

REVISIÓN

Optimization of the drinking water treatment system in Bochalema: a technical and operational proposal

Optimización del sistema de tratamiento de agua potable en Bochalema: una propuesta técnica y operativa

Sara Esther Sanchez Carrillo¹, Ana María Rosso Cerón¹

¹Universidad De Pamplona, Facultad De Ingenierías y Arquitectura, Departamento De Ingeniería Ambiental, Civil y Química. Pamplona, Colombia.

Citar como: Sanchez Carrillo SE, Rosso Cerón AM. Optimization of the drinking water treatment system in Bochalema: a technical and operational proposal. eVidroKhem. 2024; 3:38. <https://doi.org/10.56294/evk202238>

Enviado: 19-09-2023

Revisado: 08-01-2024

Aceptado: 18-07-2024

Publicado: 19-07-2024

Editor: Prof. Dr. Javier Gonzalez-Argote 

ABSTRACT

Introduction: this study addressed the development of an operation and maintenance manual for the El Topacio Drinking Water Treatment Plant in the municipality of Bochalema, Norte de Santander. The importance of drinking water as a fundamental right was recognized, and it was noted that the plant faced technical and operational problems that compromised the quality of the water supplied.

Development: to develop the manual, we began with a review of the Technical Regulations for the Drinking Water and Basic Sanitation Sector (RAS) and similar studies conducted in other municipalities in the country. Key concepts such as raw water, residual chlorine, preventive maintenance, and water quality were integrated. In addition, relevant background information was analyzed, showing successful experiences in improving treatment plants through technical diagnostics and maintenance strategies. The geographical, demographic, and environmental situation of the municipality was studied, identifying key aspects such as the main water resource (the Aguablanca stream) and the sources of pollution present in the area.

Conclusions: the manual proved to be a technical and training tool for improving plant efficiency, standardizing procedures, and strengthening decision-making. It was adapted to the specific conditions of the territory and proposed as a basis for training operational personnel. Its correct implementation would guarantee service continuity, preserve infrastructure, and ensure sustainable access to drinking water for the population of Bochalema.

Keywords: Drinking Water; Operation; Maintenance; Aqueduct; Treatment.

RESUMEN

Introducción: el presente estudio abordó la elaboración de un manual de operación y mantenimiento para la Planta de Tratamiento de Agua Potable “El Topacio” del municipio de Bochalema, Norte de Santander. Se reconoció la importancia del agua potable como derecho fundamental y se señaló que la planta enfrentaba problemas técnicos y operativos que comprometían la calidad del agua suministrada.

Desarrollo: para desarrollar el manual, se partió de una revisión bibliográfica del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y de estudios similares realizados en otros municipios del país. Se integraron conceptos clave como agua cruda, cloro residual, mantenimiento preventivo y calidad del agua. Además, se analizaron antecedentes relevantes que mostraron experiencias exitosas en la mejora de plantas de tratamiento mediante diagnósticos técnicos y estrategias de mantenimiento. Se estudió la situación geográfica, demográfica y ambiental del municipio, identificando aspectos clave como el recurso hídrico principal (la quebrada Aguablanca) y las fuentes de contaminación presentes en la zona.

Conclusiones: el manual resultó ser una herramienta técnica y formativa para mejorar la eficiencia de la planta, estandarizar procedimientos y fortalecer la toma de decisiones. Se adaptó a las condiciones

específicas del territorio y se propuso como base para la capacitación del personal operativo. Su correcta implementación permitiría garantizar la continuidad del servicio, preservar la infraestructura y asegurar el acceso sostenible al agua potable para la población de Bochalema.

Palabras clave: Agua Potable; Operación; Mantenimiento; Acueducto; Tratamiento.

INTRODUCCIÓN

El acceso al agua potable es un derecho fundamental que garantiza condiciones mínimas de salubridad, bienestar y desarrollo para las comunidades. En este contexto, la adecuada operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de agua juegan un papel clave para asegurar la calidad del recurso hídrico destinado al consumo humano. En Colombia, la normatividad en materia de agua potable está definida por el Decreto 1575 de 2007 y la Resolución 2115 del mismo año, los cuales establecen los parámetros de calidad, los sistemas de vigilancia y los requisitos para los prestadores del servicio. Estas disposiciones buscan minimizar los riesgos sanitarios asociados al consumo de agua contaminada, promoviendo la implementación de procesos de tratamiento eficientes y sostenibles.

El municipio de Bochalema, ubicado en el departamento de Norte de Santander, cuenta con una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de tipo convencional denominada “El Topacio”. Esta instalación es responsable de captar, tratar y distribuir el recurso hídrico a aproximadamente 4 000 habitantes del casco urbano. No obstante, al igual que en muchos municipios del país, la planta enfrenta desafíos relacionados con el mantenimiento de equipos, la capacitación del personal operativo, la disponibilidad de insumos y la gestión técnica del sistema. Estos factores pueden afectar la calidad del agua suministrada y comprometer el cumplimiento de los estándares establecidos por la legislación nacional.

