

DESARROLLO DE UN MANUAL DE OPERACIONES PARA LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE CHARALÁ, SANTANDER

Andrés Camilo Páez Arenas y Catalina Alejandra Lizarazo Gonzalez

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Químico
Trabajo de Investigación

Director

Duban Fabián García Navas

Doctor en Ingeniería Química

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físicoquímicas
Escuela de Ingeniería Química
Bucaramanga

2026

Dedicatoria

Quisiera dedicar este trabajo con mucho amor y cariño a mi mamá Yoly por enseñarme a ver la vida desde el mejor ángulo y por darme esa confianza que me impulsó a creer en mí mismo, a mi padre Guillermo por forjar el carácter para lograr mis metas y enseñarme a valorar mis oportunidades y a mi familia en general que siempre me brindó apoyo y fueron mis referentes.

Andrés Camilo Páez Arenas

Quiero dedicar este trabajo, en primer lugar, a mi mamá, Carolina, y a mi nona, Gladys, a quienes agradezco profundamente por el apoyo que me brindaron, por la paciencia frente a mis largos horarios y por creer siempre en mis capacidades, las cuales hoy se ven reflejadas en este logro.

A todos los amigos y profesores que hicieron parte de este camino, gracias por las experiencias compartidas, los aprendizajes y los consejos que contribuyeron a mi crecimiento tanto personal como profesional. En especial a J, gracias por no dejarme desfallecer, por impulsarme a crecer profesionalmente y por recordarme siempre que podía ser ingeniera y más.

Finalmente, pero no menos importante, a mis fieles compañeros Tomás, Pirata y Princesa, quienes me acompañaron hasta el final y fueron un impulso constante en cada etapa de este proceso. Los extraño un montón.

Catalina Alejandra Lizarazo Gonzalez

Agradecimientos

Agradecemos a Dios por brindarnos la oportunidad de pertenecer a esta institución, darnos la salud y el temple para afrontar retos que se nos interpusieron y siempre ampararnos en los tiempos difíciles.

Quisiéramos agradecer a la universidad por facilitarnos los espacios y herramientas para el desarrollo de este trabajo, al profesor Duban García por su tiempo y compromiso con el proyecto y a la alcaldía del municipio de Charalá y sus funcionarios por brindarnos los recursos que permitieron culminar la recolección de información para este trabajo.

Asimismo, quisiéramos agradecer a nuestros compañeros y profesores por su dedicación y aporte en nuestra formación académica que nos permitió hoy presentar este trabajo.

Tabla de Contenido

Introducción	11
1 Objetivos	12
1.1 Objetivo General	12
1.2 Objetivos Específicos	12
2 Marco Conceptual	13
2.1 Cribado	13
2.2 Coagulación.....	14
2.3 Floculación	15
2.4 Sedimentación	17
2.5 Filtración	17
2.6 Desinfección.....	18
2.7 Manual de operación de una PTAP.....	19
3 Estado del Arte.....	21
4 Metodología	23
4.1 Caracterización de la planta	23
4.2 Elaboración del Manual	24
5 Manual de operación.....	25
5.1 Descripción de la planta	25
5.2 Proceso de potabilización	27
5.3 Equipos e Insumos	29
5.3.1 Equipos.....	29
5.3.2 Materias primas	30
5.3.3 Fichas técnicas.....	31
5.3.4 Protocolos de medición	31
5.4 Variables operativas, monitoreo y gestión de insumos	31
5.4.1 Variables de operación.....	31
5.4.2 Variables de monitoreo	33
5.4.3 Variables asociadas a la materia prima.....	35
5.5 Procedimientos operacionales transitorios	36
5.5.1 Procedimiento de arranque de planta	36

5.5.2	Procedimiento de frenado de planta.....	37
5.5.3	Procedimientos para cambios operativos	37
5.6	Procedimientos para casos imprevistos	40
5.6.1	Procedimientos ante fallas en estructuras y equipos	40
5.6.2	Procedimiento ante terremotos.....	40
5.6.3	Procedimiento ante incendios.....	40
5.6.4	Procedimiento ante escapes de cloro y químicos peligrosos.....	41
5.6.5	Procedimiento ante vendavales, tormentas eléctricas y granizadas	41
5.6.6	Procedimiento ante deslizamientos en planta y/o sus alrededores	41
5.6.7	Procedimiento ante época de sequía	41
5.7	Resumen del manual	42
6	Conclusiones	43
7	Recomendaciones.....	44
	Referencias	46
	Apéndices	48

Lista de Tablas

Tabla 1 Equipos utilizados en la PTAP de Charalá	30
Tabla 2 Insumos utilizados en la PTAP de Charalá	30

Lista de Figuras

Figura 1	Diagrama para la elaboración de un Manual de Operaciones.....	20
Figura 2	Planta de tratamiento de agua potable de Charalá, Santander	26
Figura 3	Diagrama de Bloques de la PTAP de Charalá, Santander	26
Figura 4	Zona de floculación	27
Figura 5	Tanque de almacenamiento de agua potable.....	29
Figura 6	Manual de Operaciones de la PTAP de Charalá, Santander	42

Lista de Apéndices

Apéndice A. Aspectos operativos del tratamiento de agua	48
Apéndice B. Manuales de usuario de los equipos	50
Apéndice C. Fichas técnicas	51
Apéndice D. Protocolos de ensayo y medición.....	52
Apéndice E. Procedimientos operativos para casos transitorios	58
Apéndice F. Procedimientos operativos para situaciones previstas	63
Apéndice G. Formatos desarrollados para el control de la operación.....	66

Resumen

Título: DESARROLLO DE UN MANUAL DE OPERACIONES PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE CHARALÁ, SANTANDER.

Autor: Andrés Camilo Páez Arenas, Catalina Alejandra Lizarazo González

Palabras Clave: Manual de operaciones, Tratamiento de Agua Potable, Potabilización, Elaboración de un Manual.

Descripción: El agua potable es un derecho humano fundamental, por lo que garantizar su suministro continuo es una necesidad. En Colombia, las plantas de tratamiento de agua potable tienen el compromiso de elaborar un manual de operaciones que guíe el correcto funcionamiento de las instalaciones con el fin de garantizar la calidad del agua y la continuidad del servicio. Además, un documento de este tipo en general permite facilitar la inducción del personal, brinda autonomía para la toma de decisiones en planta y permite optimizar los recursos.

El objetivo principal de este trabajo es desarrollar un manual de operación preliminar para la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Charalá, Santander que permita estandarizar los procesos operativos y se ajuste a las necesidades de la planta. Para ello se identificó la infraestructura existente y se realizó la búsqueda, caracterización y organización de documentación e información requerida para seguir estándares y normas aplicables en el territorio nacional. Asimismo, se llevó a cabo la sistematización del proceso basada en documentación pertinente como manuales de operaciones y literatura asociada a la potabilización de agua.

Con esto se contextualiza el contenido de un manual de operaciones en el campo del tratamiento de agua potable, se proporciona tanto el manual como algunas herramientas de apoyo para la planta con el fin de facilitar los procesos internos y operativos, y se diagnostican nuevas necesidades operacionales pertinentes a nuevos estudios. Por otra parte, también se brinda una guía para la elaboración de manuales de operación aplicables a cualquier planta o proceso.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Duban Fabián García Navas. Doctor en Ingeniería Química.

Abstract

Title: DEVELOPMENT OF AN OPERATION MANUAL FOR THE DRINKING WATER TREATMENT PLANT OF THE MUNICIPALITY OF CHARALÁ, SANTANDER

Authors: Andrés Camilo Páez Arenas, Catalina Alejandra Lizarazo González

Keywords: Operations manual, Drinking water treatment, Water purification, Manual development.

Description: Drinking water is a fundamental human right; therefore, ensuring its continuous supply to communities is a necessity. In Colombia, an operations manual is required to operate a drinking water treatment plant, guiding a proper performance of the facilities to guarantee water quality and service continuity. Additionally, this type of document generally helps to reduce staff training time, provides autonomy in plant decision-making, and enables resource optimization.

The main objective of this work is to develop an operation manual for the drinking water treatment plant of the municipality of Charalá, Santander, which standardizes current processes. Thus, the existing infrastructure was identified and the required documentation and information for the manual were searched, characterized, and organized according to standards and regulations applicable within the national territory. Likewise, the systematization of the process was carried out based on relevant documentation such as literature related to water purification.

As a result, the content of an operations manual in the field of drinking water treatment is contextualized, and the manual, along with additional supporting tools, is provided to the plant to facilitate internal and operational processes. Furthermore, new operational needs relevant to future studies are identified. Additionally, this work provides guidelines for the development of operations manuals applicable to any plant or process.

*Degree work

** Faculty of Physicochemical Engineering. School of Chemical Engineering. Thesis Advisor: Duban Fabián García Navas, Ph.D. in Chemical Engineering.

Introducción

En 2010 mediante la resolución 64/292, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció el acceso al agua potable segura y de calidad como un derecho humano fundamental. Por consiguiente, las instituciones públicas deben velar por garantizar el suministro de agua en las condiciones adecuadas a la población. Por consiguiente, las plantas de tratamiento de agua se convierten en un elemento indispensable para la supervivencia de una comunidad y para las políticas sociales de cualquier territorio.

Según la Organización Panamericana de la Salud *“Una planta de tratamiento es una secuencia de operaciones o procesos unitarios, convenientemente seleccionados con el fin de remover totalmente los contaminantes microbiológicos presentes en el agua cruda y parcialmente los físicos y químicos, hasta llevarlos a los límites aceptables estipulados por las normas” (Vargas, 2004).*

En efecto, el tratamiento de agua potable requiere el seguimiento de los niveles mínimos de patógenos y de los procesos que allí se ejecutan. En este sentido, el manual de operaciones no es solo un documento técnico sino una herramienta fundamental que asegura que los procesos de potabilización sean eficientes y seguros.

A nivel general un manual de operaciones se compone del paso a paso para ejecutar cada fase del proceso, guías prácticas para la correcta capacitación del personal y secciones específicas para el control de riesgos, acciones correctivas y los parámetros de operación. Por ende, el manual debe ser una guía práctica y fácil de entender para así garantizar que sea una herramienta de transferencia de conocimiento dentro de la planta. *(Tidwell, 2000)*

La planta está ubicada en el municipio de Charalá al sur del departamento de Santander. Esta planta cuenta con un acueducto urbano manejado por la Unidad de Servicios Públicos Domiciliarios (USPD) del municipio y se abastece principalmente de la quebrada La Potrera; en épocas de bajo caudal se complementa con el bombeo de aguas del río Pienta. Al ser una PTAP convencional, su capacidad de almacenamiento de agua tratada es de 750 m³ con un caudal de diseño de 25 L/s y de operación de 18 L/s; diariamente la planta abastece de agua potable a aproximadamente 3214 suscriptores del casco urbano.

El desarrollo del manual requiere caracterizar su usuario final (para definir el lenguaje técnico y las secciones a incluir), los objetivos y el alcance del manual (para garantizar que el documento responda a las necesidades operativas de la planta) e identificar los procesos de la planta y su configuración. Para ello se abordan manuales de operaciones de PTAPs representativos en Colombia, junto con visitas en campo que permiten detallar el estado actual de la instalación. La información recopilada se consolida en este documento a través de gráficas y diagramas que permitan el fácil entendimiento del manual y las secciones previamente definidas.

1 Objetivos

1.1 Objetivo General

Desarrollar un manual de operación para la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Charalá, Santander mediante la caracterización de la infraestructura existente y la sistematización del proceso.

1.2 Objetivos Específicos

- Contextualizar el contenido y los alcances de un manual de operación para una planta de tratamiento de agua potable por medio de la información de literatura pertinente.

- Caracterizar la configuración de la planta de agua potable del municipio de Charalá, por medio de la recopilación de información de infraestructura y operación.
- Construir el manual de operación a partir de los principales elementos identificados en la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Charalá.

2 Marco Conceptual

Un adecuado tratamiento del agua para el consumo humano va a depender de la calidad del agua de la fuente de abastecimiento, los criterios de salida definidos en este caso por la normatividad colombiana y las condiciones climatológicas del sitio en el cual la planta va a operar. Entre los principales procesos empleados en el tratamiento de agua se encuentran:

2.1 Cribado

Es una operación que hace parte de la etapa del tratamiento preliminar y generalmente se ubica en la cabecera de la plata. Su objetivo principal es eliminar material de gran tamaño como ramas, piedras o plásticos para evitar que estos se retengan y dañen equipos aguas abajo. “Esta etapa es requerida, especialmente, en casos en que la conducción desde el sitio de toma en el río hasta la potabilizadora (aducción), se haya proyectado como un canal abierto y no mediante tubería” (*Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015*).

Entre los dispositivos más comunes utilizados en el cribado se encuentran las rejillas, los tamices y las trampas flotantes, los cuales deben seguir unos criterios de diseño tales como: número de canales de cribado, tipo y tamaño de los espaciamentos (ya sea entre barras u orificios), velocidades de aproximación, diferencias de nivel entre diferentes procesos, caídas de presión, entre otros (*Díaz Amaya & Gelvez Peña, 2023*). Los requisitos mínimos para el diseño de

dispositivos de cribado y los niveles mínimos de remoción según la Resolución 0330 de 2017 se muestran en el [Apéndice A.1.](#)

2.2 Coagulación

La coagulación constituye la primera etapa del proceso y consiste en la adición de una sustancia coagulante al agua, la cual transfiere sus iones a la sustancia que se desea remover neutralizando así los coloides y favoreciendo la formación de flocúlos de mayor tamaño para su posterior remoción. Para efectuar este proceso es muy común usar sales de aluminio y de hierro. Entre las sales de aluminio la más usada es el sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$, o alumbre), ya que forma flocs ligeros y de fácil manejo a bajo coste. A pesar de que esta sustancia es comercializada en formato líquido y sólido, siempre debe aplicarse en solución con una concentración del 1-6%; en el caso del alumbre líquido este deberá ser dosificado en solución al 50% sin dilución (*Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015*).

Para el caso de las sales de hierro son muy conocidos el cloruro ($FeCl_3$) y el sulfato ($Fe_2(SO_4)_3$) férrico y el sulfato ferroso ($Fe(SO_4)_7H_2O$), que generan flocs más pesados. También se pueden obtener de manera granular o líquida, pero siempre será necesario aplicarlas en solución. Cada sal trabaja de manera diferente en función de las características del agua cruda a tratar, por ejemplo, el cloruro férrico se prefiere en aguas ácidas, blandas y con color, sin embargo, propicia la formación de lodos corrosivos lo que lo hace un compuesto difícil de manejar. Es por lo anterior, que el éxito de la etapa de coagulación radica en un 80% en las condiciones del agua que reciba la planta y en la eficiencia que se desee alcanzar. El 20 % restante del éxito de la etapa de coagulación depende de una correcta ejecución del proceso (*Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015*).

