

**Análisis de la eficiencia de la planta de tratamiento de agua potable de Empresas Públicas
Municipales de Málaga (ESPM)**

David Julián Díaz Herrera

Yurley Natalia Meléndez González

Proyecto de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Químico

Director

Profesora Luz Marina Ballesteros Rueda

Ingeniera Química, M. Sc., PhD

Codirector

Zootecnista Luis Carlos Ramírez Millán



Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2020

Tabla de Contenido

	pág.
1. Planteamiento del Problema	13
2. Objetivos	14
2.1 Objetivo General	14
2.2 Objetivos Específicos.....	15
3. Alcance	15
4. Marco Teórico.....	16
4.1 Descripción de la Empresa.....	16
4.2 Información general municipio de Málaga	16
4.3 Parámetros analizados en el laboratorio de aguas de las Empresas Públicas del Municipio de Málaga	18
4.3.1 Parámetros físicos	18
4.3.2 Parámetros químicos.....	19
4.3.3 Parámetros microbiológicos.....	21
4.4 Descripción general del sistema.....	22
4.4.1 Captaciones	23
4.4.2 Planta de tratamiento.....	24
4.4.4 Sistema de distribución	29
5. Descripción Metodológica	29
6. Análisis de Resultados	31
6.1 Resultados Fase I. Evaluar el estado actual de la PTAP, con el objeto de reconocer las	

falencias y prioridades del tratamiento	31
6.2 Resultados Fase II. Validar los procedimientos operacionales de la PTAP con el fin de adecuarlos a la normativa actual vigente	31
6.2.1 Turbiedad	38
6.2.2 Potencial de Hidrógeno (pH)	39
6.2.3 Color Real	40
6.2.4 Dureza Total.....	41
6.2.5 Cloro Residual	43
6.2.6 Hierro	44
6.2.7 Cloruros.....	45
6.2.8 Sulfatos	45
6.2.9 Nitritos	46
6.2.10 Coliformes Totales y Coliformes Fecales.....	47
6.3 Resultados Fase III. Proponer una alternativa para el mejoramiento de la calidad del agua producida por Planta de Tratamiento de Agua Potable del municipio	49
6.3.1 Opciones de mejora propuestas para la PTAP.....	49
7. Conclusiones.....	51
8. Recomendaciones	52
Referencias Bibliográficas	53
Apéndices.....	55

Lista de Tablas

	pág.
Tabla 1. <i>Fuentes superficiales de captaciones de la PTAP</i>	23
Tabla 2. <i>Datos obtenidos en muestreo dentro de la PTAP</i>	33
Tabla 3. <i>Desviaciones de los datos de muestreo dentro de la PTAP</i>	35
Tabla 4. <i>Eficiencia de remoción en cada uno de los parámetros al final del proceso de potabilización</i>	37
Tabla 5. <i>Dimensiones Floculador</i>	50
Tabla 6. <i>Concentración óptima Test de jarras</i>	50

Lista de Figuras

	pág.
<i>Figura 1.</i> Localización del Municipio de Málaga en el departamento de Santander	17
<i>Figura 2.</i> Imagen de la Planta de Tratamiento de agua potable de Málaga.....	24
<i>Figura 3.</i> Esquema general de la PTAP.....	25
<i>Figura 4.</i> Imagen de la Cámara de quietamiento PTAP.	25
<i>Figura 5.</i> Imagen de las Escaleras de oxigenación de la PTAP.	26
<i>Figura 6.</i> Imagen de los Pre-filtros en la PTAP	26
<i>Figura 7.</i> Imagen de los Filtros rápidos de la PTAP	27
<i>Figura 8.</i> Imagen de los Tanques de almacenamiento	28
<i>Figura 9.</i> Imagen caseta de cloración	28
<i>Figura 10.</i> Imagen Tanques de distribución	28
<i>Figura 11.</i> Análisis del parámetro de turbiedad a lo largo de las áreas de la PTAP de ESPM	38
<i>Figura 12.</i> Análisis de la cantidad de pH a lo largo de las áreas de la PTAP de ESPM	40
<i>Figura 13.</i> Análisis de Color Real a lo largo de las áreas de la PTAP de ESPM.....	40
<i>Figura 14.</i> Dureza Total en todas las áreas de la PTAP de ESPM.....	42
<i>Figura 15.</i> Cantidad de cloro Residual a lo largo de las áreas de la PTAP de ESPM.....	43
<i>Figura 16.</i> Hierro presente en las áreas de la PTAP de ESPM.....	44
<i>Figura 17.</i> Cantidad de Cloruros a lo largo de las áreas de la PTAP de ESPM.....	45
<i>Figura 18.</i> Cantidad de Sulfatos a lo largo de las áreas de la PTAP de ESPM.....	46
<i>Figura 19.</i> Cantidad de Nitritos a lo largo de las áreas de la PTAP de ESPM.....	46
<i>Figura 20.</i> Cantidad de Coliformes Totales y Fecales a lo largo de las áreas de la PTAP de	