Ante este panorama, la elaboración de un manual de operación y mantenimiento se presenta como una herramienta esencial para optimizar el funcionamiento de la PTAP. Este documento tiene como objetivo proporcionar lineamientos claros y estandarizados sobre los procedimientos técnicos, el manejo de infraestructura y los protocolos de control de calidad del agua. Asimismo, busca fortalecer las competencias del personal encargado, facilitar la toma de decisiones y garantizar la sostenibilidad del sistema en el tiempo.

El presente trabajo se fundamenta en una revisión documental del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), así como de otros manuales y estudios aplicados en contextos similares, como los desarrollados en los municipios de Toledo, San Francisco de Sales y Río de Oro. A partir de estos referentes y de las condiciones específicas del municipio de Bochalema, se construyó un manual adaptado a las características físicas, sociales y operativas del territorio. Este documento pretende contribuir a mejorar la gestión del recurso hídrico local, promoviendo un servicio de acueducto seguro, eficiente y ajustado a la normativa vigente.

DESARROLLO

Marco conceptual

Para interpretar y aplicar este Manual se tendrán en consideraciones las siguientes definiciones que fueron tomadas del reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico -RAS-título B y C, además de otros documentos que se referencian en el transcurso del trabajo.

- Agua Cruda: así se denomina el agua que no ha sido sometida a ningún proceso de tratamiento.
- Agua Potable: es el agua adecuada para el consumo, por su características físicas, químicas y bacteriológicas. No afecta la salud del hombre, no produce rechazo y no ocasiona daños a la tubería y otros materiales.
- Calidad Del Agua: es el conjunto de características física químicas y microbiológicas que se deben satisfacer con el fin de que el agua suministrada sea segura para la población.
- Coloides: solidos finamente divididos (que no disuelven) que permanecen dispersos en un líquido por largo tiempo debido a su menor diámetro y a la presencia de una carga eléctrica en su superficie.
- Contaminación Del Agua: alteración de sus características organolépticas, físicas, químicas, radioactivas y microbiológicas, como resultado de las actividades humanas o procesos naturales, que producen o pueden producir, rechazo, enfermedad o muerte al consumidor.
- Clarificación: proceso de separación de los sólidos del agua por acción de la gravedad.⁽¹⁾
- Cloro Residual Libre: aquella porción que queda en el agua después de un período de contacto definido, que reacciona química y biológicamente como ácido hipocloroso o como ion hipoclorito.⁽²⁾
- Ensayo De Jarras: estas pruebas consisten en simular en vasos de precipitado o jarras, el proceso de coagulación-floculación que se producirá en la planta de tratamiento y evaluar distintos parámetros durante o al final de los ensayos para caracterizar su funcionamiento.

- Operador: persona calificada y responsable de la operación y el mantenimiento de las instalaciones del sistema de potabilización.⁽³⁾
- Población Servida O Atendida: es el número de personas abastecidas por un sistema de suministro de agua.⁽²⁾
- Red De Distribución: conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o, planta de tratamiento hasta los puntos de consumo (RAS TITULO B).
- Mantenimiento: se refiere al conjunto de acciones que se ejecutan en las instalaciones de las plantas de tratamiento en forma permanente y programadas para asegurar el buen estado de operación en cada uno de los componentes, dicho en otras palabras, son las acciones que se deben realizar en las estructuras y equipos con el objetivo de prevenir o reparar daños.⁽⁴⁾
- Mantenimiento Correctivo: acciones que se realizan para reparar daños que se producen por efectos del deterioro o mal funcionamiento de un sistema y que no ha sido posible evitar con el mantenimiento preventivo.⁽⁵⁾
- Mantenimiento Preventivo: son las acciones que se realizan periódicamente en el sistema de abastecimiento con el fin de prevenir fallas en el servicio y el deterioro de los equipos y las instalaciones.⁽⁵⁾

Estado del arte

Dada la gran importancia que tiene el suministro de agua en una población y de la calidad que esta debe poseer para el consumo humano, se ha requerido la optimización del proceso de potabilización del agua en el municipio de Bochalema, con el fin de suministrar un líquido apto para su consumo.

Las plantas de tratamiento de agua potable no siempre cuentan con todos los procesos de tratamientos requeridos y la potabilización del agua se puede ver afectada, porque no cuentan con trabajadores debidamente calificados, no se les suministra los insumos necesarios para su buen funcionamiento, no se les hace el mantenimiento requerido, no cuentan con un laboratorio adecuado para controlar y garantizarla calidad del agua que tratan.⁽⁶⁾

En el proyecto titulado Plan de mejora de la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) en los campamentos Tacuí y Cuní, localizada en cercanías al poblado del corregimiento El Valle, municipio de Toledo, del noreste Antioqueño desarrollado por Laura Marín, se enfocó en el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable a partir del análisis de la información obtenida e inspecciones técnicas y operativas, permitiendo establecer las necesidades y prioridades de la PTAP, con un caudal de operación de aproximadamente 9 l/s, beneficiando alrededor de 3700 personas.

