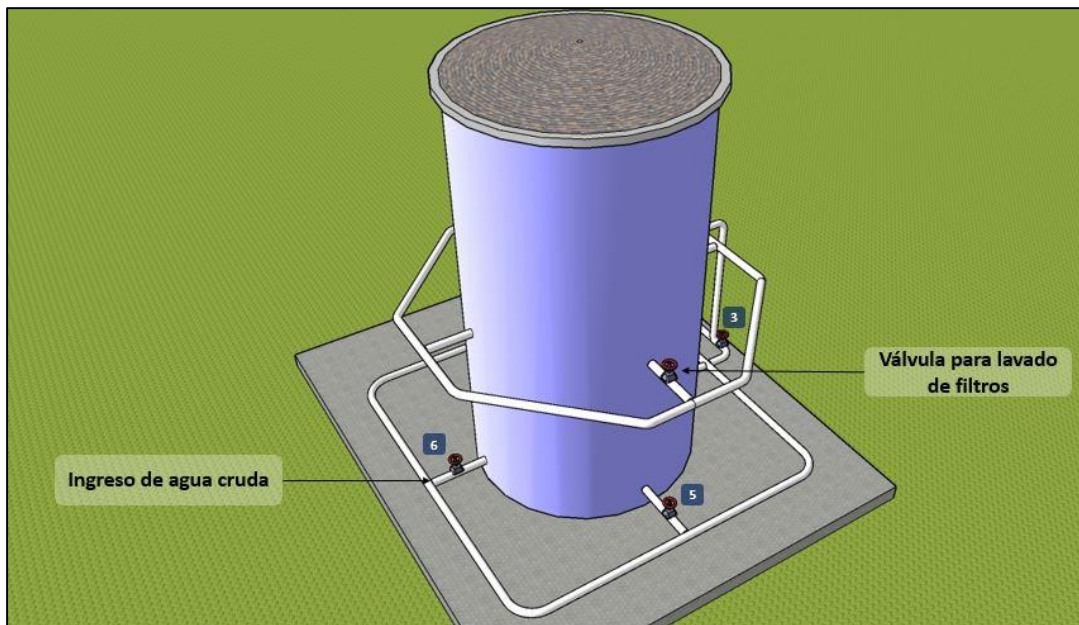


Ilustración 11 Esquema posterior $Q= 2.21$ L/s

- **Planta $Q=0,5$ L/s**
 - Garantizar que la válvula de entrada principal a la planta esté abierta.
 - Abrir las dos llaves de ingreso a la planta.
 - Verificar que las dos llaves traseras utilizadas para vaciar la planta estén cerradas.

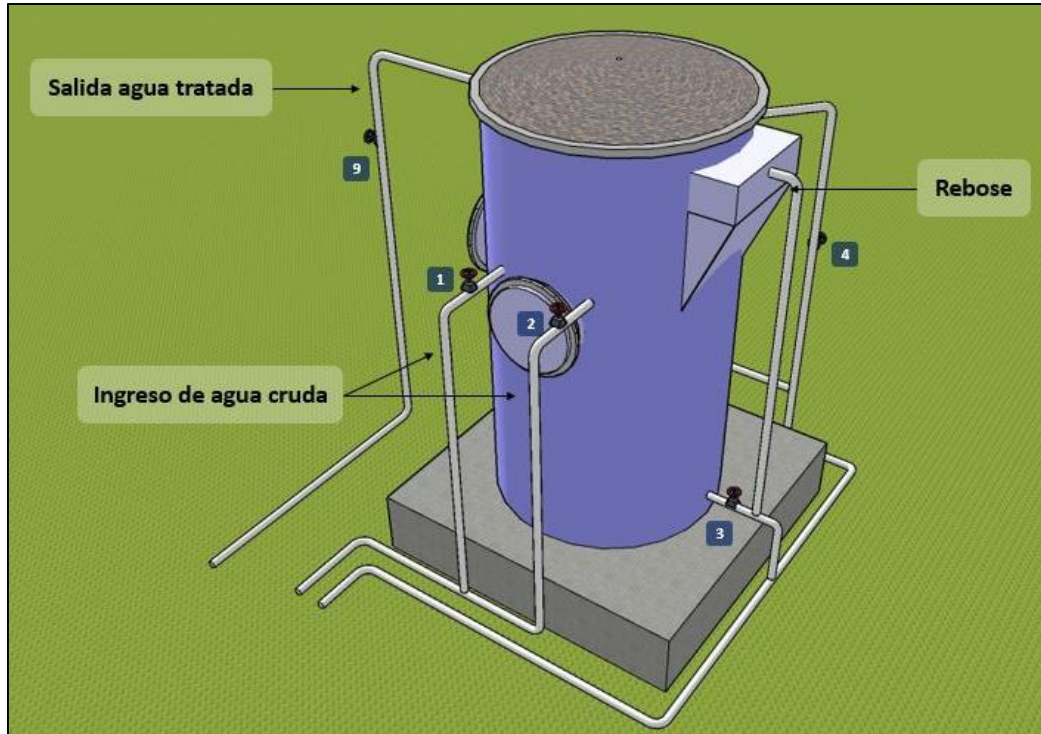


Ilustración 12. Esquema frontal Planta Q=0,5 L/s

Lavado

- **Planta Q=2,5 L/s**
 - Abrir válvula intermedia entre la llave principal y la de ingreso de los cuatro (4) compartimientos.
 - Abrir las válvulas de ingreso a cada uno de las cuatro (4) divisiones de ingreso de la planta.
 - Abrir las dos (2) llaves de salida de agua de lavado.
 - Cerrar la llave que conduce el agua a los tanques de almacenamiento.