ESPM 47

Figura 8. Resultados análisis de Dureza a lo largo de los puntos de muestreo Municipales de

ESPM 65

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice A. Descripción fuentes de captación.	55
Apéndice B. Sistema de distribución Málaga.....	62
Apéndice C. Análisis puntos de muestreo en el municipio.	63
Apéndice D. Diseño tanque de floculación.....	72
Apéndice E. Prueba de Jarras.....	79
Apéndice F. Procedimientos Operativos Estandarizados de Saneamiento.....	83

Resumen

Título: ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE EMPRESAS PÚBLICAS MUNICIPALES DE MÁLAGA (ESPM)¹

Autores: DAVID JULIAN DIAZ HERRERA, YURLEY NATALIA MELENDEZ GONZALEZ²

Palabras Clave: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA, ANÁLISIS BÁSICOS, ANÁLISIS FÍSICO Y QUÍMICO DEL AGUA, TRATAMIENTO O POTABILIZACIÓN, VALOR ACEPTABLE

Descripción

La Empresa de Servicios Públicos de Málaga (E.S.P.M), proporciona el servicio de acueducto al municipio de Málaga, Santander, el cual se compone de la distribución del agua para el consumo humano a través de la conducción, almacenamiento, distribución, operación y mantenimiento de sus redes, sumado el análisis físico, químico y microbiológico del agua. Se ha observado en algunos análisis hechos al agua, que durante la operación de la planta la calidad del agua saliente de la PTAP sobrepasa el valor óptimo del IRCA, sobre todo en las épocas de altas lluvias donde el agua aumenta su nivel de turbiedad y arrastre de material particulado aumentando la cantidad de sustancias no aptas para el consumo. Aspecto por el cual se generaron intereses y es por ello que la práctica empresarial se enfoca en evaluar, analizar y proponer acciones de mejora en la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Málaga. Mediante el análisis de la información e inspecciones realizadas en la planta de tratamiento de agua potable, y mediante el diagnóstico del estado actual de la planta se determinaron aspectos técnicos – operativos, como fueron los irregulares tiempos de limpieza en cada una de las áreas, el aumento de la turbiedad y el arrastre de material en el agua saliente. Todo lo anterior, motivo a generar alternativas de mejoras, diseñando el área de floculación para mejorar la calidad del agua potable para los usuarios de Málaga Santander como también el ajuste de los tiempos de lavado de las diferentes partes involucradas en el tratamiento del agua. La información obtenida, se recopiló siguiendo el recorrido del agua en la planta, mediante la observación subjetiva del funcionamiento de las unidades de tratamiento junto con la colaboración del personal a cargo, llegando a la conclusión después de una rigurosa inspección que la PTAP cumple con los parámetros exigidos, aunque requiere de una modernización a las instalaciones para agregar los procesos faltantes y así obtener la mejor calidad en el servicio prestado y cumplir a cabalidad con la normativa para este tipo de procesos.

¹ Trabajo de grado

² Facultad de Ingenierías Físicoquímicas Escuela De Ingeniería Química. Directora: Profesora Luz Marina Ballesteros Rueda, Ingeniera Química, M. Sc., PhD Codirector: Luis Carlos Ramírez Millán, Zootecnista

Abstract

Title: EFFICIENCY ANALYSIS OF THE MUNICIPAL PUBLIC COMPANIES WATER TREATMENT PLANT OF MÁLAGA (ESPM)¹

Authors: DAVID JULIAN DIAZ HERRERA, YURLEY NATALIA MELENDEZ GONZALEZ²

Keywords: MICROBIOLOGICAL WATER ANALYSIS, BASIC ANALYSIS, PHYSICAL AND CHEMICAL WATER ANALYSIS, TREATMENT OR POTABILIZATION, ACCEPTABLE VALUE