Entre los principales factores que influyen en el proceso están: pH, alcalinidad, concentración, punto de aplicación y dosis del coagulante, turbiedad del agua, energía y tiempo de

mezcla. En este contexto, para una coagulación exitosa se debe tener en cuenta el sistema de dosificación y las unidades de mezcla rápida. Según la literatura, la dosificación de las sustancias químicas usadas en la coagulación debe hacerse siempre en solución, para el caso de las sustancias químicas en polvo o granulares existen equipos dosificadores que incluyen una cámara de mezcla en donde se realiza la preparación de la solución (*Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015*). Las características de los sistemas de dosificación se presentan en el [Apéndice A.2](#).

También se debe analizar la dispersión instantánea del coagulante ya sea, por medio de dispositivos mecánicos (hélices, turbinas o paletas) o dispositivos hidráulicos (resalto hidráulico, caídas de agua o dispersores). Los mecánicos usualmente se ubican en tanques (circulares o cuadrados) aprovechando la agitación mediante una turbina tipo hélice, generando corrientes axiales fuertes a velocidades de hasta de 2000 RPM (*Tchobanoglus et al., 2003*) o mediante impulsores de paletas que giran hasta 150 RPM, generando mayor área de contacto con el agua (*Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015*).

Por otra parte, los dispositivos hidráulicos disipan la energía cinética excedente del flujo. Son recomendados para canales (i.e., uso de resalto hidráulico en canaletas tipo Parshall) y tuberías (a través de mezcladores estáticos y bombas dosificadoras) (*Mendoza Gomez & Ibañez Pinedo, 2006*).

2.3 Floculación

Las etapas de coagulación y floculación se suelen desarrollar de manera conjunta dentro del proceso de tratamiento. La floculación es un proceso donde partículas coloidales desestabilizadas durante la coagulación chocan entre sí y se aglomeran en coágulos llamados flóculos (*flocs*) hasta alcanzar mayor peso y cohesión posible, separándose así del agua en una etapa de sedimentación posterior. Para lograr esto es necesario proveer a la masa de agua una agitación suave pero

suficiente para favorecer los choques entre partículas coloidales, con gradientes de mezcla, entendidos como la cantidad de energía disipada en el agua durante el proceso de mezcla (*Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015*).

Para llevar a cabo la floculación, en la mayoría de las plantas se usan polímeros de alto peso molecular (o polielectrolitos). Pueden ser naturales (almidones o compuestos algínicos) o sintéticos que pueden presentar carga positiva (catiónicos): cat-floc o polidialildimetilamonio o imina de polietileno; carga negativa (aniónicos): ácido poliacrílico, poliacrilamida hidrolizada o sulfonato de poliestireno; o carga neutra (no iónicos): óxido de polietileno o poliacrilamida.

Estos materiales sirven para mejorar la resistencia de los flóculos y hacerlos más grandes y pesados. No obstante, independientemente del tipo de floculante utilizado, la floculación está condicionada por una serie de factores que determinan su eficacia en el proceso de separación de la fase sólido/líquido, estos son: dosis óptima, agitación, peso molecular, concentración y superficie de sólidos, temperatura y pH (*Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015*).

Adicionalmente, el tipo de floculación y los floculadores empleados también afectan directamente la eficacia de la fase. Por ende, resulta importante conocer el tipo de interacciones que pueden ocurrir ya sea en la floculación pericinética (donde los choques entre partículas coloidales se deben principalmente al movimiento browniano) o floculación ortocinética (donde los choques se deben principalmente a una suave agitación producida por turbinas) o por variaciones en la dirección del flujo en un dispositivo hidráulico (*Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015*).

En particular, se suele preferir diseños que permitan una floculación ortocinética ya que forma los flóculos con facilidad (*Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015*). Estas interacciones

ocurren en equipos conocidos como unidades de floculación, las cuales se clasifican en unidades mecánicas o hidráulicas detalladas en el [Apéndice A.3.](#)

2.4 Sedimentación

La sedimentación es el proceso físico de remoción o separación de partículas en suspensión presentes en el agua debido al efecto de la gravedad. Esta etapa aporta la fracción dominante de la remoción de partículas antes de la filtración final y se ve afectada por factores como la turbiedad del agua cruda, el peso y grado de hidratación de los flóculos, la forma y tipo del sedimentador y el tipo de dosis y coagulante usado, entre otros (*Chulluncuy Camacho, N. C., 2011*).

Este proceso se lleva a cabo en unidades conocidas como sedimentadores que distinguen cuatro zonas: de entrada (para asegurar un reparto uniforme del agua a lo largo de toda el área transversal del tanque), de salida (para asegurar un flujo uniforme sin turbulencias o corrientes que suspendan las partículas sedimentadas), de lodos (para acumular partículas sedimentadas para su posterior evacuación) y de sedimentación (donde los flóculos se asientan por efecto de la gravedad) (*Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015*). Los equipos se muestran en el [Apéndice A.4.](#)

2.5 Filtración

La filtración es una operación unitaria en donde una mezcla sólido-líquido atraviesa un medio poroso el cual retiene partículas de turbidez remanente y microflóculos que no fueron removidos en el sedimentador; al mismo tiempo, permite el paso del agua, liberándola así de la materia en suspensión. La filtración, además de retirar la turbiedad remanente, elimina, junto con las partículas, gran parte de los microorganismos patógenos, muchos de ellos resistentes a la desinfección. (*Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015*)

Entre los factores que influyen en la filtración y que a su vez definen los posibles sistemas de filtración que se pueden construir en una PTAP se encuentran las características de la suspensión (i.e., tipo, tamaño, densidad, dureza o resistencia de las partículas suspendidas, la temperatura del agua por filtrar y la concentración de partículas suspendidas en el afluente, las características del medio filtrante (i.e., tipo, granulometría, peso específico del material filtrante y espesor de la capa filtrante) y las características hidráulicas (i.e., tasa de filtración, carga hidráulica disponible, método de control de los filtros y calidad del efluente (*Chulluncuy Camacho, 2011*)).

2.6 Desinfección

La desinfección permite destruir o inactivar organismos causantes de enfermedades (o patógenos), tales como virus, bacterias, hongos o protozoos. Entre las enfermedades más comunes causadas por organismos patógenos presentes en el agua se encuentra la disentería, el cólera, la fiebre tifoidea, gastroenteritis, entre otras. A pesar de que la cloración es el método de desinfección más utilizado en plantas de tratamiento de agua potable, existen varios métodos (*AWWA, 2009*).

El tratamiento térmico consiste en elevar la temperatura del agua hasta el punto de ebullición para inactivar organismos resistentes, aunque se limita a volúmenes pequeños por su ineficiencia microbiológica total y elevado coste energético. Por su parte, el tratamiento con radiación ultravioleta (UV) es un proceso instantáneo que genera cambios fotoquímicos en el ADN y ARN de las células (dentro del espectro germicida de 200 a 280 nm), incapacitando al organismo para infectar; al ser un proceso físico sin materia residual, requiere cloración posterior y es sensible a factores como la turbidez y la transmitancia.

Finalmente, el tratamiento químico utiliza agentes oxidantes como cloro, cloraminas, ozono, dióxido de cloro y permanganato potásico para eliminar patógenos, destacando por su fácil

dosificación, estabilidad del pH y, en algunos casos, la ausencia de subproductos peligrosos, olores o sabores. Aunque la desinfección constituye la última fase dentro del proceso de potabilización del agua, su eficacia no solo depende de la correcta ejecución de todas las etapas sino también de la correcta integración, control y seguimiento sistemático.

2.7 Manual de operación de una PTAP

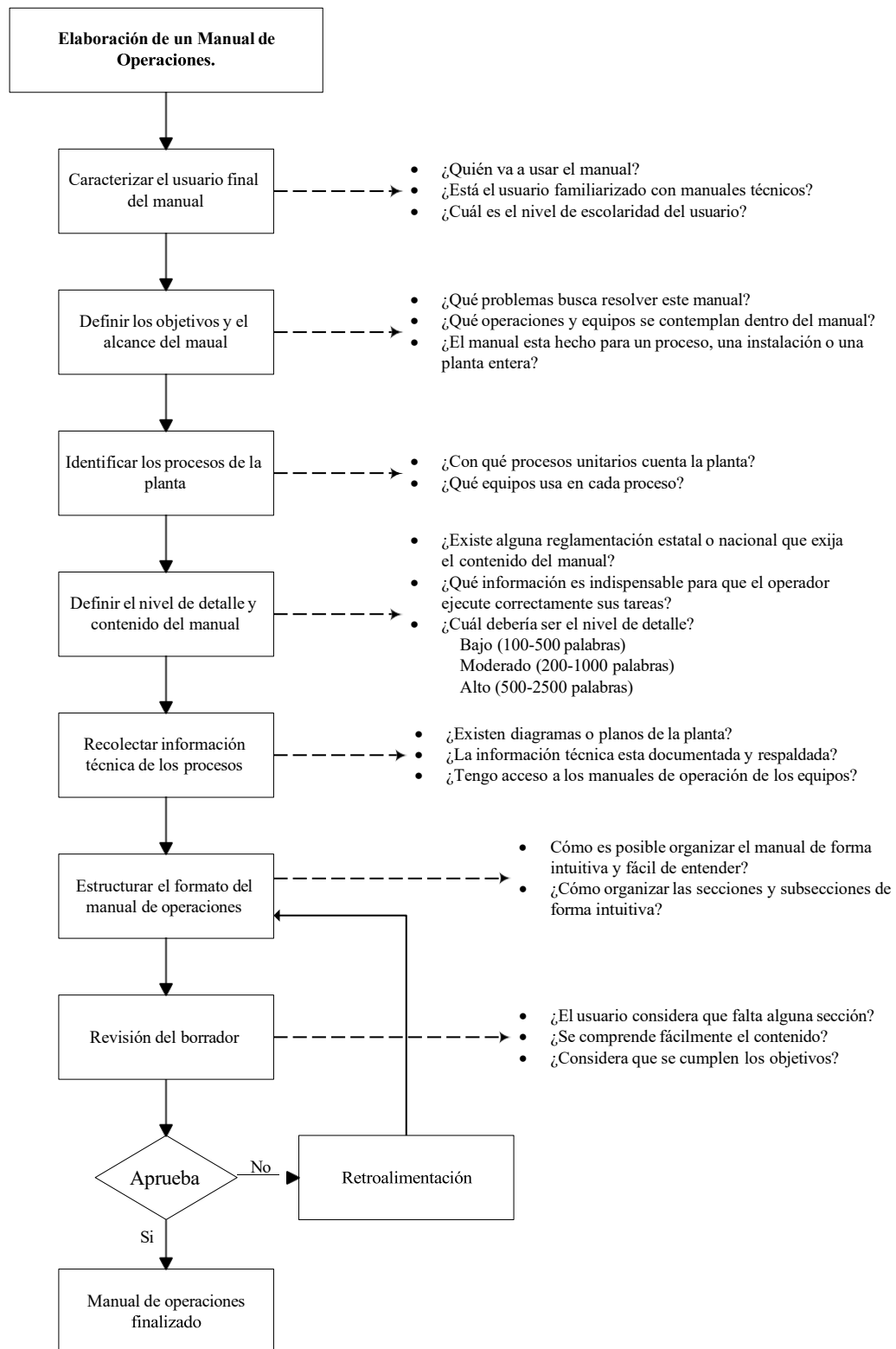
Para lograr una operación adecuada es fundamental contar con herramientas que permitan estandarizar y orientar la operación de la planta, siendo el manual de operaciones el instrumento clave. El objetivo del manual de operaciones es ser un documento integral para facilitar la información sobre el funcionamiento, control y operación de la planta de forma sencilla y comprensible para sus usuarios (*Tidwell, 2000*).

De acuerdo con la Figura 1 el proceso de desarrollo del manual comienza con la caracterización del usuario final para identificar quién lo usará y su nivel de familiaridad, factores que condicionarán el lenguaje, la disposición y el contenido del documento. Una vez reconocido el usuario, se define el alcance estableciendo los problemas a resolver, los equipos y procesos a documentar y los responsables de cada tarea, para luego determinar el nivel de detalle mediante una depuración de la información indispensable alineada a la escolaridad del operador.

Posteriormente, se describen sistemáticamente los procesos y equipos de potabilización junto a la información técnica disponible y se define la estructura más conveniente (i.e., capítulos, secciones o fichas) consultando, manuales de plantas similares como referencia. Finalmente, se elabora un borrador que es sometido a revisión por usuarios para recibir retroalimentación sobre su claridad y suficiencia, hasta obtener un documento aprobado que responda a las necesidades reales de la planta y su personal.

Figura 1

Diagrama para la elaboración de un Manual de Operaciones



3 Estado del Arte

Tidwell define un manual de operaciones como una herramienta de toma de decisiones que guía el día a día de los procedimientos de una planta, en el que como mínimo se deben encontrar instrucciones de arranque, parada y operación de la forma más clara y entendible para el usuario. Además, debe organizar la información para facilitar su consulta cuando sea requerida y también debe tener la capacidad de modificarse con forme sea necesario (*Tidwell, 2000*).

Según el mismo autor, las secciones que debería contener el manual para ser efectivo deberían ser: una vista general del proceso y los equipos que brinde información básica donde se distinga el diseño de la planta y los procesos que allí se llevan a cabo, también debería incluir una sección donde se muestren las ecuaciones y cálculos que el operario requeriría para el correcto funcionamiento de cada uno de los equipos de la planta.

Otra sección importante son las rutinas de chequeo en las cuales se listan parámetros y frecuencia de revisión de las actividades que desarrollan los operarios. Igualmente, se hace necesario contar con una sección con información gráfica del proceso la cual sirva como apoyo visual al operario, así como una sección con los datos de los fabricantes de los equipos para casos de falla o mantenimiento. Finalmente, se recomienda incluir una sección con los procesos de arranque y parada para cada etapa del proceso la cual debe ser complementada con los lineamientos de seguridad y emergencia definidos en el sitio de trabajo, permitiendo capacitar al lector con la mejor y más adecuada ruta de acción ante eventos de peligro o desastres (*Tidwell, 2000*).