Por medio de este proyecto se mejoró la calidad del agua mediante la aplicación de la siguiente metodología: diagnóstico, evaluación de los procesos y la calidad del agua e identificación de falencias, en el cual se detectó que se presentaban altos niveles de turbidez, y por ende la estructura con la que contaba no lograba satisfacer los niveles de calidad requeridos por la normativa, lo que ameritó la inclusión de una nueva, que contribuyera con la disminución de un 80 % UNT de Unidades Nefelométricas de Turbidez.⁽⁷⁾

También se encontró el manual propuesto por Diana Garzón y David Piraquive, del sistema de acueducto de la cabecera municipal de San Francisco de Sales-Cundinamarca, se presenta la descripción del sistema de acueducto, en el cual se llevan a cabo los procesos de potabilización propios de una planta convencional, procesando un caudal de 17 l/s para una población de 9872 habitantes (2017), se describen las actividades de operación y mantenimiento recomendadas para garantizar un adecuado funcionamiento, con la elaboración de este manual se espera un impacto positivo tanto en la comunidad, como la entidad prestadora del servicio de acueducto, puesto que será una base para capacitar de mejor manera a los nuevos fontaneros que tomen el trabajo de operación y mantenimiento del acueducto.

Se han elaborado manuales en distintos acueductos municipales con el fin de orientar a los operarios en el buen funcionamiento de las plantas, como es el caso del acueducto del municipio de Rio de Oro, ubicado en el Departamento del Cesar, el cual limita al norte con el municipio de González y el Departamento de Norte de Santander; por el sur con San Martín, por el Oriente con Ocaña y Por el Occidente con Aguachica. En donde se implementó un manual para un acueducto con una capacidad de 13,5 l/s para abastecer a 6 133 habitantes en la zona urbana beneficiaria del acueducto, con una altitud de 1150 m s. n. m. En este estudio Castillo Armenta realiza un diagnóstico que especifica las condiciones de operación de la planta, teniendo en cuenta los lineamientos necesarios para la calidad del agua, también presenta una serie de recomendaciones en cuanto al mantenimiento de equipos. Adicionalmente, habla de la importancia de adquirir un equipo necesario para el diagnóstico de la calidad del agua.

Para elaborar un manual de operación y mantenimiento de un sistema de acueducto se debe disponer de información concerniente a los componentes del sistema, donde se den instrucciones a los operadores con objeto de que las labores se ejecuten de la forma más eficiente posible y como resultado se alcance el objetivo de un sistema de acueducto el cual es abastecer agua de calidad para una población. Para la elaboración del

presente manual se llevó a cabo una revisión bibliográfica donde se indagó documentos como el RAS, manuales, artículos de: calidad del agua, potabilización, de diagnóstico, mantenimiento e infraestructura.

Con la revisión de los manuales, se logró observar que estos poseen un contenido donde de acuerdo con el RAS este debe proveer como mínimo introducción, descripción operativa de la planta de tratamiento para cada uno de sus componentes, entrada de agua, medición de caudal de afluente, dosificación de productos químicos (coagulantes, alcalinizantes y desinfectantes), mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración, tanque de cloración, tanque de almacenamiento, medición de caudal efluente, instrumentación, adicionalmente debe presentarse un diagrama de flujo de la planta completa. Es necesario anexar debidamente clasificados todos los catálogos de los fabricantes.

Por consiguiente, con el presente manual se buscó brindar una herramienta para la toma de decisiones a partir de un instructivo y conocimiento de los procesos llevados a cabo en la planta de potabilización convencional, el presente manual otorga a los operarios de conocimientos en cuanto a la infraestructura, operación y mantenimiento propios de las condiciones en las que se desarrolla el proceso de potabilización en el municipio de Bochalema. El manual que se propone aporta a los anteriores en la socialización y

capacitación al personal que se encuentra operando, suministrando el conocimiento técnico, siendo una base de la fundamentación de los operarios en el tratamiento de agua.

Por esta razón ha sido necesario tener aspectos esenciales como la descripción de la infraestructura, el mantenimiento y la operación de la planta a mayor profundidad, que en su conjunto brindan un panorama para la toma de decisiones, recomendando la importancia de mantener adecuadamente las estructuras para que estas puedan cumplir con la función para lo cual se han establecido en el proceso.