Description

The Public Utility Company of Malaga (ESPM), provides the aqueduct service to the municipality of Malaga, Santander, which is composed of the distribution of water for human consumption through the conduction, storage, distribution, operation and maintenance of its networks, added the physical, chemical and microbiological analysis of water. It has been observed in some analyzes made to the water, that during the operation of the plant the quality of the outgoing water of the PTAP exceeds the optimal value of the IRCA, especially in times of high rainfall where the water increases its level of turbidity and drag of particulate material increasing the amount of substances unfit for consumption. Aspect for which interest was generated and that is why business practice focuses on evaluating, analyzing and proposing improvement actions in the drinking water treatment plant of the municipality of Malaga. Through the analysis of the information and inspections carried out in the drinking water treatment plant, and through the diagnosis of the current state of the plant, technical and operational aspects were determined, such as the irregular cleaning times in each of the areas, the increased turbidity and the drag of material in the outgoing water. All of the above, reason for generating alternatives for improvements, designing the flocculation area to improve the quality of drinking water for Malaga Santander users as well as adjusting the washing times of the different parties involved in water treatment. The information obtained was collected following the path of the water in the plant, through the subjective observation of the operation of the treatment units together with the collaboration of the personnel in charge, reaching the conclusion after a rigorous inspection that the PTAP complies with the required parameters, although it requires a modernization to the facilities to add the missing processes and thus obtain the best quality in the service provided and fully comply with the regulations for this type of processes.

¹ Degree work

² Faculty of Physicochemical Engineering School of Chemical Engineering. Director: Professor Luz Marina Ballesteros Rueda, Chemical Engineer, M. Sc., PhD Co-Director: Luis Carlos Ramírez Millán, Zootechnist

1. Planteamiento del Problema

Uno de los grandes desafíos a los que se ven enfrentados los habitantes de la región ha sido el abastecimiento de agua potable de una adecuada calidad para su consumo, siendo este recurso una de las fuentes esenciales de vida para cualquier ser vivo. Así mismo, al ser el agua uno de los derechos humanos fundamentales las entidades locales deben garantizar el debido saneamiento, cumpliendo todos los estándares establecidos por las organizaciones nacionales e internacionales (Organización Mundial de la Salud, OMS, 2006).

En Colombia, en la Resolución 2115 de 2007 se establecen los estándares y lineamientos básicos con los que se debe cumplir para que el agua sea apta para su consumo; de acuerdo al documento mencionado, el índice de riesgo de calidad del agua (IRCA), mide el riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano el cual debe estar inferior al 5%, considerándolo así el óptimo (Meneses, 2017).

La ESPM cuenta a su cargo con la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) del municipio en los últimos 35 años siendo ésta la que abastece del agua potable a toda la población malagueña teniendo así la obligación de evaluar la calidad del agua ofrecida mediante parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para garantizar la más alta calidad a sus usuarios (Meneses, 2017).

Se ha observado en algunos análisis hechos al agua, que durante la operación de la planta la calidad del agua saliente de la PTAP sobrepasa el valor óptimo del IRCA, sobre todo en las épocas de altas lluvias donde el agua aumenta su nivel de turbiedad y arrastre de material particulado aumentando la cantidad de sustancias no aptas para el consumo. Por tal razón, la empresa se ve

obligada a suspender el servicio, generando grandes inconvenientes en la comunidad y altas pérdidas económicas ya que no puede ofrecer el agua en estas condiciones porque sobrepasa el límite permisible por la norma 2115 del 2007.

Así mismo cabe resaltar que durante los últimos 25 años no se ha realizado ninguna mejora o evaluación interna de los procesos llevados a cabo dentro de la PTAP. Además, en su diseño original, la PTAP es básica debido a que se contaba con captaciones de agua de alta pureza que no requerían de un gran tratamiento. Sin embargo, en los análisis realizados en las fuentes que proveen el agua se observa que han cambiado sus propiedades físicas y químicas haciéndose necesaria una actualización en los procesos de tratamiento en la empresa.

Con lo anterior en mente es indispensable para la empresa realizar un diagnóstico integral de las posibles falencias de la PTAP a la hora de llevar a cabo el proceso de potabilización, lo cual ayudaría a la empresa a cumplir a cabalidad con los requerimientos de calidad de la Resolución 2115 de 2007 exigida por la Secretaria de Salud. A su vez, sería un gran beneficio para toda la comunidad mitigando así cualquier riesgo a la salud de sus usuarios. Vale la pena preguntarse, ¿En qué condiciones está trabajando actualmente la PTAP de ESPM? y ¿qué mejoras se pueden implementar para suplir las falencias de la PTAP y mejorar la calidad del servicio prestado?