Este contenido ha venido evolucionando con el paso del tiempo. Por ejemplo, el manual de operación y funcionamiento para la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) del municipio de Bochalema (Norte de Santander), fue escrito sin descripciones teóricas complejas y destaca principalmente por su metodología donde recolecta y revisa información bibliográfica;

posteriormente, describe de forma detallada las estructuras y los procesos de la planta especificando algunos principios del funcionamiento y mantenimiento de las unidades, elaborando las fichas de seguridad de los equipos e insumos químicos. Su objetivo principal además de modernizar el manual ya existente debido a los cambios que hubo en la infraestructura de la planta es poder instruir a los presentes y futuros operarios siendo su factor diferencial la socialización y capacitación del personal (*Sanchez Carrillo, 2021*).

Por su parte, la actualización del manual de la empresa Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P., describe cada uno de los procesos unitarios que realiza la PTAP, además de la definición de la fuente de abastecimiento y del proceso de distribución, aspectos que no suelen ser comunes en otros manuales. Su factor diferencial está en la robusta información que contiene, incluyendo normas de seguridad y regulaciones de salud ocupacional establecidas a nivel nacional y por la empresa. También resalta los servicios industriales como parte fundamental de la planta, así como las variables de operación a tener en cuenta para un proceso óptimo (*AGUAS DE BARRANCABERMEJA SA ESP, 2024*).

Por otra parte, el manual de la empresa de servicios públicos del Meta (Edesa S.A. E.S.P) se centra en cada uno de los procesos involucrados en la PTAP (tales como floculación, sedimentación, filtrado, entre otros.) y su respectivo mantenimiento. Este manual se diferencia de los otros al incluir aspectos de seguridad como la inclusión de los elementos de protección personal (EPP), las rutas a seguir en situaciones particulares de operación o de emergencia y la recomendación de bitácoras de operación para hacer un seguimiento estricto a la planta (*Empresa de Servicios Públicos del Meta EDESA S.A E.S.P, 2022*).

4 Metodología

4.1 Caracterización de la planta

Para caracterizar la PTAP ubicada en Charalá se evaluaron sus capacidades operativas y la calidad de la materia prima recolectando información de campo y mediante levantamiento fotográfico e inspección visual acompañado de entrevistas con personal operativo. Allí se solicitan los planos de la planta y se identifican los procesos, equipos e insumos utilizados para la potabilización del agua. Posteriormente se realiza la revisión de documentos, de registros históricos operacionales y de documentación técnica. Finalmente, a partir de la información recolectada se diseña un diagrama de flujo de proceso de la planta y se elaboran inventarios de equipos e insumos, además de establecer las bases para el manual.

En este orden de ideas, se realizó una visita de campo facilitada por la Alcaldía Municipal de Charalá, Santander, los días 13 y 14 de enero de 2026. Durante el primer día se hizo un reconocimiento preliminar de la entidad prestadora del servicio de acueducto y alcantarillado, donde se entrevistó en la alcaldía municipal a la encargada de la unidad de servicios públicos domiciliarios, Ing. Alejandra Carreño, la cual contextualizó el estado y las necesidades operacionales actuales de la planta que desde su cargo se perciben.

Posteriormente en la planta se realizó una reunión con el encargado, Tec. Carlos Valderrama, en la que se recolectó información histórica, se identificaron equipos, ubicación, infraestructura, insumos químicos, personal, etapas, fallas y procesos operacionales actuales que componen el proceso de potabilización del agua en la instalación. El segundo día de la visita se realizó la recolección de evidencia fotográfica, documentos de seguimiento, modelos de equipos, eventos

anormales ocurridos en la planta y la identificación de los usuarios finales del manual, donde además se presenciaron maniobras de operaciones rutinarias y protocolos implementados.

4.2 Elaboración del manual

Inicialmente se realizó una búsqueda bibliográfica en diferentes fuentes nacionales como manuales de operación de plantas de tratamiento de agua potable con distintas configuraciones y métodos de operación que permitiesen comparar, entender e identificar las variables importantes del proceso y los requerimientos operacionales de una PTAP, además de libros de diseño, reglamentación y normas técnicas que brindan contexto al tratamiento de agua potable en el territorio nacional y delimitaron las características mínimas de una planta de este tipo.

Por otra parte, también se atendió a recomendaciones de fuentes internacionales como la *American Water Works Association*, *American Society of Civil Engineers* con libros sobre los fundamentos de procesos de potabilización y buenas prácticas en esta industria, además de guías sobre como formular manuales de operaciones que reforzaron lo anteriormente mencionado.

Adicionalmente, se hizo uso de diferentes bases de datos académicas como la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander y Google Académico, utilizando palabras clave como “Potabilización”, “Tratamiento de agua”, “manuales de operación”, entre otras (y sus traducciones al inglés). Asimismo, se usaron herramientas de Inteligencia Artificial como Perplexity y DeepSeek como apoyo a la identificación de fuentes bibliográficas, brindando un contexto completo sobre el objetivo del proyecto y siempre requiriendo fuentes científicas que sirvan como guía o referencia para posteriormente estudiar la información contenida en los resultados.

Para la elaboración del manual, la información recolectada se organizó, depuró y clasificó con el fin de realizar un diagnóstico operativo y de configuración de la planta. Esta etapa se realiza

en función de los requerimientos del manual y de la disponibilidad de información. Asimismo, se diseñó la estructura del manual de operación, incluyendo los capítulos, secciones y fichas técnicas acordes a las necesidades de la PTAP de Charalá según la normativa vigente y manuales de operación colombianos de referencia.

Luego, por medio de los datos históricos de la planta y la bibliografía investigada, se redactaron los protocolos de arranque, frenado y de situaciones previstas e imprevistas. Esto se realizó con el fin sistematizar el proceso e incluir experiencias de aprendizaje que permitieron crear procedimientos operativos estándar para garantizar resultados consistentes.

Lo anterior se complementó con la ayuda de herramientas gráficas como diagramas de flujo, esquemas, y tablas, con el fin de asegurar el uso práctico del manual. Adicionalmente, se socializó los documentos elaborados para el manual ante las autoridades pertinentes, con el fin de recibir observaciones y recomendaciones que fortalecieron el contenido del manual.

5 Manual de operación

5.1 Descripción de la planta

La Planta de Tratamiento de Agua Potable de Charalá es de tipo convencional y se aprecia en la Figura 2, la cual inicia el proceso con la aducción del agua cruda de la quebrada La Potrera. La captación se ubica aproximadamente a 1000 m de la planta y gracias a la diferencia de altura, el agua es conducida por gravedad, pasando por un desarenador y posteriormente ingresando al sistema de tratamiento por medio de una tubería y con un promedio de 25 L/s.

En la entrada, la planta cuenta con una válvula que regula el ingreso. Una vez tratada, el agua se almacena y se inicia la distribución en el municipio. Todo el proceso es esquematizado en la Figura 3.

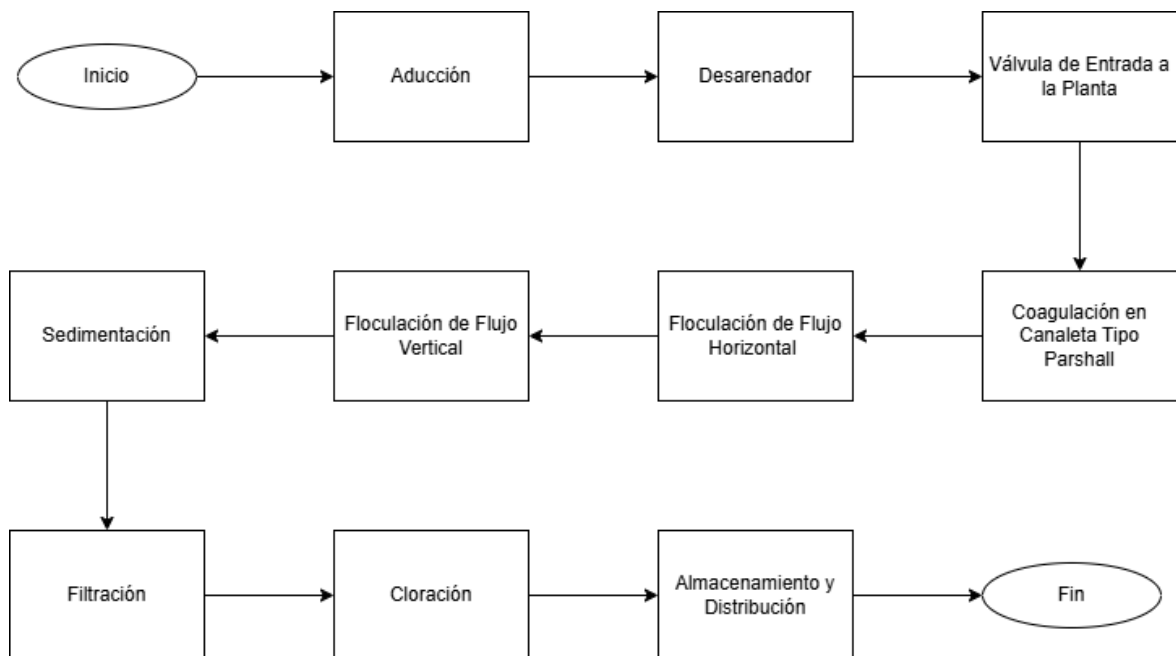
Figura 2

Planta de tratamiento de agua potable de Charalá, Santander



Figura 3

Diagrama de Bloques de la PTAP de Charalá, Santander



5.2 Proceso de potabilización

Una vez en la planta y gracias a la formación del resalto hidráulico en la canaleta tipo Parshall en su sección divergente, el agua cruda se somete a una dispersión rápida y uniforme del coagulante (*Caicedo, 2003*). Este ingresa a la zona de mezcla rápida por medio de un tubo PVC el cual está conectado a una bomba dosificadora. Actualmente, en planta se utiliza el sulfato de aluminio tipo A sólido diluido en agua ya que es el que mejor se adapta a las condiciones de agua cruda del sitio, eliminando efectivamente turbidez, color y materia orgánica.

Posteriormente, el agua ingresa a la zona de mezcla lenta para formar los flóculos, los cuales son el grupo de partículas en suspensión que se forma al agruparse todo material suspendido en el agua y que causa turbidez. Esta etapa se desarrolla en 2 unidades, en un floculador hidráulico de tabiques de flujo horizontal y un floculador hidráulico de flujo vertical de tipo Alabama configurados en serie, como se aprecia en la Figura 4.

Figura 4

Zona de floculación



Este sistema híbrido es el resultado de un cambio de diseño en la planta y presenta una ventaja ante cambios abruptos en las condiciones de entrada del agua cruda: en vez de desaprovechar esta nueva zona construida, se usa para ganar tiempo de acción, es decir, si el agua a mitad de proceso no se está clarificando como debería, se aprovecha este tramo para cambiar la dosis de coagulación y así poder corregir el flujo de agua.

Luego de formados los flóculos, el agua ingresa a la zona de sedimentación donde por efecto de la gravedad las partículas provenientes de la etapa anterior con mayor peso específico que el agua caen hasta una serie de canales hexagonales (módulos tipo panel), con el fin de maximizar la eficiencia de remoción de flóculos.

Terminada la floculación, el agua clarificada pasa a través de unos vertederos hasta llegar a dos filtros de lecho de flujo descendente, en donde se pretende retener las partículas de menor tamaño no sedimentadas en la etapa anterior. Los filtros disponen de un sistema de retro lavado que invierte el flujo de agua para eliminar residuos, suciedad y contaminantes atrapados en el medio filtrante.

Finalmente, el agua filtrada pasa al cuarto de máquinas donde gracias al sistema de válvulas se controla el flujo para cloración. Esta etapa de desinfección se efectúa con cloro gaseoso al 99,5% v/v por medio de inyección impulsada por la presión de la bala de cloro. Adicionalmente, la planta cuenta con un sistema de dosificación de hipoclorito de calcio granulado (65% - 70%) para casos de emergencia; este proceso se realiza en un tanque subterráneo de 70 m³. Una vez desinfectada, el agua se dirige al tanque de almacenamiento con capacidad de 750 m³, como se aprecia en la Figura 5 para su posterior distribución en el municipio.

Figura 5

Tanque de almacenamiento de agua potable

**5.3 Equipos e Insumos****5.3.1 Equipos**

La infraestructura técnica y los instrumentos de control necesarios para el proceso de tratamiento de agua se resume en la Tabla 1. Allí se muestra su función operativa y la etapa del proceso donde intervienen. Los equipos más relevantes de la planta son las unidades de bombeo usadas para el transporte interno del agua, los sistemas de dosificación de químicos y los equipos de laboratorio. Dada la importancia de la manipulación de estos elementos, se recopilieron los respectivos manuales de usuario de estos equipos, los cuales brindan información técnica, de mantenimiento y de soporte técnico y pueden accederse por medio del Apéndice B.

Tabla 1*Equipos utilizados en la PTAP de Charalá*

Equipo	Función	Etapa
Bomba dosificadora	Liberar gradualmente el compuesto coagulante	Mezcla Rápida (canaleta Parshall)
Bombas centrífugas	Llenar el tanque de retrolavado	Filtración
Medidor de pH y conductividad	Medir pH del agua cruda y monitorear la calidad química del agua.	Coagulación-floculación y almacenamiento
Medidor de turbidez	Medir la cantidad de sólidos suspendidos en el agua	Coagulación-floculación y almacenamiento
Medidor de color	Cuantificar la intensidad del color en el agua causada por sustancias disueltas	Coagulación-floculación y almacenamiento
Medidor de flujo	Medir velocidad de entrada a planta	Captación
Prueba de jarras	Determinar la dosis óptima de coagulante	Coagulación-floculación
Balanza	Garantizar la dosificación precisa de reactivos químicos	Coagulación-floculación

5.3.2 Materias primas

Los insumos químicos utilizados en la PTAP son parte vital para la remoción de las impurezas que contiene el agua y su desinfección, por ende, su correcta dosificación y manejo resulta fundamental. A continuación, se presentan los insumos actualmente utilizados junto con su función principal y la etapa del proceso en la que intervienen.