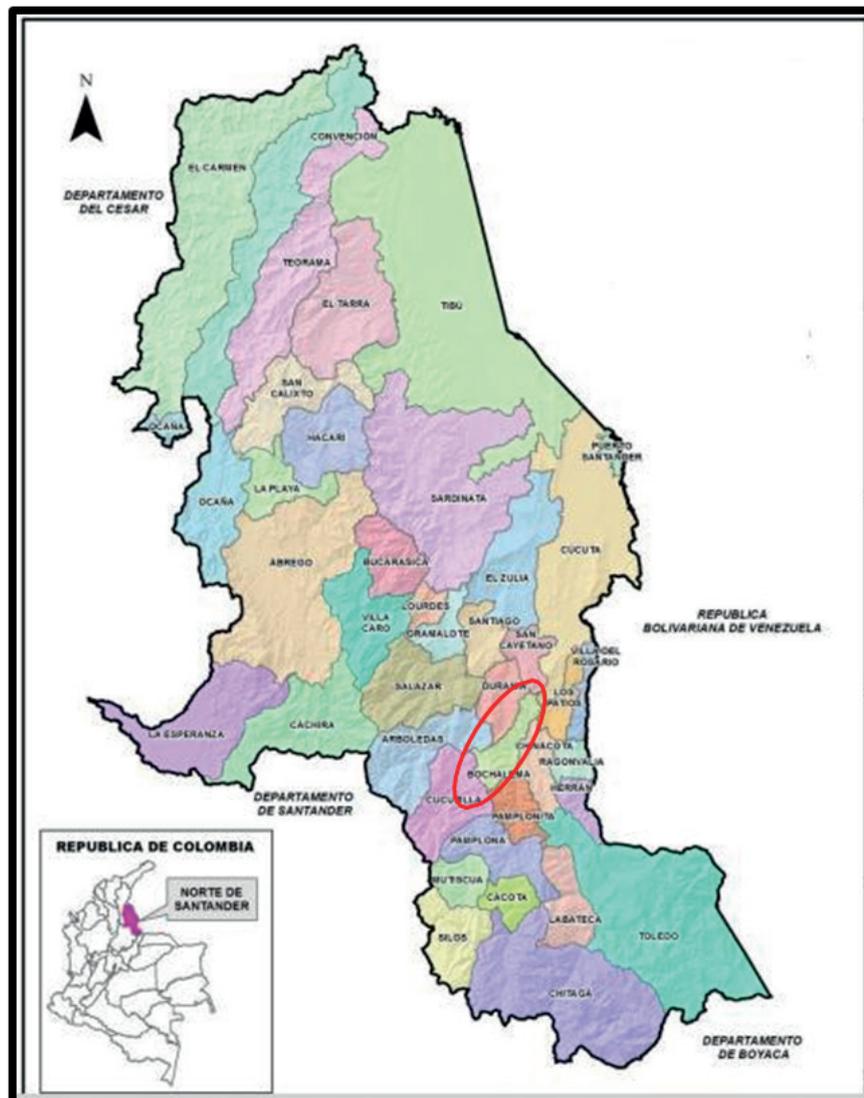


Figura 1. Localización General en Colombia y en Norte de Santander del Municipio de Bochalema

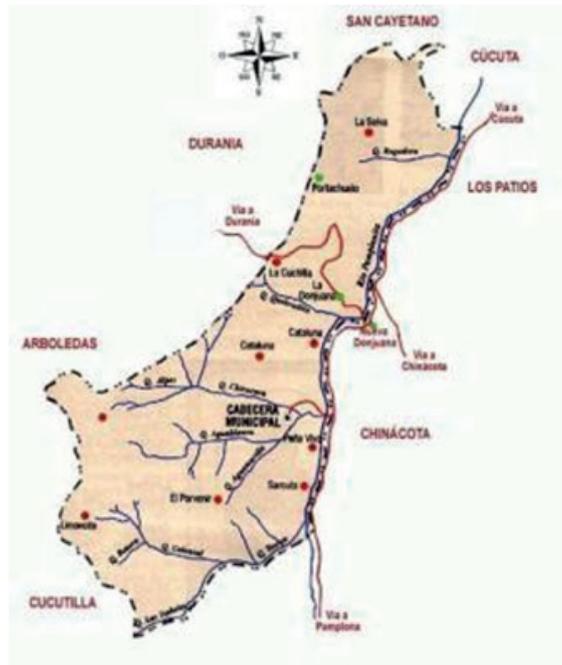


Figura 2. Límites Geográficos del municipio de Bochalema, Norte de Santander

Generalidades del municipio

A continuación, se presenta un breve resumen de las características y aspectos físicos y económicos del Municipio de Bochalema.

Localización y límites geográficos

Bochalema es un municipio perteneciente al Departamento de Norte de Santander, ubicado en la subregión sur oriental, el casco urbano del municipio se encuentra a 45 Km de la capital del Departamento y a 33 km del municipio de Pamplona. En la figura 1 se muestra la ubicación del Departamento Norte de Santander a nivel nacional, presentando un esquema general del Departamento, resaltando el municipio el cual se encuentra seleccionado con color rojo.