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Analizar la eficiencia de la planta de tratamiento de agua potable de Empresas Públicas de Málaga (ESPM), mediante la evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con el fin de

determinar la calidad del agua potable.

2.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el estado actual de la PTAP, con el objeto de reconocer las falencias y prioridades del tratamiento.
- Validar los procedimientos operacionales de la PTAP con el fin de adecuarlos a la normativa actual vigente.
- Proponer una alternativa para el mejoramiento de la calidad del agua producida por la Planta de Tratamiento de Agua Potable del municipio

3. Alcance

El propósito fundamental en el desarrollo del presente trabajo es realizar un diagnóstico integral del comportamiento de los diferentes parámetros analizados por la empresa ESPM en cada una de las etapas de la PTAP, con el fin de determinar las posibles fallas que se tengan en el proceso de potabilización del agua. Además, se desea dejar el diseño una propuesta de mejora para que el servicio prestado garantice el bienestar de la población.

4. Marco Teórico

4.1 Descripción de la Empresa

Empresas Públicas Municipales de Málaga (ESPM) es la empresa prestadora de servicios de acueducto y alcantarillado para los usuarios de Málaga, Santander. Esta empresa inició en el año 1968 como una empresa oficial denominada ACUASUR que administraba los servicios en diferentes pueblos de la provincia de García Rovira como eran Guaca, Cerrito, Concepción, San Miguel, Macaravita y la central que era Málaga. El 1 de enero de 1974 según acuerdo No 007 se creó ESPM cuyo fundador fue el señor Arnulfo Oviedo Prada, primer gerente.

ESPM es líder en la prestación de servicios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo ubicada en la localidad de Málaga, en el departamento de Santander. El domicilio social de esta empresa es Calle 13 6ª-58 en Málaga, Santander, con capacidad para prestar el servicio a 5.430 usuarios. En el municipio existen dos plantas de tratamiento, la planta principal, que abastece la mayor parte del municipio, denominada “Planta General”, y la planta auxiliar que alimenta un pequeño sector denominada María Auxiliadora. La planta de tratamiento de agua potable general tiene alrededor de 34 años de funcionamiento y la planta auxiliar tiene 20 años de funcionamiento. La planta general en la actualidad presta el servicio único y exclusivo a usuarios de Málaga, Santander.

4.2 Información general municipio de Málaga

El municipio de Málaga se encuentra ubicado sobre la cordillera oriental de los Andes, geológicamente se sitúa en el extremo meridional (borde oriental) del macizo de Santander, en la

parte sur del Páramo del Almorzadero. A nivel geográfico se ubica a Latitud 6 42' 0" Norte, 72 43' 59" de longitud. Dentro del Departamento de Santander, ocupa una sección en su parte oriental con una altura sobre el nivel del mar de 2235 metros.

En cuanto al clima, cuenta con una temperatura promedio de 17°C, la precipitación anual en los últimos 20 años tiene un promedio de 1.723 mm. Los meses de mayor pluviosidad son mayo, octubre y noviembre, constituyendo dos períodos lluviosos: Abril a mayo y septiembre a noviembre (Alcaldía Municipal de Málaga Santander, 2019). Limita al Norte con el Municipio de Concepción, Este con el Municipio de Enciso, Sur con el Municipio de San José de Miranda y al Oeste con los Municipios de Molagavita y San Andrés.



Figura 1. Localización del Municipio de Málaga en el departamento de Santander

4.3 Parámetros analizados en el laboratorio de aguas de las Empresas Públicas del Municipio de Málaga

4.3.1 Parámetros físicos. Son los índices que tienen una menor relevancia en cuanto la calidad del agua; éstos pueden modificar el aspecto del agua en tiempos de lluvias generado por el arrastre de material particulado que ocasiona cambios en el aspecto, olor y sabor del agua de consumo de un sistema de abastecimiento respecto a sus características organolépticas normales. Lo anterior puede ser evidencia de cambios en la calidad del agua cruda (sin tratar) de la fuente o deficiencias en las operaciones de tratamiento, y deben investigarse. Los parámetros físicos de mayor importancia son; turbiedad, color aparente, conductividad y pH (Taborda Zuñiga & Venegas Zambrano, 2016).