Tabla 2*Insumos utilizados en la PTAP de Charalá*

Insumo	Función	Etapa
Sulfato de Aluminio	Favorecer coagulación	Mezcla Rápida (canaleta Parshall)
Policloruro de Aluminio (PAC)	Favorecer coagulación	Mezcla Rápida (canaleta Parshall)
Hipoclorito de Calcio	Desinfectar	Cloración/Desinfección
Cloro Gaseoso	Desinfectar	Cloración/Desinfección
Hidróxido de Calcio	Ajustar pH	Coagulación-floculación
Hidróxido de Sodio	Ajustar pH	Coagulación-floculación
ACPM	Combustible	Planta Eléctrica
Ácido Sulfúrico	Ajustar pH	Coagulación-floculación
Metil Naranja	Medir alcalinidad	Coagulación-floculación
Rojo de Fenol	Ajustar pH	Coagulación-floculación

5.3.3 Fichas técnicas

Con el fin de estandarizar la operación y brindar una herramienta que permita usar correctamente los equipos, se adjuntaron las fichas técnicas del fabricante las cuales contienen información relevante como condiciones de operación, rangos de trabajo, mantenimiento y condiciones de seguridad (ver Apéndice C).

5.3.4 Protocolos de medición

Los protocolos de medición establecidos en esta sección tienen el objetivo de monitorear el comportamiento de las variables de proceso definiendo el paso a paso de cómo deben hacerse las mediciones y calibraciones de los equipos. Además, estos protocolos se complementan con una ayuda gráfica tipo póster que sirve para facilitar estos procesos en planta, para su consulta se recomienda dirigirse al Apéndice D del presente documento.

5.4 Variables operativas, monitoreo y gestión de insumos

5.4.1 Variables de operación

Dosis de coagulante

Esta es una de las variables de operación más críticas en el proceso de potabilización y consiste en determinar la dosis necesaria de coagulante (compuesto químico que desestabiliza las cargas de las partículas en suspensión que causan turbidez en el agua cruda) para reducir la turbidez hasta un valor aceptable para el consumo humano de 2 NTU o menos (*Minvivienda, 2007*).

La cantidad de coagulante (que en el caso de la PTAP de Charalá se trata de sulfato de aluminio), que se debe añadir se obtiene por medio de un ensayo de jarras en el cual se prueban diferentes dosis de coagulante hasta encontrar una óptima que permite configurar dosificación por medio de una bomba para suministrar la cantidad necesaria directamente en la canaleta Parshall

(por medio de diluciones con concentraciones entre el 1 a 6%) (*Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015*), la responsabilidad de esta labor recaerá sobre el operario de turno y el jefe de planta.

Dosis de alcalinizante

Esta variable de operación resulta importante para garantizar el funcionamiento del compuesto coagulante manteniendo el pH en el rango óptimo de operación, el cual es de entre 6-8. En la planta de tratamiento de agua potable de Charalá se realiza una prueba de colorimetría con metil naranja para determinar la alcalinidad del agua de entrada y con ello realizar el cálculo de la dosis de NaOH que es pertinente agregar al proceso, esta labor es responsabilidad del operario de turno y el jefe de planta.

Dosis de cloro

Esta variable de operación es fundamental ya que controla la desinfección del agua tratada asegurando su calidad. En la PTAP de Charalá se utilizan principalmente dos tipos de cloro para la etapa de desinfección: cloro gaseoso e hipoclorito de sodio, su ajuste se hace con el flujo de solución de hipoclorito o la aspersión de cloro gaseoso en el tanque de cloración. La evaluación de esta variable es responsabilidad del operario y el jefe de planta.

Frecuencia de lavado

Esta variable de operación resulta importante para garantizar el correcto funcionamiento de la planta al mantener la estructura libre de algas o suciedad que entorpezcan el proceso de potabilización. La frecuencia de lavado va a depender de la estructura, por ejemplo, los sedimentadores se recomienda lavarlos una vez al mes con purga de lodos diaria; los tanques de almacenamiento cada 6 meses y los filtros diariamente o cuando se note necesidad de hacerlo. Esta labor le corresponde al jefe de turno quien debe disponer de personal preparado para la labor (*Anorí S.A. E.S.P., 2021*).

5.4.2 Variables de monitoreo

Caudal de entrada

Esta variable de monitoreo es fundamental ya que de esta depende el flujo de agente coagulante que se debe adicionar al proceso, esta variable es principalmente afectada por la demanda y de la disponibilidad de agua en la bocatoma. En la planta se cuenta con un caudalímetro que permite conocer la velocidad del fluido y el caudal es calculado con el nivel y las medidas de la canaleta que recibe el agua cruda, esta labor es encargada al operario de turno.

Conductividad

Monitorear la conductividad es fundamental ya que es una medida indirecta de la cantidad de sólidos disueltos. Cambios en esta variable influyen directamente en la calidad del agua y por ende puede representar fallas en el proceso; según la normativa nacional, el valor máximo permisible de conductividad es de 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (*Minvivienda, 2007*).

En planta se cuenta con un equipo de laboratorio capaz de medir la conductividad del agua y la responsabilidad de su monitoreo recae en el operario de planta, su frecuencia de medición se recomienda cada vez que se realice la prueba de jarras, cuando se noten cambios en las condiciones de operación y preferentemente de forma diaria con bastante regularidad.

Tamaño de flóculo

Esta variable de monitoreo permite diagnosticar el estado del proceso de forma visual en tiempo real por parte del operario; para su evaluación se debe tomar una muestra de agua en la zona de floculación (mezcla lenta) y posteriormente diagnosticarla por medio de la escala de Willcomb (*Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015*).

Color aparente del agua tratada

Esta variable permite principalmente conocer si el agua tratada cumple con los requerimientos de calidad de 15 UPC como máximo (*Minvivienda, 2007*). Su evaluación es responsabilidad del operario y se hace por medio de un medidor de color el cual se encuentra en el laboratorio de la planta y arroja el valor directo de turbiedad en UPC. Esta medición se debe hacer cada vez que se realice la prueba de jarras entre 20-30 minutos después de modificada la dosis óptima de compuesto coagulante (*World Health Organization, 2022*).

Turbiedad del agua tratada

Esta variable de monitoreo permite asegurar que la calidad del agua de servicio cumple la especificación normativa de 2 NTU o menos (*Minvivienda, 2007*). Su evaluación es responsabilidad del operario y se hace por medio de una muestra tomada del tanque de distribución y analizada en el turbidímetro del laboratorio de la planta.

Sabor y olor del agua tratada

Esta variable de monitoreo permite asegurar que la calidad del agua que se brinda como servicio cumple la especificación normativa con un olor y sabor aceptables (*Minvivienda, 2007*). Su evaluación es responsabilidad del operario y se hace por medio de una muestra tomada del tanque de distribución y analizada de forma sensorial con el gusto y olfato.

Cloro residual del agua tratada

Esta variable de monitoreo es clave para garantizar la efectividad del proceso de desinfección y la calidad del agua para consumo humano, el valor de esta variable debe estar entre 0,3 y 2,0 mg/L (*Minvivienda, 2007*). La medición de cloro es responsabilidad del operario de turno

y el jefe de planta y se hace con una muestra de agua que se toma del tanque de almacenamiento cada 2 a 4 horas (*World Health Organization, 2022*).

Nivel del tanque de salida

Al controlar esta variable, se cuantificar la disponibilidad de agua de servicio con la que cuenta la planta y se puede determinar si se requiere aumentar el caudal de agua cruda. Su evaluación es de tipo visual por parte del operario, para ello la planta cuenta con un balón flotador que indica el nivel en el tanque de almacenamiento lo que permite calcular el volumen de agua disponible.

Color real del agua tratada

Esta variable permite principalmente conocer si el agua tratada se encuentra dentro de los límites de tratabilidad exigidos por la norma de 15 UPC como máximo (*Minvivienda, 2007*). Su evaluación es responsabilidad del operario y se hace por medio de un medidor de color el cual se encuentra en el laboratorio de la planta y arroja el valor directo de turbiedad en UPC, esta medición se debe hacer cada vez que se realice la prueba de jarras.

5.4.3 Variables asociadas a la materia prima

Turbiedad del Agua Cruda

Esta variable permite determinar si el agua cruda se encuentra dentro de los límites de tratabilidad y es la base que permite definir las posibles dosis de coagulante que se van a analizar mediante el ensayo de jarras. Su evaluación es responsabilidad del operario y se hace por medio de un Turbidímetro el cual se encuentra en el laboratorio de la planta y arroja el valor directo de turbiedad en NTU.

pH del Agua Cruda

Esta variable permite dimensionar que tan alejada está el agua cruda de las condiciones óptimas de operación para el compuesto coagulante y justificar la adición o no de un compuesto alcalinizante. Esta labor es responsabilidad del operario de turno, hace parte de los procedimientos de laboratorio y se debe hacer cada vez que se realice el ensayo de jarras.

Conductividad del Agua Cruda

El control de la conductividad es clave para un buen manejo de los reactivos químicos. Actualmente en planta esta variable es un indicador de la calidad con la que llega el agua cruda, es decir, es la que permite al operario dosificar de manera más precisa los reactivos usados en etapas de coagulación o en procedimientos de ajuste de pH.

Realizar su seguimiento no solo mejora la eficiencia del proceso, si no que reduce costos operativos y minimiza impactos negativos por uso inadecuado de insumos químicos. Esta labor es responsabilidad del operario de turno, hace parte de los procedimientos de laboratorio y se debe hacer cada vez que se realice el ensayo de jarras.

Pureza de los Químicos

Esta variable permite corregir los cálculos de los químicos utilizados ya que influye en la eficiencia del proceso al determinar la cantidad real de sustancia activa disponible para las reacciones de coagulación y desinfección. Esta labor es responsabilidad del operario, este deberá revisar la pureza que ofrece el vendedor cada vez que se adquiere producto.

5.5 Procedimientos operacionales transitorios

5.5.1 Procedimiento de arranque de planta

El procedimiento de arranque de la PTAP de Charalá consiste en una serie de actividades orientadas a iniciar el proceso de potabilización de la planta desde cero. En primer lugar, se

comprueba la disponibilidad de recursos esenciales para el funcionamiento (energía eléctrica, caudal de agua suficiente, insumos químicos y equipos de laboratorio funcionando); luego se realiza la inspección y limpieza de la infraestructura e instrumentos para posteriormente dar paso a la activación de sistemas como la dosificación de cloro, la estabilización del proceso y reacondicionamiento de las variables de operación. Por último, se deberá registrar los procedimientos realizados, el seguimiento a las variables de operación y cualquier otra novedad (ver paso a paso en [Apéndice E.1](#)).

5.5.2 Procedimiento de frenado de planta

El procedimiento de frenado de la PTAP de Charalá se activa ante eventos críticos como fallas en equipos y emergencias químicas o climáticas con el fin de detener la operación de manera segura. Inicialmente, se cierra la válvula de alimentación de agua cruda y distribución, luego se asegura la protección del personal mediante evacuaciones o controles de sustancias químicas (según sea el caso). Finalmente, se evalúa el inventario de agua de servicio disponible y se comunica a las autoridades pertinentes sobre posibles limitaciones en la prestación del servicio. Superada la contingencia se deberá registrar el evento incluyendo su duración, causa raíz y las acciones correctivas o preventivas implementadas para luego activar el procedimiento de arranque en la planta (ver paso a paso en [Apéndice E.2](#)).

5.5.3 Procedimientos para cambios operativos

5.5.3.1 Procedimiento ante al aumento repentino de turbiedad en el agua cruda

El procedimiento de actuación ante el aumento repentino de la turbiedad en el agua cruda se activa cuando los valores de entrada superan los rangos normales o de diseño, cuando hay cambios visibles en la coloración y/o sólidos en suspensión. El primer paso es registrar el suceso y realizar un aprueba de jarras para determinar la dosis óptima de coagulante. Paralelamente se

recomienda aumentar la frecuencia de lavado del desarenador para evitar arrastrar sólidos hacia los filtros. Finalmente, se deberá hacer una evaluación de variables de monitoreo y corrección de variables de operación hasta volver al rango normal de trabajo documentando toda esta información en las respectivas bitácoras de trabajo e informando al jefe de planta (ver paso a paso en [Apéndice E.3](#)).

5.5.3.2 Procedimiento ante la formación deficiente de flóculos

Al evidenciar una formación deficiente de flóculos, el primer paso es verificar el estado y dosificación del coagulante, luego se evalúan las variables de monitoreo y se ajustan las variables de operación, asimismo, se recomienda monitorear la formación de flóculos en las diferentes unidades de proceso para confirmar el crecimiento progresivo de los flocs, en caso de no obtener resultados reiniciar el protocolo e informar al jefe de planta (ver paso a paso en [Apéndice E.4](#)).

5.5.3.3 Procedimiento ante el arrastre de sólidos desde sedimentación hacia filtros

Este procedimiento se activa cuando en planta un operario nota una turbiedad elevada y ciclo de filtración inusualmente corto. Para confirmar el suceso, se debe: confirmar los valores de turbiedad a la salida del sedimentador, verificar el estado de la unidad de sedimentación, ajustar la dosis de coagulante, aumentar el monitoreo de turbiedad en las unidades de filtración y sedimentación. Si el problema persiste, se debe repetir el proceso e informar al jefe de planta (ver [Apéndice E.5](#)).

5.5.3.4 Procedimiento ante filtros colmatados o pérdida de capacidad de filtración

Este procedimiento se activa en el momento en que un operario identifica ciclos de filtración muy cortos, una disminución del caudal o aumento de la turbiedad de salida. Al identificar estos eventos el operario deberá: hacer la limpieza del filtro, monitorear la calidad del

agua que sale del sedimentador, ajustar los procesos de coagulación (si es necesario), verificar las características del filtro (toberas, granulometría y altura del filtro) y registrar el suceso junto con las estrategias correctivas implementada. En caso de no obtener resultados repetir el procedimiento y dar aviso al jefe de planta (ver [Apéndice E.6](#)).

5.5.3.5 Procedimiento ante aumento de turbiedad en el agua filtrada

Se propone el procedimiento de actuación en caso de notarse aumento en la turbiedad del agua de servicio, el cual consta de la revisión de las condiciones y estado de la unidad de proceso, así como del equipo de medición. De manera complementaria, se recomienda evaluar la calidad del agua de entrada al filtro, ajustando los procesos de coagulación, floculación y sedimentación si es necesario. Si la turbiedad del agua filtrada persiste, se debe retirar el filtro de operación y realizar una inspección detallada, registrar el suceso y avisar al jefe de planta (ver [Apéndice E.7](#)).

5.5.3.6 Procedimientos ante problemas en la dosificación de cloro

El procedimiento de actuación ante una dosificación deficiente o excesiva en la etapa de cloración inicia con la medición del cloro residual, luego, se revisa el estado de la solución de cloro (concentraciones, condiciones del reactivo, fecha de preparación) y el correcto funcionamiento del sistema dosificación. Teniendo en cuenta los resultados de los pasos anteriores, se ajusta gradualmente el caudal de dosificación y se registra el suceso en la bitácora de trabajo (ver [Apéndice E.8](#)).