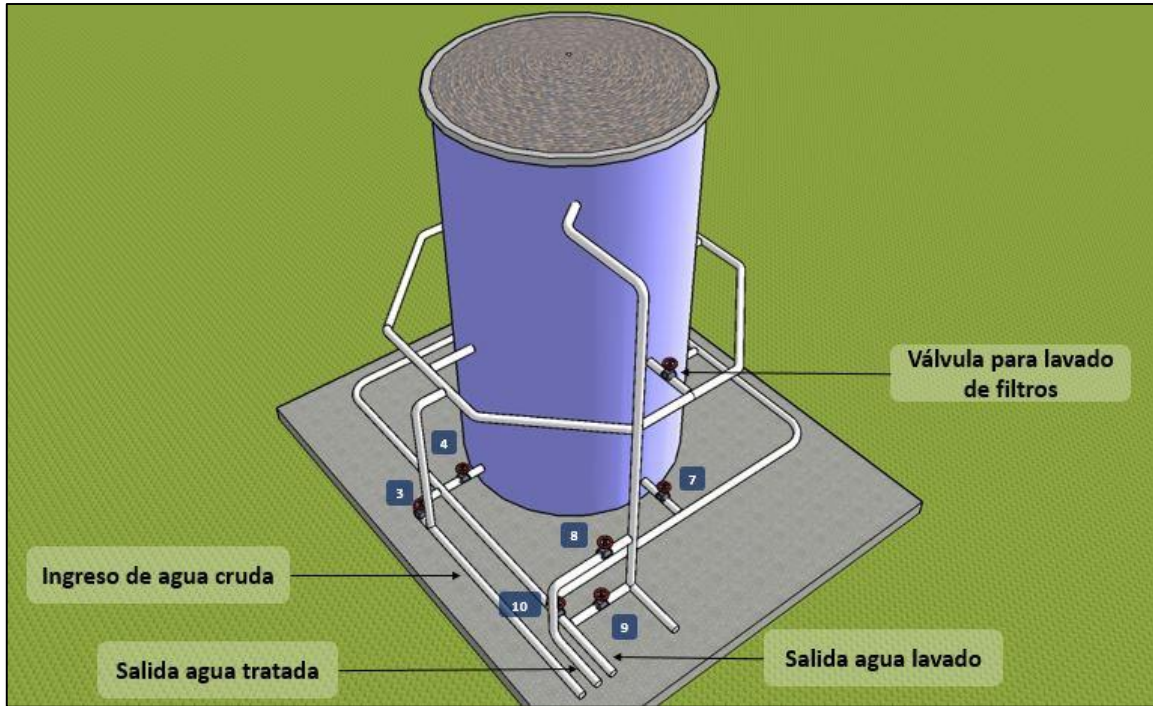


Ilustración 13 Esquema frontal Q=2.21 L/s

- **Planta Q= 0,5 L/s**
 - Abrir las dos (2) válvulas de ingreso de agua cruda a la planta.
 - Abrir las 4 válvulas que se encuentran ubicadas en la parte inferior de la estructura.
 - Cerrar la llave que conduce el agua a los tanques de almacenamiento.