En la figura 2 se presenta los siguientes límites geográficos del territorio municipal: Por el norte con San Cayetano y Cúcuta, por el sur con Cucutilla y Pamplonita por el oriente con Los Patios y Chinácota y por el occidente con Arboledas y Durania.

Actividad económica del municipio

Las principales actividades económicas del municipio son: ganadería, agricultura y minería. En cuanto a la ganadería se destaca la producción en bovinos, porcinos y aves de corral, el sector agrícola ocupa el 40 % de las áreas productivas del municipio. Se produce en mayor potencialidad el café. Así mismo, se cuentan con cultivos de caña panelera, maíz tradicional, tomate tecnificado, plátano, yuca y habichuela, lulo y mora. En la parte minera se destaca el carbón, feldespatos y minas de caliza.⁽⁶⁾

Es importante resaltar que en los últimos años el turismo ha sido parte del desarrollo de este municipio con diferentes atractivos, como lo son las piscinas entre ellas Aguablanca, Chiracoca y villa luz, centros recreacionales como el cordillera country club y puntos de contacto con la naturaleza como el sendero ecológico y la cascada La Peronia, entre otros, lo cual ha generado el aumento de visitantes principalmente los fines de semana, en donde los hoteles, restaurantes y ventas alrededor del parque y en zonas de concurrencia, han sido beneficiados.⁽⁸⁾

Fuente de abastecimiento de agua y contaminación

El sistema de abastecimiento del Municipio de Bochalema se realiza por medio de la Quebrada Aguablanca afluente del Río Pamplonita que nacen al norte del casco urbano en un área rural intervenida por actividades agropecuarias, las cuales se intensifican en las partes medias y bajas de las cuencas, agravando el deterioro del recurso con las descargas de buena parte de las aguas residuales urbanas cerca de su desembocadura sobre la quebrada Aguablanca, adicionalmente se ve el impacto ambiental causado por el flujo turístico al sendero ecológico, el cual se encuentra sobre la rívera de la fuente hídrica. Por tal motivo se ha incentivado mediante campañas orientadas a la protección y cuidado del medio ambiente.

Hidrografía

En la cabecera municipal el recurso hídrico más importante es la quebrada Aguablanca, el caño el Chorrerón y la quebrada La Chiracoca; en la DonJuana es el río Pamplonita y las quebradas Aguanegra, Quebraditas y Los Caños, La Nicolasa y Cote.

La red hidrográfica de Bochalema forma parte de la Gran Cuenca del río Catatumbo, dentro de ella, en descendente orden jerárquico de la Cuenca Mayor del río Zulia, a su vez conformada por sectores de las Cuencas de los ríos Pamplonita y Zulia. El 86,65 % del territorio municipal pertenece al río Pamplonita y el restante 13,35 % del territorio del municipio pertenece a la cuenca del río Zulia.⁽⁹⁾ En la figura 3 se presenta el mapa hidrológico con las cuencas del municipio de Bochalema, Norte de Santander en el que se selecciona la microcuenca de la quebrada Aguablanca, para efectos de mejor visualización en la figura 4 se muestra la leyenda de este.