5.5.3.7 Procedimientos ante parámetros de calidad del agua fuera de especificación.

Se propone el procedimiento de actuación en caso de notarse desvíos en los parámetros de calidad del agua tratada (pH, conductividad, color, olor, sabor). Se brindan indicadores del evento como color y sabor inusual, conductividad o pH fuera de rango. En primer lugar, se confirman las

mediciones mediante equipos debidamente calibrados para descartar errores analíticos. Posteriormente, se revisa la operación de todas las unidades de tratamiento, haciendo especial énfasis en la dosificación de productos químicos. Finalmente se analizan causas externas como lluvias o intervenciones aguas arriba, se aumenta la frecuencia de muestreo y se crea un reporte del sucedido, si no se obtienen los resultados esperados se reporta el evento al jefe de planta (ver [Apéndice E.9](#)).

5.6 Procedimientos para situaciones previstas

5.6.1 Procedimientos ante fallas en estructuras y equipos

Se propone el protocolo de actuación en caso de notarse fallas en las unidades de operación que causen mal funcionamientos de la planta como grietas, corrosión o fugas. Se proporciona una solución como una serie de pasos que constan de evaluar la criticidad del evento, generar el reporte y notificar al jefe de planta (ver [Apéndice F.1](#)).

5.6.2 Procedimiento ante terremotos

Se propone el protocolo de actuación en caso de presentarse sismos en la planta. Se proporciona una solución como una serie de pasos a seguir en caso del evento que consta de suspender actividades, aplicar protocolos de seguridad, evaluar los daños posteriores al evento y reportar el suceso (ver [Apéndice F.2](#)).

5.6.3 Procedimiento ante incendios

Se propone el protocolo de actuación en caso de notar la presencia de llamas, humo u olor a quemado. Se proporciona la solución como una serie de pasos a seguir en caso de que se presente el suceso que constan de confirmar el suceso e identificar el área donde este se gesta, evaluar la criticidad de este y tratar de detenerlo en la medida de lo posible (ver [Apéndice F.3](#)).

5.6.4 Procedimiento ante escapes de cloro y químicos peligrosos

Se propone el protocolo de actuación en caso de presenciar fugas de cloro por medio de olor a gas cloro o por presenciar humo en la zona de almacenamiento o en la caseta de cloración. Se proporciona la solución como una serie de pasos a seguir que constan de vestir los elementos de protección personal, identificar daño y origen del suceso y proceder a la corrección del evento, realizar su registro e informar sobre los daños al jefe de planta (ver [Apéndice F.4](#)).

5.6.5 Procedimiento ante vendavales, tormentas eléctricas y granizadas

Se propone el protocolo de actuación ante eventos climáticos extremos. Se proporciona una solución como una serie de pasos a seguir que consta de asegurar los insumos, suspender actividades operativas y evaluar los daños una vez finalizado el suceso (ver [Apéndice F.5](#)).

5.6.6 Procedimiento ante deslizamientos en planta y/o sus alrededores

Se propone el protocolo de actuación en caso de notar grietas en el suelo, movimiento de suelos o alteraciones muy bruscas en la turbiedad del agua de suministro. Se proporciona la solución como una serie de pasos a seguir que constan de identificar el suceso, reportarlo y asegurar la integridad del personal y la operación (ver [Apéndice F.6](#)).

5.6.7 Procedimiento ante época de sequía

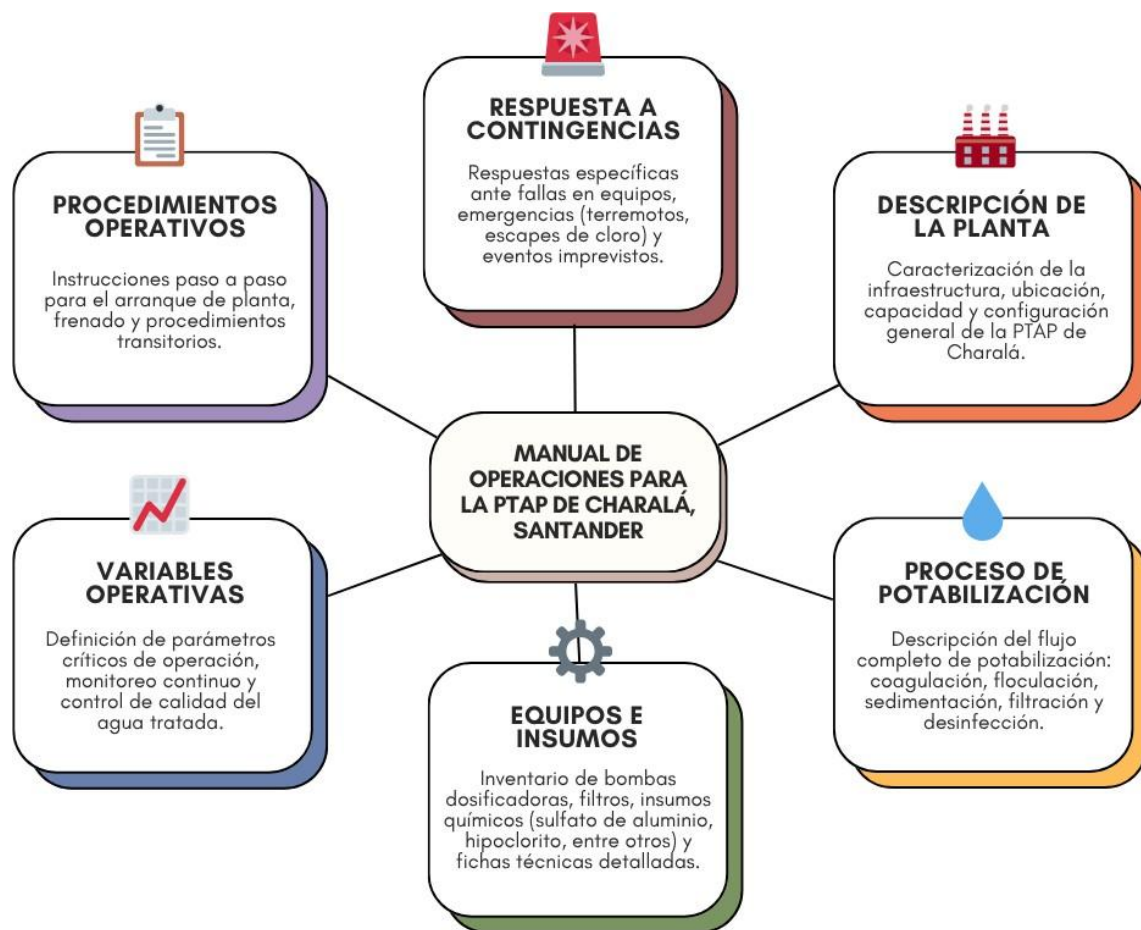
Se propone el protocolo de actuación a ante época de verano o en caso de que la fuente de suministro principal de la planta no tenga la capacidad de abastecer la demanda mínima de la planta. Se proporciona la solución como una serie de pasos a seguir que se basan en evaluar la viabilidad de la nueva fuente y hacer un cambio controlado a esta, estabilizar el proceso y garantizar la continuidad y calidad del servicio (ver [Apéndice F.7](#)).

5.7 Resumen del manual

La Figura 6 es una representación gráfica del manual de operaciones que describe de manera general todos los elementos diferenciales desarrollados en este trabajo y que hacen de este documento una herramienta de conocimiento práctica para el desarrollo de las actividades diarias del operador.

Figura 6

Manual de Operaciones de la PTAP de Charalá



Como principal característica diferencial de este manual se encuentra la creación de protocolos de medición de tipo gráficos y guías paso a paso para las variables más importantes de

la planta: pH, turbidez, color, alcalinidad y conductividad, y la elaboración de procedimientos de solución a eventos específicos como el arranque y frenado de la planta, así como contingencias que allí se puedan presentar. Estos recursos pretenden no solo optimizar el control de variables críticas sino también introducir conceptos complejos de una manera didáctica.

Asimismo, con la información recolectada y los formatos preexistentes se realizó una actualización de las bitácoras de trabajo mediante la incorporación de formatos de actividades de tratamiento, control de material de potabilización y un formato físico y digital que combina los dos formatos anteriormente mencionados con el fin de promover en la PTAP de Charalá la transición de una base de datos tradicional a una alojada en la nube que permita la trazabilidad de procesos en planta.

6 Conclusiones

La revisión bibliográfica permitió exponer los fundamentos del tratamiento de agua potable y puntualizar los principios de acción que intervienen en cada proceso, lo que permitió contextualizar el panorama operacional de una Planta de Tratamiento de Agua Potable. Además, se revisó la normativa vigente, manuales de referencia y trabajos de grado relacionados para delimitar el contenido de un manual de operaciones para una Planta de Tratamiento de Agua Potable. En conjunto, esto permite actualizar el estado del desarrollo de estrategias para la elaboración de manuales de operación, particularmente asociados a las Plantas de Tratamiento de Agua Potable.

Se realizó la recopilación de fotos, videos, audios, manuales, fichas técnicas, formularios, entrevistas y testimonios que permitieron caracterizar la configuración de la planta y sus principales necesidades operacionales, identificando variables de operación, monitoreo y materia

prima para la elaboración de procedimientos claros de arranque, frenado y atención a eventos previstos e imprevistos que pueden ocurrir en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Charalá. Adicionalmente, se brindaron formatos de registro y protocolos de medición complementados con herramientas visuales que hacen del manual una herramienta didáctica y de apoyo para el personal operativo con el propósito de reducir los tiempos de capacitación, contribuir a la mejora del servicio y brindar autonomía a la toma de decisiones en planta.

Finalmente, se filtró y organizó toda la información recopilada según los lineamientos técnicos identificados y se sintetizó en una versión preliminar del Manual de Operaciones para la Planta de Tratamiento de Agua Potable del municipio de Charalá en Santander, la cual responde a la configuración y necesidades operativas actuales de la planta. Aunque esta versión preliminar del manual presenta oportunidades de mejora, tales como la gestión de seguridad en el trabajo y del mantenimiento de equipos, el documento permite establecer una base importante para la operación y para identificar nuevas líneas de acción para generar una versión definitiva del manual.

7 Recomendaciones

Realizar un análisis de laboratorio simulando los eventos imprevistos para mejorar las estrategias de operación propuestas.

Añadir un manual de mantenimiento, con el fin de asegurar que todo el sistema funcione de manera continua, segura y eficiente.

Gestión de elementos protección personal y normas de seguridad que se deberían seguir en plantas de este tipo.

Realizar una investigación para fundamentar las pruebas de laboratorio empíricas de la planta que justifiquen la mezcla de diferentes compuestos coagulantes. Así como evaluar la necesidad de un compuesto coadyuvante para la etapa de floculación.

Corregir la instalación de algunos equipos como los módulos lamelares tipo panel en el sedimentador.

Implementar mejores estrategias de seguridad y distribución de personal con el fin de minimizar y/o evitar la materialización riesgos de las instalaciones.

Caracterizar la fuente secundaria de suministro (Rio Pienta) con el fin de evaluar la necesidad de una etapa o proceso químico adicional que permita reducir el color real del agua y garantice el cumplimiento de la norma sanitaria.

Crear una base de datos digital para la información operacional de la planta, que facilite el análisis del comportamiento de las variables para cada época del año o evento previsto.

Revisar la estrategia de tratamiento químico y, en particular, el procedimiento de inyección de agentes coagulantes con el fin de actualizar las sustancias y relaciones respecto a metodologías mucho más acordes a una planta moderna y a las demandas de las organizaciones sobre la salud.

Revisar las estrategias de monitoreo de materia orgánica en las etapas previas a la cloración con el fin de evitar reacciones que formen compuestos cancerígenos en el agua de servicio.

Referencias Bibliográficas

- AGUAS DE BARRANCABERMEJA SA ESP. (2024). *MANUAL DE OPERACIONES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE AGUAS DE BARRANCABERMEJA SA ESP.*
- Anorí S.A. E.S.P. (2021). *MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DEL MUNICIPIO DE ANORÍ.*
- AWWA. (n.d.). Water Treatment. In <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliouis-ebooks/detail.action?docID=3116750&pq-origsite=primo>.
- Caicedo, D. C. (2003). *Estudio de la Canaleta Parshall como Mezclador Rápido.* <https://Repositorio.Escuelaing.Edu.Co/Entities/Publication/6fe89187-0ef7-4b7e-96a7-F9b28b7c047e>.
- Chulluncuy Camacho, N. C. (2011). *Tratamiento de agua para consumo humano* (Vol. 29).
- Cristina, N., & Camacho, C. (2011). *Tratamiento de agua para consumo humano* (Vol. 29).
- Díaz Amaya, E. F., & Gelvez Peña, D. F. (2023). *Pretratamiento de Aguas Residuales Mediante la Construcción de un Cribado Autolimpiante.* Universidad de Santander.
- Empresa de Servicios Públicos del Meta EDESA S.A E.S.P. (2022). *Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de San Carlos (Cambulos).*
- Lozano Rivas, W. A., & Lozano Bravo, G. (2015). *Potabilización del agua Principios de diseño, control de procesos y laboratorio.* <https://Pdf82c771f54168f8729f0d35f0ece971c3.Nubereader-Pdfs.Odilo.Us/#/B34ed07e8f4146a3997472f08d73c2d3/98d9122e17b690c03d4b10b65845a81eb3a35b7df0b2d26df8046fc45f3a78b8>.
- Mendoza Gomez, M. M., & Ibañez Pinedo, W. (2006). *MÓDULO RECURSO DEL AGUA III “TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE, OPERACIÓN, PROCESOS, TALLERES Y MONITOREO” ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL.*
- Minvivienda. (2007). *Resolución 2115 de 2007.*
- Oregon Health Authority. (2022). *Basics For Small Water Systems in Oregon.*
- Sanchez Carrillo, S. E. (2021). *MANUAL DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) CONVENCIONAL DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE BOCHALEMA-NORTE DE SANTANDER.*
- Tchobanoglous, G., Burton, F., & Stensel, H. D. (n.d.). *Wastewater engineering: Treatment and reuse.* <https://www.proquest.com/Docview/221643574?ParentSessionId=TRmDECmzevMiTEZZI>

*nYNyqofZW8YYAb%2FV9gtaBtmgds%3D&pq-
Origsite=primo&accountid=29068&sourcetype=Scholarly%20Journals.*

Tidwell, Mike. (2000). *How to produce effective operations and maintenance manuals*. American Society of Civil Engineers.