- **Color; Olor y Sabor:** el color del agua, junto a la turbidez, el olor y el sabor, representan el grupo de parámetros organolépticos que son indicativos de la calidad del agua de consumo humano (Aguas Residuales, 2018). El color del agua se debe a la presencia de materia orgánica natural (MON) como son las sustancias húmicas (SH) procedentes de los ácidos húmicos y fúlvicos, así como por la presencia de ciertos metales como hierro, manganeso, cobre, que se encuentran disueltos o en suspensión.

- **pH:** el pH indica la acidez o alcalinidad, en este caso de un líquido como es el agua, pero es en realidad una medida de la actividad del potencial de iones de hidrógeno (H⁺). Las mediciones de pH se ejecutan en una escala de 0 a 14, con 7.0 como neutro (Pure Water, s.f.).

- **Turbiedad:** la Turbiedad es una medida o indicador del grado de transparencia de un líquido, y en el agua potable, es uno de los indicadores más importantes a la hora de analizar su calidad y si reúne las condiciones necesarias para catalogarse como tal (Lenntech, s.f.). La turbidez es una

medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez donde este parámetro no deberá ser superior a 2 NTU y pueda cumplir con los requerimientos de calidad exigidos por la Resolución 2115 de 2007 (Lenntech, s.f.).

4.3.2 Parámetros químicos. Son los de mayor importancia ya que los componentes químicos pueden producir efectos adversos sobre la salud tras periodos de exposición prolongados. Para definir la calidad del agua, si el agua de estudio ha recibido vertimientos por actividades agrícolas y ganaderas, éstas pueden generar contaminación por la presencia de metales pesados como arsénico, plomo, mercurio y cromo. La actividad agrícola contamina cuando emplea fertilizantes que son arrastrados hacia las aguas, especialmente nitratos y nitritos. Además, el uso inadecuado de plaguicidas contribuye a contaminar el agua con sustancias tóxicas para los humanos (Taborda Zuñiga & Venegas Zambrano, 2016).

- **Cloro residual libre:** el cloro es un producto químico ampliamente disponible que, cuando se disuelve en agua limpia en cantidad suficiente, destruye la mayoría de los organismos causantes de enfermedades, sin poner en peligro a las personas. Sin embargo, el cloro se consume a medida que los organismos se destruyen. Si se añade cloro en exceso, quedará un poco en el agua luego de que se eliminen todos los organismos; denominándose cloro libre. El cloro libre permanece en el agua hasta perderse en el mundo exterior o hasta usarse para contrarrestar una nueva contaminación (Organización Mundial de la Salud, OMS, 2011).

Por esta razón, si se analiza el agua y se encuentra que todavía existe cloro libre en ella, se comprueba que la mayoría de los organismos peligrosos ya fueron eliminados del agua y, por lo tanto, es seguro consumirla. El cloro no sólo es un importante desinfectante, sino que también

reacciona con el amoníaco, hierro, manganeso y sustancias productoras de olores y sabores; por lo que, en general, mejora notablemente la calidad del agua, aunque La Organización Mundial de la Salud señala que no se ha observado ningún efecto adverso en humanos expuestos a concentraciones de cloro libre en agua potable.

No obstante, establece un valor de guía máximo de cloro libre residual de 5 miligramos por litro y para la resolución 2115 del 2007 el puntaje de riesgo es de 15 miligramos por litro (Ministerio de la Protección Social; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

- **Sulfatos:** los sulfatos suelen ser sales solubles en agua, el origen de los sulfatos se debe fundamentalmente a los procesos de disolución de las tizas, existentes en el terreno, en el agua subterránea. Además, el contenido de sulfatos no suele presentar problema de potabilidad a las aguas de consumo, pero en ocasiones, contenidos superiores a 250 mg/l pueden ocasionar trastornos gastrointestinales. Se sabe que los sulfatos de sodio y magnesio pueden tener acción laxante, por lo que no es deseable un exceso de los mismos en las aguas de bebida (Consejería de Salud y Consumo, s.f.).

- **Cloruros:** los cloruros son compuestos que llevan un átomo de cloro en estado de oxidación formal Cl^{-1} , corresponden al estado de oxidación más bajo de este elemento ya que tiene completada la capa de valencia con ocho electrones. El ion cloruro es uno de los iones más difundidos en las aguas naturales. No suele ser un ion que plantee problemas de potabilidad a las aguas de consumo, aunque sí es un indicador de contaminación de las aguas debido a la acción del hombre. La resolución 2115 del 2007 establece un puntaje de riesgo de 1 donde el exceso de esta sustancia provoca para la salud del ser humano aumento en la presión arterial, cálculos renales, cáncer estomacal, riesgo de osteoporosis y puede aumentar el riesgo de derrames cerebrales.