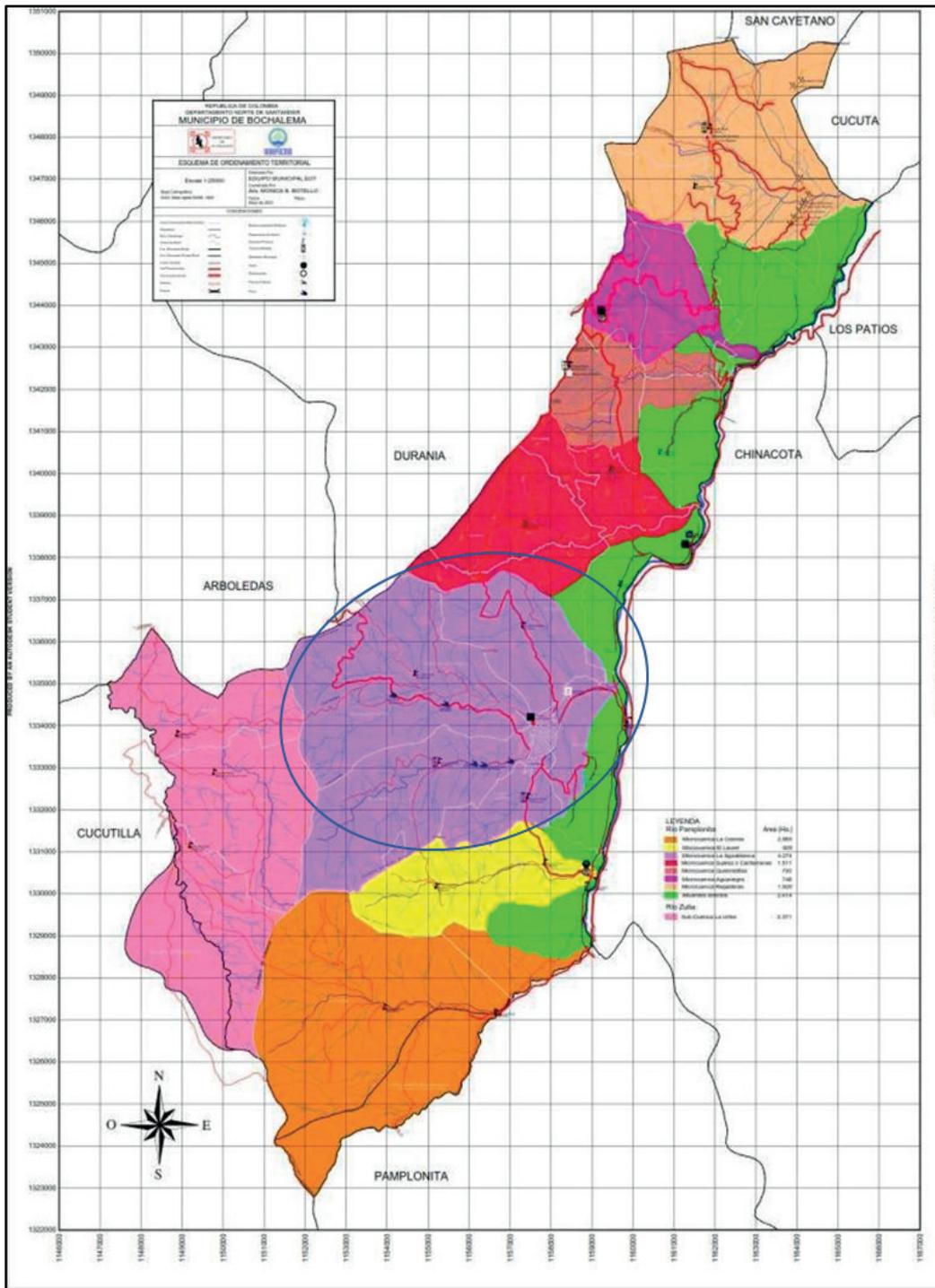


Figura 3. Mapa Hidrológico del Municipio de Bochalema

LEYENDA		Area (Ha.)
Río Pamplonita:		
	Microcuenca La Colonia	2.865
	Microcuenca El Laurel	929
	Microcuenca La Aguablanca	4.274
	Microcuenca Suárez o Cantarranas	1.511
	Microcuenca Quebraditas	730
	Microcuenca Aguanegra	748
	Microcuenca Regaderas	1.920
	Afluentes directos	2.414
Río Zulia:		
	Sub-Cuenca La Uribe	2.371

Figura 4. Leyenda de la figura 3 Mapa Hidrológico del Municipio de Bochalema

Población

Bochalema es un municipio de Norte de Santander, con una población de 8 105 habitantes aproximadamente. El municipio está conformado por el casco urbano, centro poblado de la DonJuana y las veredas, el área urbana cuenta con 14 barrios ubicados en la cabecera municipal de Bochalema y 8 en la DonJuana, mientras que el área rural cuenta con 24 veredas.

Según la información suministrada por la Unidad de Servicios Públicos cuenta con 1 000 usuarios en el sistema de acueducto del casco urbano del Municipio (2021), con una población servida de aproximadamente 4 000 habitantes, del cual el 67 % del agua tratada es emitida de la planta convencional.^(9,10)

Descripción general de la planta

La planta de tratamiento de agua potable de tipo convencional recibe el nombre “El Topacio”, se encuentra ubicada en la vereda Agua Blanca, a unos 470 metros del casco urbano, la cual capta el agua cruda de la quebrada Aguablanca y cuenta con los siguientes procesos: coagulación, floculación, sedimentación y filtración, posteriormente, se lleva a cabo la desinfección mediante la aplicación de cloro granulado para la eliminación de los organismos patógenos presentes en el agua, finalmente pasa a los tanques de almacenamiento de donde se distribuyen a los usuarios mediante la red de acueducto, en la figura 5 se muestra un diagrama con los procesos que se llevan a cabo.^(11,12)