Vargas, L. de. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida Manual I: Teoría. Tomo I*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS). <http://www.cepis.ops-oms.org>

World Health Organization. (2022). *Guidelines for Drinking-Water Quality*.

Apéndices

Apéndice A. Aspectos operativos del tratamiento de agua

A.1. Criterios de diseño y eficiencia para el cribado en tratamiento de aguas

Categoría	Parámetro	Rango o Valor de Diseño
Rejillas	Espaciamiento de Barrotes	Gruesas: 4 a 10 cm Medias: 2 a 4 cm Finas: 1 a 2 cm
	Velocidades de Aproximación	Máxima: 1,2 m/s (Q _{máx}) Mínima: 0,3 m/s (Q _{mín})
Tamices	Fijo inclinado	Tamaño: 0,25 - 1,5 mm Capacidad: 0,6 - 2,4 m ³ /m ² min
	Tambor rotativo	Tamaño: 0,25 - 1,5 mm Capacidad: 0,005 - 0,040 m ³ /m ² min
	Centrífugo	Tamaño: 0,010 - 0,5 mm Capacidad: 0,010 - 0,05 m ³ /m ² min
Trampas Flotantes	TRH (min)	3 (Q < 2LPS) 5 (Q > 2LPS)
	Altura mínima efectiva	0,5 m (Q < 2LPS) 1,0 m (Q > 2LPS)
	Inmersión de pantallas	0,15 - 0,30 m (Q < 2LPS) 0,30 - 0,45 m (Q > 2LPS)
	Relación A:L:H	1:2:1
	Borde libre (Q _{máx})	0,3 m
Eficiencias de Remoción	DBO ₅	0 - 15%
	DQO	0 - 10%
	SST	10 - 50%
	SSED	0 - 6%
	Grasas y aceites	0 - 40%

Datos de Rejillas, Tamices y Eficiencias adaptados de: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2017). Datos de Trampas Flotantes adaptados de: Lozano-Rivas & Lozano Bravo (2015).

A.2. Dosificadores más comunes usados en coagulación

Sustancia Química	Tipo de Dosificador	Características
En Seco	Volumétricos	De cilindro o disco rotatorio
		De tornillo
	Gravimétricos (por peso)	De cinta
		De balanza
En Solución	Gravedad	De orificio
	Volumétricos	De pistón
		De diafragma
		Peristálticos

Adaptado de Lozano-Rivas & Lozano Bravo, 2015.

A.3. Clasificación de floculadores

Tipos de Floculadores	Hidráulicos	Mecánicos
Descripción	Su mecanismo se basa en favorecer cambios de dirección en el flujo por medio de la configuración de la infraestructura.	En este tipo de floculadores la agitación es causada por un motor cuyo eje está anclado a unas paletas que pueden tener una configuración vertical u horizontal.
Configuraciones de Diseño	Pantallas Helicoidales Medio Poroso Tuberías	Paletas Turbina
Ventajas	No consumir electricidad ni necesitar repuestos o reparaciones de piezas o equipos.	Permite controlar los gradientes de mezcla en plantas de tratamiento con flujos variables.
Desventajas	Pobre flexibilidad en el control de los gradientes de mezcla en plantas con caudales variables.	Aumentan los costos operativos debido a sus gastos energéticos, de operación y mantenimiento.

Adaptado de (Mendoza Gómez & Ibáñez Pinedo, 2006) y (Lozano-Rivas & Lozano Bravo, 2015, p. 130-131).

A.4. Tipos de sedimentadores

Tipo de Sedimentador	Forma y Geometría	Carga Superficial / Tasa ($m^3/m^2/día$)	Características de flujo y operación
Flujo Horizontal	Compartimientos rectangulares con relación largo/ancho entre 4 y 8. Profundidades de 4,0 a 5,0 metros.	Bajas (20 - 60).	Tiempo de retención hidráulica (TRH) entre 2 y 4 horas.
Flujo Vertical	Unidades cilíndricas con zona de lodos cónica (pendiente de 45° a 60°).	No especificado.	Entrada de agua por el centro con flujo ascendente para permitir el descenso de lodos.
Alta Tasa	Serie de tubos (circulares, cuadrados, trapezoidales o hexagonales) o láminas planas paralelas inclinadas.	Entre 120 y 300.	El agua asciende por las celdas con flujo laminar.

Adaptado de Mendoza Gómez & Ibáñez Pinedo (2006).

Apéndice B. Manuales de usuario de los equipos

Con el fin de facilitar la identificación de los manuales se implementó un sistema de codificación donde cada código está compuesto por tres elementos, los cuales indican: [Etapa del proceso] – [Equipo] – [Número consecutivo] y sus equivalencias son: CA, coagulación y almacenamiento; M, mezcla rápida; F, filtración; CAP, captación; L, laboratorio; C, coagulación.

Código	Equipo	Fabricante	Modelo
C-JARRAS-01	Prueba de Jarras	Lovibond (Tintometer)	ET 740 – ET750
CA-FOT-01	Fotómetro	Hanna Instruments	HI 83306
CA-pH-01	Medidor de pH, conductividad eléctrica (EC) y sólidos totales disueltos (TDS)	Hanna Instruments	HI 9811-5
CA-TURB-01	Turbidímetro	Hanna Instruments	HI 98703
M-BOM-01	Bomba Dosificadora	SEKO	Tekna Evo AKS
F-BOM-02	Bomba Centrífuga	Hidrostral	ISO 2858
CAP-FLOW-01	Caudalímetro	G-Flow León Romero	AFG – AFS – AFT - AFP-AFI
L-BAL-01	Balanza	Kern	AEJ 100-4NM - AEJ 200-4NM - AEJ 200- 5NM

Para consultar los manuales visite el siguiente enlace: [Manuales de Usuario de Equipos](#)

Apéndice C. Fichas técnicas

CAS	Sustancia	Fabricante	Ubicación
10043-01-3	Sulfato de Aluminio tipo A	Productos Químicos Panamericanos S.A.	Cuarto de Dosificación
1327-41-9	Policloruro de Aluminio (PAC)	Sin datos	Almacén
7778-54-3	Hipoclorito de Calcio	SuPiscina	Almacén
7782-50-5	Cloro Gaseoso	Brinsa	Cuarto de Cloración
1305-62-0	Hidróxido de Calcio (CAL Hidratada)	Río Cal S.A.S	Almacén
1310-73-2	Hidróxido de Sodio	Sin datos	Laboratorio
668476-34-6	ACPM	Sin datos	Almacén
7664-93-9	Ácido Sulfúrico	Sin datos	Laboratorio
547-58-0	Metil Naranja	Sin datos	Laboratorio
143-74-8	Rojo de Fenol	Sin datos	Laboratorio

Para consultar las fichas técnicas visite el siguiente enlace: [Fichas Técnicas Insumos](#)

Apéndice D. Protocolos de ensayo y medición

D.1. Protocolo de la prueba de jarras

Fase 1: Preparación previa	
1. Verificar el equipo	<ul style="list-style-type: none"> • Rectificar que el floculador de jarras funciona y el tacómetro o escala de rpm es legible.
2. Recolectar la muestra	<ul style="list-style-type: none"> • Tomar agua cruda a la entrada de la PTAP, bien mezclada y representativa. • Medir turbiedad, color, pH y alcalinidad antes de la prueba.
3. Definir volúmenes y rango de dosis	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen típico: 500–1000 mL por jarra, igual en todas. • Escoger 5–6 dosis de coagulante alrededor de la dosis que normalmente usa la PTAP (por ejemplo: 20, 25, 30, 35, 40 mg/L), dejando una jarra en blanco para comparar.
4. Preparar soluciones:	1. Preparar solución de coagulante de concentración conocida para dosificar con pipeta o jeringa.
Fase 2: Montaje de las jarras	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Llenar cada jarra con el mismo volumen de agua cruda. 2. Colocar las jarras en el equipo y ajustar las paletas sin que toquen las paredes del recipiente. 3. Etiquetar cada jarra con su dosis (por ejemplo: 20, 25, 30 mg/L, etc.). 	
Fase 3: Coagulación (mezcla rápida)	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Ajustar la velocidad de mezcla rápida entre 100 y 300 rpm durante 1–2 minutos. 2. Encender el equipo a la velocidad de mezcla rápida (es el valor estandarizado en la PTAP). 3. Dosificar el coagulante: <ul style="list-style-type: none"> • Agregar rápidamente, casi al mismo tiempo, la dosis correspondiente en cada jarra mientras el equipo está en mezcla rápida. • Asegurarse de que el coagulante se disperse homogéneamente. 	
Fase 4: Floculación (mezcla lenta)	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Reducir la velocidad: <ul style="list-style-type: none"> • Cambia a mezcla lenta entre 20–40 rpm durante 10–20 minutos, según el tiempo real de floculación de la PTAP. 2. Observar: <ul style="list-style-type: none"> • Formación de flóculos (tamaño, compacidad). • Si se rompen (velocidad muy alta) o no se forman (dosis baja o pH inadecuado). 	
Fase 5: Sedimentación	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Detenga y retire las paletas de agitación. 2. Determine el tiempo de sedimentación contando el tiempo que tardan las partículas en asentarse en el fondo del recipiente. 3. Toma de muestras: <ol style="list-style-type: none"> a. 15 minutos contados desde que se sacan las paletas del recipiente, registre la temperatura. b. Luego, tome del recipiente de la prueba de jarras un volumen de muestra del líquido a la altura de la mitad de la profundidad del recipiente suficiente para hacer las mediciones necesarias. 4. Medir los siguientes parámetros de la muestra extraída: Color, Turbiedad, pH y Alcalinidad. 5. Repita los pasos anteriores para cada uno de los recipientes, nótese que hay procesos que puede o debe realizar de forma simultánea, como lo puede ser la medición del tiempo que tardan las partículas en asentarse en el fondo del recipiente. 	
Fase 6: Evaluación de resultados.	
<p>Selección de la dosis óptima: teniendo en cuenta los resultados de cada una de las mediciones del agua en los recipientes, la dosis que corresponde al recipiente con menos turbiedad será la escogida como dosis óptima.</p>	

D.2. Protocolo de medición de pH por método colorimétrico

Materiales
<ol style="list-style-type: none"> 1. Muestra de agua. 2. Indicador rojo de fenol. 3. Tubo o celda de medición. 4. Fotómetro o escala colorimétrica.
Procedimiento
<ol style="list-style-type: none"> 1. Tomar aproximadamente 10 mL de muestra de agua. 2. Añadir 2 gotas de rojo de fenol. 3. Mezclar suavemente. 4. Esperar unos segundos (5-10) hasta que el color se estabilice. 5. Comparar con escala de colores con una escala colorimétrica.

D.3. Protocolo para la determinación de la alcalinidad

Materiales
<ol style="list-style-type: none"> 1. Muestra de agua. 2. Indicador metil naranja. 3. Solución estándar de H₂SO₄ (Ácido Sulfúrico) al 0,02 N. 4. Pipeta. 5. Vaso de precipitado o matraz Erlenmeyer. 6. Bureta. 7. Soportes. 8. Agitador.
Preparación
<ol style="list-style-type: none"> 1. Pipetear 50 mL de la muestra en un vaso de precipitado de forma alta o en un matraz Erlenmeyer de boca angosta. 2. En el momento de descargar la muestra mantener la punta de la pipeta cerca del fondo del contenedor. 3. Llenar la bureta un poco más del máximo de la escala medible con la solución estándar de H₂SO₄ y posteriormente abrir la válvula lentamente para dejar la Bureta en el valor de 0. 4. Acondicionar el agitador y ubicarlo con la muestra debajo de la bureta.
Procedimiento
<ol style="list-style-type: none"> 1. Adicione 3 gotas de indicador metil naranja en la muestra (si esta se torna de color naranja, entonces sí existe un rango de alcalinidad al metil naranja por hallar, de lo contrario la prueba está fuera de rango y es pertinente evaluar otro método). 2. Comience el proceso de agitación. 3. Abra la válvula de la bureta lentamente y deje caer la solución estándar en la muestra gota a gota. 4. Deje el goteo, a medida que se acerque al punto de la titulación observará un cambio momentáneo en la coloración de la muestra hasta tornarse roja. 5. Una vez tornada en rojo la muestra detenga el goteo inmediatamente y tome nota del volumen de solución estándar de H₂SO₄ gastado.
Cálculos e Interpretación de Resultados

1. Para hallar la alcalinidad use la siguiente fórmula.

$$\frac{meq}{L} = \frac{A * N}{B} * 1000$$

Donde:

meq/L: son los miliequivalentes por litro proporcionales a la alcalinidad de la muestra en meq/L.

A: Volumen gastado de solución estándar de H₂SO₄ en mL.

N: Concentración de la solución estándar en Normalidad (0,02).

B: Volumen de la muestra en mL.

2. Para hallar el equivalente en CaCO₃.

$$mg/L CaCO_3 = \frac{meq}{L} * 50$$

Donde:

mg/L CaCO₃: equivalente de alcalinidad en mg/L de CaCO₃.

meq/L: miliequivalentes por litro en meq/L.

50: constante de peso equivalente que relaciona la valencia con el peso molecular del CaCO₃ en mg/meq.

D.4. Protocolo de medición de cloro

Materiales

1. Fotómetro HANNA HI83306
2. Cubetas limpias.
3. Reactivo en polvo HI93711-0 o reactivos líquidos HI93701A-T, HI93701B-T y HI93701C-T.
4. Muestra de agua.
5. Paño sin pelusa.

Toma y Preparación de la Muestra

1. Encender el equipo.
2. Presionar el botón METHOD para desplegar la cinta de opciones con los métodos disponibles.
3. Seleccione el método Cloro (Total).
4. Llene la primera cubeta con 10 mL de muestra sin tratar.
5. Introduzca la cubeta en la célula de medición y cierre la tapa.
6. Con el teclado a prueba de salpicaduras presione la opción CERO. La pantalla mostrará “-0,0-” cuando el equipo esté listo para la medición.
7. Abra la tapa y retire la cubeta de la célula de medición.

Medición Utilizando Reactivo en Polvo

1. Añada el contenido de un paquete de Reactivo indicador de cloro total HI93711-0.
2. Ponga la tapa y agite suavemente durante 20 segundos.
3. Vuelva a colocar la cubeta en el medidor y cierre la tapa.

4. Pulse Timer (Temporizador) y se mostrará en pantalla la cuenta atrás previa a la medición o como alternativa, espere 2 minutos y 30 segundos y pulse Read (Leer).
5. Cuando la cuenta atrás finalice, el instrumento realizará la lectura y mostrará los resultados en mg/L de cloro (Cl₂).