- **Dureza total:** la dureza (dureza total) está condicionada por el contenido en sales de metales

alcalinotérreos como calcio, magnesio, estroncio y bario (formadores de dureza), como en el agua el estroncio y el bario en general solamente se encuentran en trazas, se define dureza como el contenido de iones calcio, (Ca^{+2}), e iones magnesio, (Mg^{+2}) (“iones de dureza”), La resolución 2115 del 2007 establece un puntaje de riesgo de 1 donde el exceso de esta sustancia provoca riesgo de enfermedades cardiovasculares.

- **Hierro:** elemento químico de número atómico 26, masa atómica 55,84 y símbolo Fe; es un metal del grupo de los elementos de transición, de color blanco plateado, blando, dúctil, maleable, magnético y oxidable, que es muy abundante en la naturaleza formando compuestos y se extrae principalmente de la hematites. Los síntomas que pueden surgir ante un exceso de hierro en el agua son malestar abdominal, náuseas, vómitos, fatiga, debilidad, pérdida de apetito, así como pérdida de vello corporal. La resolución 2115 del 2007 establece un puntaje de riesgo de 1,5 miligramos por litro, donde el exceso de esta sustancia provoca dolor articular y falta de energía. A largo plazo, el exceso de hierro en el organismo puede ser muy peligroso y dañar órganos esenciales como el hígado, el páncreas, el cerebro, el corazón y demás.

- **Nitritos:** El ion nitrito es (NO_2)⁻ es un anión angular con una configuración electrónica y una disposición angular similar a la del Ozono. Los nitritos pueden formar sales o ésteres a partir del ácido nitroso (HNO_2). En la naturaleza los nitritos aparecen por oxidación biológica de las aminas y del amoníaco o por reducción del nitrato en condiciones anaeróbicas. En la industria pueden obtenerse al disolver N_2O_3 en disoluciones básicas. El nitrógeno de nitritos raras veces aparece en concentraciones mayores de 1 mg/L, aún en fuentes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

4.3.3 Parámetros microbiológicos. Los mayores riesgos microbianos son los derivados del consumo de agua contaminada con excrementos humanos o animales. Los excrementos pueden

ser fuente de patógenos, como bacterias, virus, protozoos, helmintos y otros organismos. Los patógenos fecales son los que más preocupan a la hora de fijar metas de protección de la salud relativas a la inocuidad microbiana. Se producen con frecuencia variaciones acusadas y bruscas de la calidad microbiológica del agua.

Pueden producirse aumentos repentinos de la concentración de patógenos que pueden aumentar considerablemente el riesgo de enfermedades y pueden desencadenar brotes de enfermedades transmitidas por el agua; además, pueden exponerse a la enfermedad numerosas personas antes de que se detecte la contaminación microbiana.

- **Coliformes:** Son indicadores de contaminación microbiológica (coliformes totales) del agua para consumo humano donde la resolución 2115 del 2007 establece un puntaje de riesgo de 15.

- **Escherichia Coli - E-coli:** bacilo aerobio Gram Negativo no esporulado que se caracteriza por tener enzimas específicas como la β galactosidasa y β glucoronidasa. Es el indicador microbiológico preciso de contaminación fecal (coliformes fecales) en el agua para consumo humano. la resolución 2115 del 2007 establece un puntaje de riesgo de 25, el exceso de este microorganismo en el agua provoca una intoxicación masiva en los usuarios ocasionando diarreas, vómitos y afectaciones estomacales de gran urgencia (Carita, 2016).

4.4 Descripción general del sistema

El sistema general del servicio prestado por las ESPM en lo concerniente al agua potable se divide en tres partes fundamentales que son:

- Captaciones
- Planta de tratamiento

- Sistema de distribución

A continuación, se describen de forma más minuciosa cada una de las partes de la PTAP.

4.4.1 Captaciones. La entidad capta su recurso hídrico de la parte alta de los municipios de Málaga y Concepción mediante seis fuentes como son: Cuzagueta, Cortaderas, Los Molinos, Carraca, La Magnolia y Laureano Gómez (Ver, Tabla 1). Todas las quebradas o fuentes altas que alimentan el sistema provienen de las estribaciones de la cordillera oriental en la parte occidental de la ciudad a una altura mayor de los 2400 m.s.n.m. El sistema de acueducto de la población de Málaga funciona por gravedad, tanto la planta de tratamiento como la red de distribución.