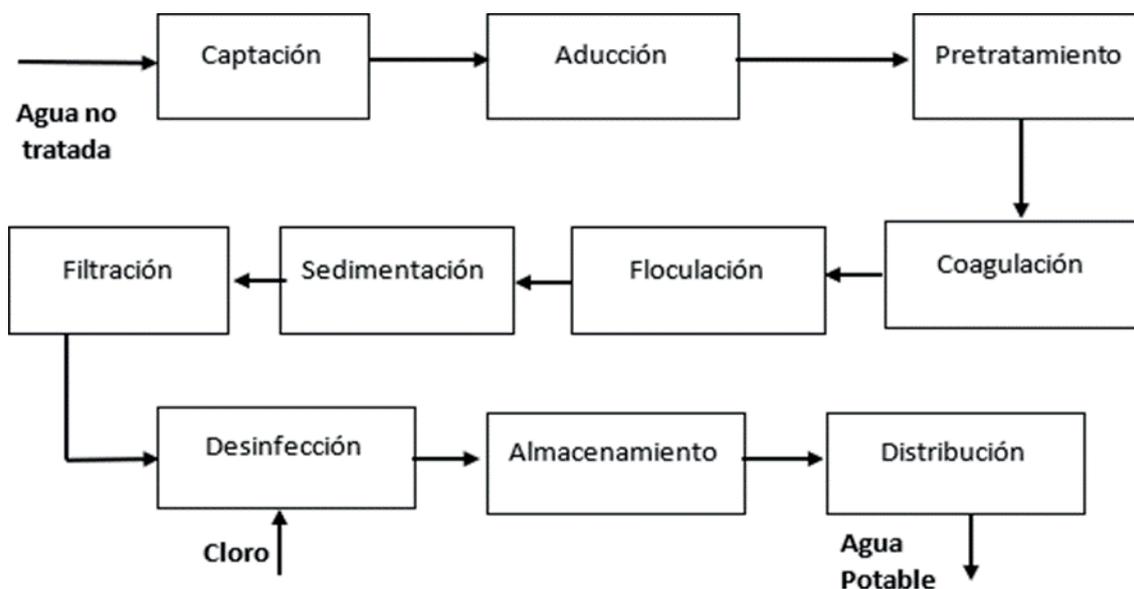


Figura 5. Diagrama de Bloques Procesos para el Tratamiento de Agua, PTAP Convencional Municipio de Bochalema

Marco regulatorio

La normatividad colombiana de agua potable es regulada por una serie de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos los cuales permiten conocer si el agua es propicia para el consumo humano y así evitar enfermedades que causen daños a la salud en la población, estos parámetros varían según el país y son establecidos por la autoridad según sus políticas ambientales. Colombia cuenta con una diversidad normativa, entre ellas se encuentra el Decreto Nacional 1575 de 2007 y la Resolución 2115 del mismo año. El objeto del decreto es establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano, con el propósito de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana.^(13,14)

causados por su consumo, aplicándose a aquellas personas prestadoras que suministren o distribuyan agua para el consumo humano,^(14,15,16) y la siguiente es la resolución por la cual se señalan características, instrumentos básicos, frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. En el que se establecen los valores máximos permisibles para los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua.⁽²⁾

La realización del manual de operación y mantenimiento requiere de la orientación del reglamento vigente para determinar los lineamientos a seguir en el sistema de acueducto.

CONCLUSIONES

La elaboración del manual de operación y mantenimiento para la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) “El Topacio” del municipio de Bochalema constituye una herramienta técnica fundamental para mejorar la eficiencia en la gestión del recurso hídrico local. A lo largo del desarrollo del presente documento, se identificaron aspectos esenciales relacionados con la infraestructura, los procesos de potabilización, el marco normativo y las condiciones sociales y geográficas del municipio. Esta integración de elementos permitió construir un manual contextualizado, alineado con las necesidades reales de la comunidad y con los lineamientos establecidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS).

Entre los hallazgos más relevantes se destaca la necesidad urgente de fortalecer la operación y mantenimiento de la planta, debido a factores como la falta de personal capacitado, la carencia de insumos básicos, el limitado acceso a laboratorios de control de calidad y el deterioro progresivo de algunos componentes de la infraestructura. Estas falencias comprometen la calidad del agua suministrada, por lo cual resulta imprescindible estandarizar los procedimientos técnicos y reforzar las actividades preventivas y correctivas en la planta.

El análisis de experiencias previas en otros municipios, como Toledo, San Francisco de Sales y Río de Oro, permitió identificar prácticas exitosas en la elaboración de manuales y procesos de mejora de sistemas de acueducto. Estos casos sirvieron como referencia para estructurar un documento que no solo describe los componentes de la planta y sus procesos, sino que también propone acciones concretas para garantizar la continuidad del servicio y la calidad del agua.

Asimismo, el contexto geográfico, hidrológico y socioeconómico del municipio de Bochalema fue determinante para adaptar los contenidos del manual. La información relacionada con la fuente de abastecimiento, las condiciones ambientales y la estructura poblacional permitió delimitar las necesidades específicas del sistema de acueducto y orientar mejor las acciones de mantenimiento.