Medición Utilizando Reactivo en Líquido

1. En una cubeta vacía, añada 3 gotas del Reactivo indicador de cloro total **A HI93701A-T**, 3 gotas del Reactivo indicador de cloro total **B HI93701B-T** y 1 gota del reactivo indicador de cloro total **C HI93701C-T**. Remuévala suavemente para mezclar.
2. Añada 10 ml de muestra sin tratar (hasta la marca).
3. Ponga la tapa y agite suavemente.
4. Inserte la cubeta en el instrumento y cierre la tapa.
5. Pulse Timer (Temporizador) y se mostrará en pantalla la cuenta atrás previa a la medición o, como alternativa, espere 2 minutos y 30 segundos y pulse Read. (Leer) Cuando la cuenta atrás finalice, el instrumento realizará la lectura.
6. El instrumento muestra los resultados en mg/L de cloro (Cl₂).

D.5. Protocolo de medición de color

Materiales

1. Fotómetro HANNA HI83306
2. Cubetas limpias.
3. Agua desionizada.
4. Muestra de agua.
5. Paño sin pelusa.

Toma y Preparación de la Muestra

1. Encender el equipo.
2. Presionar el botón **METHOD** para desplegar la cinta de opciones con los métodos disponibles.
3. Seleccione el método **Color del agua**.
4. Llene la primera cubeta hasta la marca con agua desionizada y ponga la tapa, a esto se le conoce como el blanco.
5. Introduzca el blanco en la célula de medición y cierre la tapa.
6. Con el teclado a prueba de salpicaduras presione la opción **CERO**. La pantalla mostrará “-0,0-” cuando el equipo esté listo para la medición.
7. Abra la tapa y retire el blanco de la célula de medición.

Medición

1. Prepare la muestra con el agua a la cual desea medir el color y ponga la tapa, si es del agua cruda se denomina color aparente y si es agua tratada color real.
2. Introduzca la cubeta de la muestra en la célula de medición y cierre la tapa.
3. Con el teclado a prueba de salpicaduras presione la opción **LEER**. La pantalla mostrará el valor del color, sea aparente o real, en Unidades de Platino Cobalto **PCU**.

D.6. Protocolo de medición de turbidez

Condiciones Previas y Verificación del Equipo

1. Verificar que el turbidímetro esté limpio externamente y sin polvo ni humedad en el compartimiento de la celda.
2. Encender el equipo y dejarlo estabilizar el tiempo recomendado por el fabricante.
3. Revisar que las baterías o la fuente de alimentación tenga carga suficiente.
4. Realizar la verificación de calibración:
 - 4.1 Mezclar suavemente el vial estándar (frascos donde van las muestras), sin agitar bruscamente.
 - 4.2 Limpiar el exterior del vial con paño sin pelusa y, si aplica, una fina capa de aceite de silicona.
 - 4.3 Insertar el vial siguiendo la marca de alineación y leer.
 - 4.4 Si la lectura se sale del rango de tolerancia especificado por el fabricante, ejecutar la rutina completa de calibración según el manual del equipo.

Toma y Preparación de la Muestra

1. Enjuagar el frasco de muestreo tres veces con el agua a analizar antes de tomar la muestra definitiva.
2. Llenar el frasco suavemente, evitando la formación de burbujas de aire y sin arrastrar sedimentos del fondo o paredes de la canaleta o tubería.
3. Cerrar el frasco inmediatamente para evitar contaminación externa.
4. Identificar el frasco con: punto de muestreo, fecha, hora y nombre del operario.
5. Transportar la muestra al sitio de medición protegiéndola de la luz directa y sin agitarla en exceso.
6. Medir la turbidez en los primeros 15–30 minutos después de la toma, para minimizar cambios por sedimentación o floculación.

Preparación de la Celda de Medición

1. Mezclar suavemente el frasco de muestra invirtiéndolo una o dos veces, sin agitar fuerte ni producir espuma, para homogeneizar sin romper flóculos.
2. Enjuagar la celda de medición con una pequeña porción de la muestra (opcional pero recomendado cuando la celda está seca).
3. Llenar la celda hasta la marca indicada (generalmente alrededor del 90% de su volumen), evitando burbujas.
4. Colocar la tapa firmemente para que no entre polvo ni se derrame la muestra.
5. Limpiar el exterior de la celda con el paño sin pelusa hasta que quede seco y sin huellas ni gotas de agua.

6. Para muestras de baja turbidez (< 5 NTU), aplicar una pequeña gota de aceite de silicona en el exterior de la celda y pulir con el paño hasta que no se vea aceite, solo una superficie brillante uniforme. Esto reduce el efecto de micro-rayones en el vidrio y lecturas erróneas.

Interpretación de Resultados

Agua Cruda: puede presentar turbideces altas. La turbidez en este punto se usa para ajustar dosis de coagulante y tiempo de mezcla según los procedimientos de la planta.

Agua a la salida de filtros y agua tratada: los valores deben ser bajos y estables en el tiempo. En Colombia, la turbidez del agua para consumo humano no debe sobrepasar 2 UNT en la red de distribución según la Resolución 2115 de 2007; si se presentan valores crecientes de turbidez en la salida de filtros o en el agua tratada, son una señal de alarma de problemas en coagulación, sedimentación o filtración y deben investigarse de inmediato.

Apéndice E. Procedimientos operativos para casos transitorios**E.1. Procedimiento de Arranque de la Planta**

Procedimiento de Arranque	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Comprobar la disponibilidad de energía eléctrica, caudal suficiente de agua cruda, insumos químicos y disponibilidad de equipo de laboratorio básico. 2. Realizar una inspección y limpieza general de todas las unidades con el fin de eliminar residuos y cualquier material extraño. 3. Verificar el estado de válvulas, compuertas, reboses y drenajes. (revisar que los desagües estén cerrados antes del llenado) 4. Iniciar el llenado de la línea de aducción lentamente hasta su llegada al desarenador (solo ingresar entre el 30-50% del caudal de diseño para estabilizar el flujo de agua en la planta). 5. Mientras ocurre la estabilización del flujo agua se recomienda realizar uno o varios retrolavados para eliminar partículas pequeñas y aire atrapado del medio filtrante. 6. Una vez estabilizado el flujo, abrir válvula de entrada de agua a la planta y llenar lentamente las unidades de proceso. 7. Preparar y calibrar la dosificación química conforme los resultados arrojados por la prueba de jarras. 8. Ya con la dosis optima de coagulante establecida, encender la bomba dosificadora. 9. Se recomienda purgar el agua de la etapa de estabilización de la planta. 10. Una vez estabilizado el sistema, se ajusta la dosificación de cloro en función del caudal de operación y se pone en marcha la bomba de dosificación de cloro. 11. Durante los primeros días de operación, hacer análisis frecuentes de calidad de agua antes de suministrar a la red de distribución. 12. Registrar los procedimientos efectuados, variables y novedades en la bitácora y al jefe de planta. 	

E.2. Procedimiento de Frenado de la Planta

Indicadores del Evento	Solución al Evento
<ul style="list-style-type: none"> • Corte de energía. • Falla múltiple de equipos. • Emergencias químicas • Inundaciones locales. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cerrar válvulas de agua cruda y distribución de agua al municipio. 2. Asegurar la protección de personas primero (evacuación, control de productos químicos, bloqueo de accesos peligrosos). 3. Evaluar la capacidad de almacenamiento en tanque para estimar tiempo de suministro sin producir más agua. 4. Coordinar con la entidad prestadora y autoridades locales sobre posibles restricciones de servicio. 5. Una vez superada la causa, realizar arranque controlado de la planta siguiendo el procedimiento de puesta en marcha. 6. Registrar el evento, duración, causa raíz identificada y acciones correctivas/preventivas, e informar al jefe de planta.

E.3. Procedimiento Ante al Aumento Repentino de Turbiedad en el Agua Cruda

Indicadores del Evento	Solución al Evento
<ul style="list-style-type: none"> • Turbiedad de entrada supera el rango normal o el de diseño. • Se observa agua con color, sólidos en suspensión visibles o aparición de lluvias intensas en la cuenca. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Registrar la turbiedad de entrada anormal. 2. Realizar prueba de jarras para ajustar dosis de coagulante. 3. Ajustar en planta la dosificación de coagulante según resultado de prueba de jarras, empezando con incrementos moderados. 4. Aumentar frecuencia de lavado de sedimentadores/desarenadores para evitar arrastre de sólidos a filtros. 5. Aumentar frecuencia de lavado de filtros si la turbiedad de filtrado comienza a subir debido al aumento de la turbiedad del agua cruda. 6. Si a pesar de ajustes no se logra la calidad requerida, reducir el caudal de la planta y priorizar continuidad con calidad. 7. Registrar el evento, acciones tomadas y comunicar al jefe de planta.

E.4. Procedimiento ante la Formación Deficiente de Flóculos

Indicadores del Evento	Solución al Evento
<ul style="list-style-type: none"> • Flóculos muy pequeños o casi invisibles. • Floc que se rompe fácilmente o sedimentación muy lenta. • Turbiedad alta a la salida del sedimentador 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar estado del coagulante (fecha de elaboración, almacenamiento, concentración). 2. Revisar el ajuste de dosificación en la bomba dosificadora (calibración, atascos, fugas, funcionamiento continuo). 3. Realizar prueba de jarras con el agua actual para determinar dosis óptima de coagulante y pH de coagulación. 4. Si el pH de coagulación está fuera del rango óptimo del coagulante, ajustar con ácido o base según el esquema de la planta. 5. Observar el floc en diferentes cámaras de floculación para confirmar crecimiento progresivo del tamaño. 6. Si a pesar de ajustes no se logra una formación de flóculos óptima, volver al paso 1. 7. Registrar el evento, acciones tomadas y comunicar al jefe de planta.

E.5. Procedimiento ante el Arrastre de Sólidos desde Sedimentación hacia Filtros

Indicadores del Evento	Solución al Evento
<ul style="list-style-type: none"> • Turbiedad de entrada a filtros elevada. • Acortamiento fuerte del ciclo de filtración, colmatación muy rápida. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Confirmar turbiedad a la salida del sedimentador y compararla con valores históricos o de diseño. 2. Verificar nivel de lodos en el fondo del sedimentador y, si está alto, programar descarga inmediata controlada. 3. Verificar integridad de placas, deflectores o elementos internos. 4. Ajustar dosis de coagulante y condiciones de floculación si el floc es muy ligero y no sedimenta adecuadamente. 5. Aumentar monitoreo de turbiedad en entrada y salida de filtros para controlar calidad del agua filtrada. 6. Si a pesar de ajustes se sigue observando arrastre de sólidos, volver al paso 1. 7. Registrar el evento, acciones tomadas y comunicar al jefe de planta.

E.6. Procedimiento ante filtros colmatados o pérdida de capacidad de filtración

Indicadores del Evento	Solución al Evento
<ul style="list-style-type: none"> • Ciclos de filtración muy cortos. • Disminución del caudal filtrado o aumento de turbiedad en el efluente. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar lavado de los filtros. 2. Revisar la calidad del agua cruda y del agua de sedimentación; si están fuera de rango, evaluar ajuste de coagulación y floculación. 3. Verificar que las toberas o drenes inferiores no estén obstruidos o dañados (indicadores: fluidización irregular, fuga de arena). 4. Confirmar que la granulometría y altura del medio filtrante son las especificadas de diseño; programar reposición si hay pérdida significativa. 5. Asegurar que el protocolo de retrolavado incluya lavado suficiente hasta que el agua de salida del lavado se observe clara. 6. Registrar fecha y condiciones de cada lavado para detectar tendencias anómalas en la frecuencia de colmatación. 7. Si a pesar de ajustes los filtros siguen colmatados, volver al paso 1. 8. Registrar el evento, acciones tomadas y comunicar al jefe de planta.

E.7. Procedimiento ante Aumento de Turbiedad en el Agua Filtrada

Indicadores del Evento	Solución al Evento
<ul style="list-style-type: none"> • Turbiedad de salida de filtros supera el límite operacional establecido. • Aparición de “picos” de turbiedad durante el ciclo de filtración. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar calibración y correcto funcionamiento del turbidímetro de salida de filtros. 2. Revisar la secuencia de arranque de filtro después del retrolavado (descarte inicial del agua hasta estabilizar turbiedad). 3. Evaluar si el filtro ha superado la turbiedad de salida objetivo antes de entrar en servicio. 4. Revisar que no haya ruptura de filtro (perdida de medio filtrante, fuga por toberas). 5. Evaluar la turbidez del agua de entrada al filtro; si está muy alta, revisar y corregir coagulación–floculación–sedimentación. 6. Si la turbiedad elevada persiste, retirar el filtro de servicio y programar inspección interna del medio filtrante y drenes. 7. Si a pesar de ajustes no se logra turbidez óptima, volver al paso 1. 8. 9. Registrar el evento, acciones tomadas y comunicar al jefe de planta.

E.8. Procedimiento ante Problemas de Dosificación de Cloro

Indicadores del Evento	Solución al Evento
<ul style="list-style-type: none"> • Cloro residual libre en red o en tanque de salida fuera del rango objetivo. • Olor y sabor a cloro excesivo o ausencia de desinfectante residual. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar medición de cloro residual con equipo de campo u otro método validado en la PTAP y comparar con registros. 2. Revisar nivel de solución de cloro, fecha de preparación, concentración y estado del gas o hipoclorito. 3. Inspeccionar el dosificador de cloro (bombas dosificadoras, válvulas, líneas de succión y descarga) en busca de fugas, obstrucciones o aire. 4. Ajustar caudal de dosificación según cloro residual objetivo en el agua tratada. 5. En caso de sobredosificación, reducir la dosificación gradualmente y purgar líneas si es necesario, monitoreando cloro residual con mayor frecuencia. 6. Aplicar las normas de seguridad con cloro (ventilación, elementos de protección personal). 7. Si a pesar de ajustes persisten los problemas en la cloración, volver al paso 1. 8. Registrar el evento, acciones tomadas y comunicar al jefe de planta.