Tabla 1. *Fuentes superficiales de captaciones de la PTAP*

Fuente	Tipo	Observaciones
Cuzagueta	Superficial	Data de 1992, es la fuente más reciente. La capacidad aproximada de la fuente es de 70 LPS.
Cortaderas	Superficial	Es la fuente más antigua del municipio y está conformada por dos nacimientos denominados Cortaderas Parra y Cortaderas Sandoval. Su capacidad aproximada es de 20 LPS.
La Magnolia	Superficial	Es la fuente con menor capacidad, su Qmax está alrededor de los 12 LPS. La calidad del agua de esta fuente no es muy buena, pues tiene residuos orgánicos.
Los Molinos	Superficial	Data de 1991, se encuentra en regular estado y su capacidad es de 25 LPS.
Carraca	Superficial	Data de 1985. Su capacidad es superior a 10 LPS.
Laureano Gómez	Superficial	Data de 1973. Su capacidad esta alrededor de los 12 LPS.

La descripción de cada captación esta de manera más detallada en el anexo A, así mismo, las respectivas tablas de caracterización de los parámetros realizados en cada fuente.

4.4.2 Planta de tratamiento. La planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de las ESPM es una planta de tipo convencional construida en concreto de funcionamiento hidráulico y consta de las siguientes áreas: escaleras de aireación, pre-filtración, filtración, sistema de desinfección mediante cloro gaseoso, tanques de almacenamiento y tanques de distribución, como se muestra en las figuras 2 y 3.

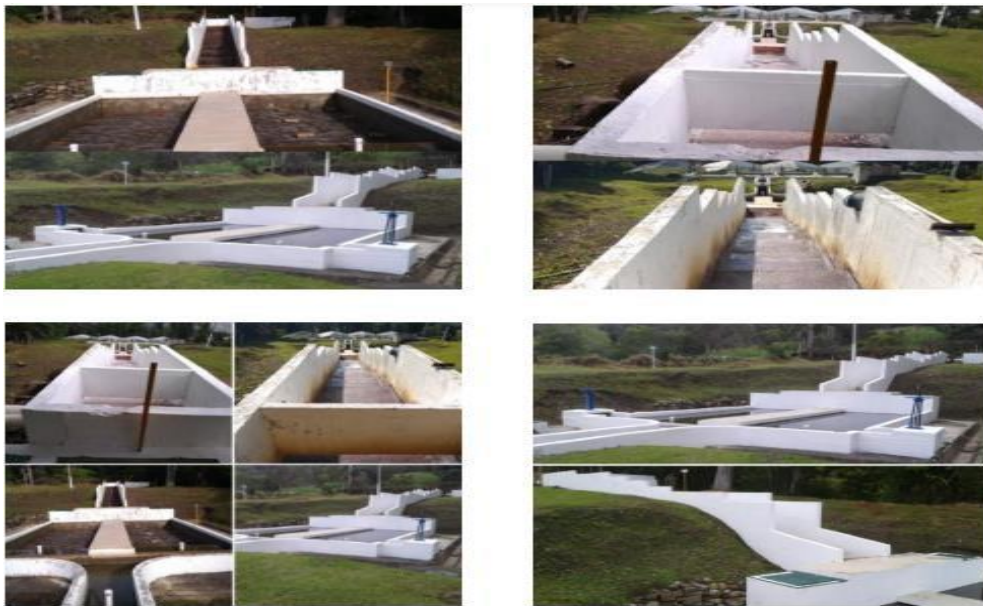


Figura 2. Imagen de la Planta de Tratamiento de agua potable de Málaga

La planta de tratamiento está diseñada para un caudal de 64 LPS que en época de invierno se utiliza en su totalidad y en verano se reduce. El caudal que normalmente Ingresa de las captaciones a la planta es de 71 LPS y en verano se reduce 22LPS, con lo cual la empresa complementa su caudal con el servicio del agua captada en un embalse encontrado a las afueras de la ciudad.