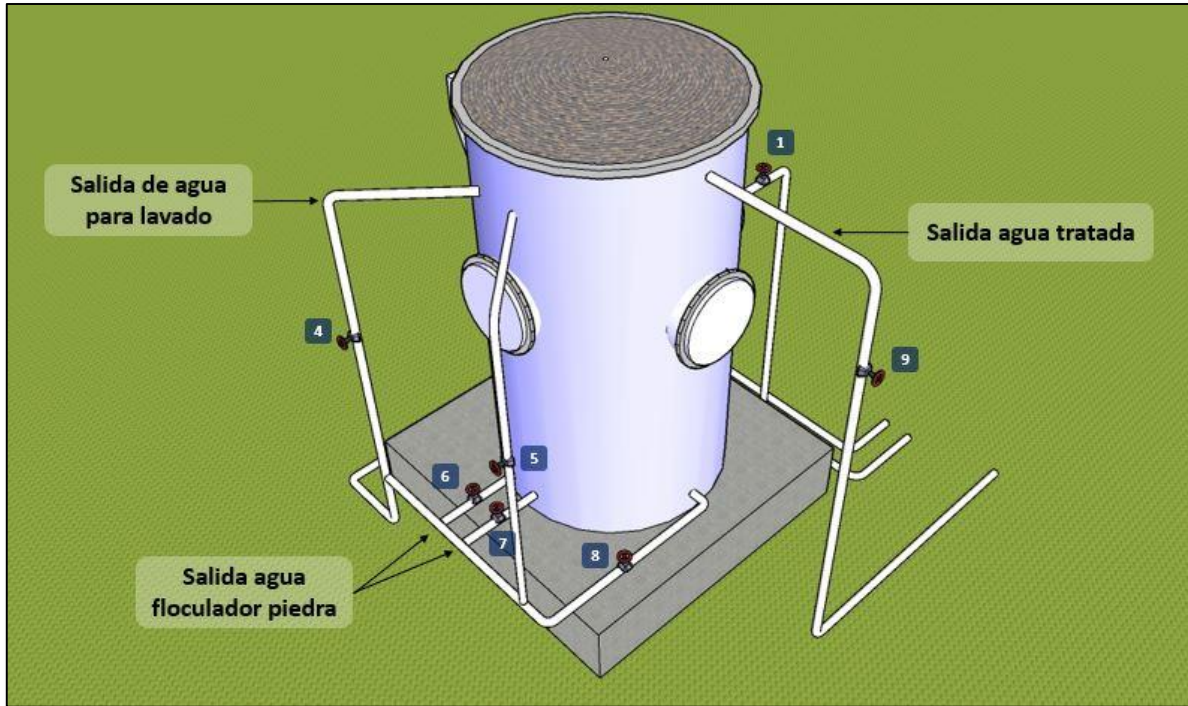


Ilustración 14. Esquema posterior planta $Q=0,5$ L/s

DESINFECCIÓN

Una vez el agua pasa por los procesos convencionales de tratamiento debe someterse a la adición de hipoclorito de calcio que actúa como desinfectante, el cual garantiza la destrucción de agentes patógenos como bacterias que puedan estar presentes en el agua.

Inspección preliminar

- Verificar la disponibilidad de desinfectante preparado.
- Aforar la bomba para garantizar el caudal de dosificación adecuado.
- Garantizar el almacenamiento adecuado evitando contaminar el producto perdiendo efectividad.

Operación

- Aforar la bomba dosificadora asegurando la concentración del desinfectante.
- Verificar en la tubería de dosificación que efectivamente el producto este siendo aplicado al agua.
- Determinar la presencia de cloro residual en las diferentes unidades de almacenamiento.

TANQUES DE ALMACENAMIENTO

El acueducto cuenta con cuatro (4) tanques de almacenamiento dos (2) de ellos son en fibra de vidrio y dos (2) en concreto.

Inspección preliminar

- Examinar daños, infiltraciones o deformidades de los tanques de almacenamiento que puedan ocasionar pérdida del agua tratada o contaminación de esta.
- Verificar el estado de los medidores de agua en la salida de los tanques.

Actividades de mantenimiento

- Asear los alrededores del tanque de almacenamiento, cortando el césped, recolectando residuos, entre otros.
- Verificar las condiciones físicas de la estructura, fugas, malformaciones, grietas entre otras y programar reparaciones.
- Lavar el interior del tanque eliminado posible formación de algas, acumulación de sedimentos entre otros; la limpieza no debe emplearse ningún tipo de detergente.

Tabla 8 Actividades de los diferentes componentes de la PTAP.

Unidad	Actividad de operación	Periodicidad	Actividad de Mantenimiento	Periodicidad	Responsable
Bocatoma	Inspeccionar las dos bocatomas, las rejillas y la fuente de abastecimiento garantizando condiciones normales que no afecten la operación.	Diaria	Limpieza de rejillas, recolección de residuos sólidos cerca de la fuente de abastecimiento	2 veces al mes	Auxiliar de operación
Desarenador	Inspección visual del exterior y del interior identificando anomalías.	Diaria	Limpieza de la estructura	1 vez al mes	Auxiliar de operación
Tubería de aducción	Identificación de avería, fugas en la línea y conexiones no autorizadas	Diaria	Reparación de averías y fugas. Desconexión de la línea de usuarios no autorizados	Cada que se requiera	Auxiliar de operación
Plantas compactas	Limpieza externa de la estructura Verificación de la posición adecuada de las válvulas (cerrada perpendicular a la tubería y abierto paralelo a la tubería).	Diaria	Limpieza y lavado de la planta.	2 veces por semana época de lluvia 1 vez por semana época seca	Auxiliar de operación
	Inspección visual de la estructura detectando fugas o deterioro.	Diaria			Auxiliar de operación
Tanques de Almacenamiento	Inspección visual de la estructura	Diaria	Limpieza y lavado de la estructura	1 vez al mes	Auxiliar de operación
	Limpieza externa del tanque	Diaria			
	Revisión de las compuertas de ingreso al tanque deben estar cerradas y aseguradas	Diaria			