El manual diseñado no solo constituye una guía operativa, sino que también representa una herramienta de capacitación para los operadores actuales y futuros, aportando al fortalecimiento institucional y al mejoramiento continuo del sistema de acueducto. Su implementación adecuada permitirá reducir riesgos sanitarios, prolongar la vida útil de los equipos y asegurar el acceso sostenible al agua potable, promoviendo así el bienestar de la población de Bochalema y el cumplimiento de la normativa vigente en Colombia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS). Título C: Sistema de potabilización. Bogotá: Ministerio de Desarrollo Económico; 2000.
2. Ministerio de la Protección Social; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 2115 de 2007 [Internet]. Bogotá (Colombia): República de Colombia; 2007 [citado 2025 jul 1]. Disponible en: http://www.lasalle.edu.co/wps/wcm/connect/d951c109-a227-44a3-8a42-1d1f87db2b43/Resolución_2115-2007.pdf?MOD=AJPERES
3. López A, Jiménez F. Manual de operación y mantenimiento planta de tratamiento de agua potable San Antonio - Asociación Sucuneta [tesis]. Bogotá (Colombia): Universidad Distrital Francisco José de Caldas; 2016.
4. Ministerio de Desarrollo Económico, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Programa de capacitación y certificación del sector de agua potable y saneamiento básico. 2ª ed. Bogotá: SENA; 1999. Disponible en: <http://biblioteca.sena.edu.co/>

5. Sanabria A. Operación y mantenimiento de sistemas de abastecimiento de agua. 2010. p. 32.
6. Corporación Nueva Sociedad de la Región Nororiental de Colombia (CONSORNOC). Generalidades del municipio de Bochalema [Internet]. 2015 [citado 2025 jul 1]. Disponible en: <http://consornoc.org.co/wp-content/uploads/2014/11/cartilla-bochalema-julio7.pdf>
7. Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR). Plan estratégico ambiental regional [Internet]. Cúcuta: Sistema de Información Ambiental; 2016 [citado 2025 jul 1]. Disponible en: https://corponor.gov.co/PLANES/PLAN%202016_2035/3.%20CAPITULO%20DIAGNOSTICO-PLANEAR.pdf
8. Gracia B. Turismo en el municipio de Bochalema, Colombia [Internet]. [s.f.] [citado 2025 jul 1]. Disponible en: https://colombiaextraordinaria.com/somos_colombia/turismo/municipios/Bochalema
9. Unidad de Servicios Públicos de Bochalema. Plan de contingencia para eventos de riesgo relacionados con los sistemas de acueducto y alcantarillado. Bochalema (Colombia): Unidad de Servicios Públicos; 2013. p. 106.
10. Chulluncuy N. Tratamiento de agua para consumo humano. *Ing Ind.* 2011;29:153-70. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?>
11. Díaz A. Importancia de la capacitación empresarial [Internet]. 2016 [citado 2025 jul 1]. Disponible en: <http://www.sincal.org/articulo31-importancia-de-la-capacitacion-empresarial.html>
12. Labprocess. Guía del proceso de calibración de pHmetro. 2015.
13. Martínez E, Estrada J. Sedimentador laminar en el tratamiento de agua para consumo humano [Internet]. 2011 [citado 2025 jul 1]. Disponible en: <https://docplayer.es/77344591-Sedimentador-laminar-en-el-tratamiento-de-agua-para-consumo-humano.html>
14. Ministerio de la Protección Social. Decreto Número 1575 de 2007. Bogotá (Colombia): República de Colombia; 2007.
15. Ministerio de Educación Nacional. Orientaciones para la construcción o ajuste en los establecimientos educativos del manual de normas de seguridad en los laboratorios de química y física [Internet]. 2015 [citado 2025 jul 1]. Disponible en: https://www.mineduccion.gov.co/1759/articles-355749_recurso_normatividad.pdf
16. Ramón R, Sepúlveda R, Villalobos F. El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis. México: Plaza y Valdés; 2003.

FINANCIACIÓN

Ninguna.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Sara Esther Sanchez Carrillo, Ana María Rosso Cerón.

Curación de datos: Sara Esther Sanchez Carrillo, Ana María Rosso Cerón.

Análisis formal: Sara Esther Sanchez Carrillo, Ana María Rosso Cerón.

Investigación: Sara Esther Sanchez Carrillo, Ana María Rosso Cerón.

Metodología: Sara Esther Sanchez Carrillo, Ana María Rosso Cerón.

Administración del proyecto: Sara Esther Sanchez Carrillo, Ana María Rosso Cerón.

Recursos: Sara Esther Sanchez Carrillo, Ana María Rosso Cerón.

Software: Sara Esther Sanchez Carrillo, Ana María Rosso Cerón.

Supervisión: Sara Esther Sanchez Carrillo, Ana María Rosso Cerón.

Validación: Sara Esther Sanchez Carrillo, Ana María Rosso Cerón.

Visualización: Sara Esther Sanchez Carrillo, Ana María Rosso Cerón.

Redacción - borrador original: Sara Esther Sanchez Carrillo, Ana María Rosso Cerón.

Redacción - revisión y edición: Sara Esther Sanchez Carrillo, Ana María Rosso Cerón.