E.9. Procedimiento ante Parámetros de Calidad del Agua Tratada Fuera de Especificación (pH, conductividad, color, olor, sabor)

Indicadores del Evento	Solución al Evento
<ul style="list-style-type: none"> • Color, olor o sabor inusual percibido por operadores o usuarios. • Conductividad fuera de rango. • pH fuera del rango aceptable para agua potable. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Confirmar la medición con equipos calibrados (pH-metro, colorímetro, etc.). 2. Revisar operación de todas las unidades de tratamiento, con énfasis en dosificación química (coagulantes, alcalinizantes, oxidantes). 3. Ajustar dosificación de químicos para llevar pH y otros parámetros al rango objetivo, preferiblemente con soporte de pruebas de laboratorio. 4. Identificar cambios recientes en la fuente (descargas, lluvias, obras aguas arriba) mediante revisión de registros y reportes. 5. Si hay riesgo sanitario (olor a hidrocarburos, sabor metálico intenso, etc.), evaluar la necesidad de restringir o suspender suministro según protocolos. 6. Incrementar la frecuencia de muestreo en planta y red hasta estabilizar las condiciones. 7. Si a pesar de ajustes persisten los parámetros fuera de rango, volver al paso 1. 8. Registrar el evento, acciones tomadas y comunicar al jefe de planta.

Apéndice F. Procedimientos operativos para situaciones previstas**F.1. Procedimiento Ante Fallas en Estructuras y Equipos****Solución al Evento**

1. Notificar al jefe de turno.
2. Evaluar la posibilidad de aislar el equipo y continuar operando.
3. Si no es posible aislar el equipo detener la operación de la planta.
4. De no ser un equipo crítico, aislarlo para su pronta reparación y continuar la operación.

F.2. Procedimiento ante terremotos**Solución al Evento**

1. Suspender actividades operativas inmediatamente.
2. Aplicar protocolo “Agacharse – Cubrirse – Sujetarse”.
3. Alejarse de: tanques elevados, estructuras metálicas, tableros eléctricos y equipos presurizados.
4. No evacuar mientras el movimiento sísmico esté activo (salvo riesgo inminente).
5. Finalizado el movimiento sísmico evaluar el estado del personal.
6. Evaluar el estado de la infraestructura:
 - Tanques de almacenamiento (fisuras, fugas).
 - Sedimentadores (agrietamientos).
 - Floculadores.
 - Líneas de aducción y conducción.
 - Sistema de cloración.
 - Sistema de dosificación química.
 - Planta eléctrica de respaldo.

F.3. Procedimiento ante Incendios**Solución al Evento**

1. Confirmar la presencia de humo, llamas u olor a quemado.
1. Identificar la ubicación aproximada del incendio: ¿En qué parte de la planta es?
2. Notificar inmediatamente al jefe de planta y al cuerpo de bomberos.
3. Cortar suministro eléctrico (Si es seguro).
4. Utilizar el extintor adecuado (Si es seguro).
5. 6. En caso de no ser un evento controlable evacuar inmediatamente.

F.4. Procedimiento ante Escapes de Cloro y Químicos Peligrosos**Solución al Evento**

1. Buscar y vestir la máscara protectora de gases, la cual debe estar ubicada fuera de la caseta de cloración.
2. Con ayuda de amoniaco ubicar la fuga de cloro:
 9. Humedecer un trapo o hisopo con solución de amoníaco.
 10. Acercarlo lentamente a válvulas, uniones o conexiones sospechosas.

11. Si hay fuga de cloro, se formará una nube blanca visible (cloruro de amonio).
12. Marcar el punto donde se ve el fenómeno ya que ahí es la fuga.
3. Si el daño implica parar la planta, se procede con las instrucciones del procedimiento de frenado.
4. Si el daño no implica parar la planta, evaluar si la fuga es en un clorador, cambiar a los otros o si la fuga es en el cilindro de cloro, reemplazarlo.
5. Proceder a la reparación de la fuga.

F.5. Procedimiento ante Vendavales, Tormentas eléctricas y granizadas

Solución al Evento

1. Asegurar almacenamiento de químicos.
2. Suspender actividades exteriores.
3. Revisar estado de las diferentes zonas de trabajo.
4. Asegurar puertas y ventanas.
5. Alejarse de tanques elevados, estructuras livianas o andamios o cubiertas.
6. Posterior al evento revisar:
 - Estado del personal y zonas de trabajo.
 - Estado de las líneas eléctricas.
 - Estado de las estructuras metálicas.
 - Estado de las cubiertas.
 - Turbiedad del agua cruda.
 - Registrar daños o efectos en la infraestructura general.

F.6. Procedimiento ante Deslizamiento en Planta y/o sus Alrededores

Solución al Evento

1. En caso de notar la presencia de:
 - Grietas en el terreno.
 - Inclinación anormal de estructuras.
 - Ruido o movimiento de la tierra.
 - Incremento repentino en la turbiedad del agua cruda.
 Reporte a el jefe de la planta y a las autoridades.
2. Durante el evento:
 - Suspender actividades externas.
 - Evacuar las zonas cercanas a taludes.
 - No intervenir en ninguna zona comprometida o con riesgo.
3. Posterior al evento verificar el estado de:
 - Captación.
 - Integridad de las tuberías.
 - Equipos.
 - Taludes cercanos.
 - Red eléctrica.
 - Estabilidad de acceso vehicular.

F.7. Procedimiento ante época de sequia

Solución al Evento

1. Verificar la condición de la nueva fuente (río Pienta).
2. Confirmar que el caudal es menor al mínimo operativo.
3. Cambio de controlado de fuente:
 - Confirmar estado de bombas o compuertas.
 - Cerrar progresivamente captación principal.
 - Abrir válvula de fuente alterna.
 - Purgar línea si es necesario.
 - Arrancar bombeo alterno.
 - Verificar presión en línea de conducción.
4. Evaluar tratabilidad de la fuente alterna, realizar caracterización (turbiedad, pH, temperatura, color aparente) de la nueva fuente y registrar condición en bitácora.
5. Realizar prueba de jarras con agua de la nueva fuente. Determinar:
 - Nueva dosis óptima de coagulante.
 - Ajuste de alcalinizante si es necesario.
 - Registrar resultados.
6. Ajustar dosificación según prueba de jarras.
7. Incrementar frecuencia de monitoreo de variables de Turbiedad cada 30–60 min y de pH cada hora.
8. Verificar comportamiento en sedimentación y filtración.
9. El jefe de planta deberá autorizar el cambio de fuente de captación y validar ajustes de dosificación.
10. 10. Registrar en la bitácora el procedimiento.

Apéndice G. Formatos desarrollados para el control de la operación

G.1. Formulario de Google para el control de tratamiento y potabilización

Control de Tratamiento y Potabilización

Complete este formulario al final de cada turno operativo en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Charalá. Registre solo los datos numéricos y use el espacio de observaciones solo para lo esencial. Su información servirá para crear una base de datos que ayude a mejorar la operación de la planta.

* Indicates required question

Fecha de registro *

Date

mm/dd/yyyy

Hora de registro *

Time

__ : __ AM

Section 2 of 6

Datos básicos del cambio de turno ✕ ⋮

Description (optional)

Fecha de cambio de turno *

Month, day, year

Hora de cambio de turno *

Time

Operador Entrante *

Escriba el nombre completo

Long answer text

Operador Saliente *

Escriba el nombre completo

Long answer text

Section 3 of 6

Producción y calidad del agua cruda y tratada ✕ ⋮

Description (optional)

Caudal promedio de Entrada (en L/s)

Short answer text
.....

pH del Agua Cruda *

Short answer text
.....

Turbiedad del Agua Cruda (en NTU) *

NTU = Unidades Nefelométricas de Turbidez

Short answer text
.....

Alcalinidad del Agua Cruda (en mg/L) *

Short answer text
.....

Caudal Promedio de Salida (en L/s) *

Short answer text
.....

pH del Agua Tratada *

Short answer text
.....

Turbiedad del Agua Tratada (en NTU) *

NTU = Unidades Nefelométricas de Turbidez

Short answer text
.....

Cloro Residual del Agua Tratada (en mg/L) * ⋮

Short answer text
.....

Alcalinidad del Agua Tratada (en mg/L) *

Short answer text
.....

Section 4 of 6

Uso de Insumos (Materia Prima) ✕ ⋮

Sección de ingreso de información de uso de materiales para el tratamiento

Sulfato usado en el turno (en kg) *

Añada las unidades según sea el caso (sustancia sólida o en solución)

Short answer text
.....

PAC usado en el turno (en kg o L) *

Cuando el material es sólido en masa (kg) y cuando el material es líquido en volumen (L).

Short answer text
.....

Cal usada en el turno (en kg) *

Añada las unidades según sea el caso (sustancia sólida o en solución)

Short answer text
.....

Cloro usado en el turno (en kg o L) *

Cuando es cloro gaseoso en masa (kg) y cuando es hipoclorito en volumen (L).

Short answer text
.....

Section 5 of 6

Chequeo de tanques ✕ ⋮

Description (optional)

Nivel del tanque de aducción (en m³) *

Short answer text
.....

Nivel del tanque de servicio (en m³) *

Short answer text
.....

Nivel del tanque Barrio Fundadores (en m³) *

Short answer text
.....

Section 6 of 6

Estado de la planta y registro de eventos ✕ ⋮

Description (optional)

Condición del agua cruda *

Describe en que condiciones llega el agua a la planta.

Long answer text

Estado de la planta *

Describe el estado general de la planta, la planta se encuentra en estado normal, en mantenimiento, en estado crítico o en estado de emergencia.

Long answer text

¿Se hizo lavado de filtros? *

Sí

No

Si su respuesta anterior fue "Sí", ¿cuántas veces se lavaron los filtros?

Long answer text

¿Algún evento relevante u observación que quiera añadir sobre lo ocurrido durante su turno?

Long answer text

Para consultar el formato visite el siguiente enlace: [Control de Tratamiento y Potabilización](#)

G.2. Actividades de Control y Tratamiento

EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS DE CHARALA. SAS ESP							CUADRO DE CONTROL PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE						
Fecha:													
Operador Saliente:													
Hora de Ingreso:							Hora de Salida:						
Operador Entrante:													
Hora de Ingreso:							Hora de Salida:						
Análisis Físicoquímico del Agua Cruda							Análisis Físicoquímico del Agua Tratada						
	Muestra			Mínimo	Máximo	Unidades		Muestra			Mínimo	Máximo	Unidades
	1	2	3				1	2	3				
Hora				-	-	-	Hora				-	-	-
Caudal de Entrada				-	-	L/s	Caudal de Salida				-	-	L/s
pH				-	-	-	pH				6.5	9	-
Turbiedad				-	-	UNT	Turbiedad				-	2	UNT
Alcalinidad				-	-	mg/L	Alcalinidad				-	200	mg/L
Color				-	-	UPC	Color				-	15	UPC
Dureza				-	-	mg/L	Cloro Total				-	250	mg/L
Sulfato Granular	PAC			-	-	kg	Cloro Residual				0.3	2	mg/L

Firma Operario de Salida:	Firma Operario de Ingreso	Firma Jefe de Planta
---------------------------	---------------------------	----------------------

Chequeos		Unidades
Tanques	Aducción	m ³
	Servicio	m ³
	Fundado	m ³
Agua Cruda	Ph	-
	Alcalinidad	mg/L
	Turbiedad	UNT
	Color	UPC
Agua de Salida	Ph	-
	Alcalinidad	mg/L
	Turbiedad	UNT
	Cloro	mg/L

Lavado de Filtros		
Turnos		
#1	#2	#3
Hora:	Hora:	Hora:
Fecha:	Fecha:	Fecha:

N. de Vueltas
Válvula en Servicio

Observaciones:

Para consultar el formato visite el siguiente enlace: [Formatos de Control, Tratamiento e Insumos](#)

G.3. Control Material Potabilización

CONTROL MATERIAL DE POTABILIZACIÓN (PTAP)							
Fecha:			Lugar:		Planta de Tratamiento		
Operador Saliente:							
Hora Ingreso:				Hora Salida:			
Operador Entrante:							
Hora Ingreso:				Hora Salida:			
MATERIAL DISPONIBLE EN PLANTA							
Material	Unidad	Proceso Asociado	Stock Inicio Turno	Material Adicional	Cantidad Usada	Stock Final Turno	Observaciones
Sulfato	Bulto [Kg]						Sulfato de aluminio tipo A
PAC (Sólido:___ Líquido:___)	Bulto [Kg]						Policloruro de Aluminio (concentración?)
Hipoclorito (Sólido)	Caneca [Kg]						Hipoclorito de calcio granulado (65% - 70%)
Cloro	Bata [l]						Última fecha de llenado: dd - mm - aaaa
Cal	Bulto [Kg]						Cal hidratada tipo N
ACPM	[Galón]						
Gasolina	[Galón]						
OBSERVACIONES							
Evento especial:		FALSCH Lluvia FALSCH Creciente FALSCH Mantenimiento FALSCH Emergencia FALSCH N/A		Cantidad de insumos disponibles:		FALSCH Normal FALSCH Bajo FALSCH Crítico	
Condiciones del agua cruda:			¿Cambios en la dosificación?				
Acciones pendientes para el siguiente turno:							FALSCH FALSCH FALSCH FALSCH
Otras Observaciones:							
Firma Operador Entrante:							
Firma Operador Saliente:							

Para consultar el formato visite el siguiente enlace: [Formatos de Control, Tratamiento e Insumos](#)

G.4. Formato General de Insumos y Actividades de Monitoreo

EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS DE CHARALÁ. SAS ESP		CUADRO DE CONTROL PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	
Fecha:			
Operador Saliente:		Hora de Ingreso:	Hora de Salida:
Operador Entrante:		Hora de Ingreso:	Hora de Salida:
Producción y Calidad			
Ítem		Dato del Turno	
Caudal promedio de entrada (L/s)			
Caudal promedio de salida (L/s)			
pH agua tratada			
Turbiedad agua tratada (UNT)			
Alcalinidad de agua tratada (mg/L)			
Cloro residual agua tratada (mg/L)			
Turbiedad agua cruda (UNT)			
Alcalinidad del agua cruda (mg/L)			
pH agua cruda			
Consumo de Insumos			
Sulfato/PAC usados en el turno (kg)			
Cal usada en el turno (kg)			
Hipoclorito/cloro usado en el turno (kg o L)			
Estado y Eventos			
Condición agua cruda (marque con una X)		Normal / Alta turbiedad / Otra	
		Observaciones	
Estado planta (marque con una X)		Normal / Mantenimiento / Emergencia	
		Observaciones	
Lavado de filtros realizado (marque con una X)		Sí / No	
		Observaciones	
Evento relevante (redacte dicho evento)		falta / acción pendiente	
Chequeo de Tanques			
Tanque de aducción (m3)			
Tanque de servicio (m3)			
Tanque fundadores (m3)			

Para consultar el formato visite el siguiente enlace: [Formatos de Control, Tratamiento e Insumos](#)