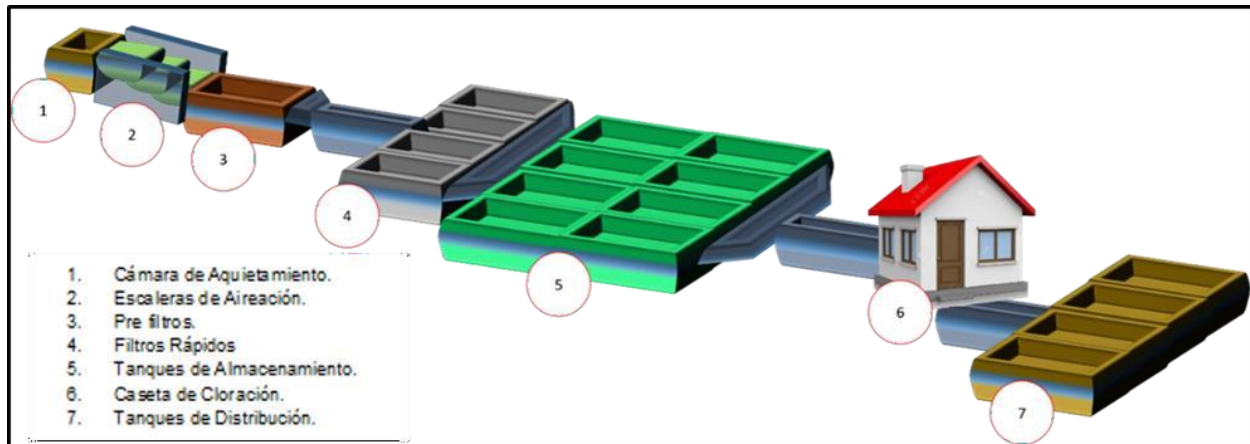


Figura 3. Esquema general de la PTAP

El proceso de potabilización de las aguas captadas inicia en la cámara de aquietamiento donde el agua se envía por rebose hacia las escaleras de oxigenación (ver, Figura 4.). Durante épocas de altas lluvias el agua entrante supera a la máxima que puede tratarse en la PTAP (64L/s), por lo que se cuenta con dos tubos de desagüe que envía el caudal de exceso por rebose a una quebrada aledaña a la planta.



Figura 4. Imagen de la Cámara de aquietamiento PTAP.

De este punto se pasa a la estructura de aireación tipo cascada construida en concreto con dimensiones 20m X 1,5m y 9 escalones como se observa en la figura 5. En este módulo de la PTAP

tiene como función principal oxidar la mayor cantidad de hierro presente en el agua cruda. La reacción de oxidación del hierro es: $4 \text{Fe} + 3\text{O}_2 = 2 \text{Fe}_2\text{O}_3$ (Blog Vecina del Picasso, 2011).



Figura 5. Imagen de las Escaleras de oxigenación de la PTAP.

Desde la estructura de aireación se conduce el caudal al proceso de pre-filtrado, que consta de dos módulos de concreto de medidas aproximadas de 6m x 3m y profundidad 1.50m, adicionalmente, cuenta con dos válvulas de salida y un lecho de filtración a base de carbón activado y arenas clasificadas (Ver, Figura 6).



Figura 6. Imagen de los Pre-filtros en la PTAP

El flujo saliente por medio de un canal termina en un vertedero hasta los filtros rápidos, estos están conformados por cuatro unidades de filtros construidos en concreto de dimensiones

aproximadas de 2m x 2m y profundidad 2m (ver, figura 7.), con lecho simple compuesto por arena clasificada y carbón molido los cuales cuentan cada uno con su válvula y con un sistema de retro-lavado.

No tiene un sistema de tratamiento de lodos, por lo que estos son vertidos directamente a una caja de recepción de agua y llevados directamente al alcantarillado.



Figura 7. Imagen de los Filtros rápidos de la PTAP

Posterior a los filtros rápidos existía un sistema de filtros lentos que fueron retirados de funcionamiento. Para darle utilidad a dichas estructuras la Empresa de Servicios las está empleando como tanques de reserva para períodos secos (ver, figura 8.). En total son ocho tanques intercomunicados en parejas que solo se llenan cuando el caudal proveniente de las captaciones disminuye ostensiblemente. La capacidad total de almacenamiento es de 1792m³. En la siguiente figura se observan dichos tanques, los cuales están cubiertos.



Figura 8. Imagen de los Tanques de almacenamiento

El último proceso que se realiza es el de la desinfección por medio de la adición de cloro gaseoso (ver, figura 9), utilizando una bala de 68 Kilos, dotado de un eyector y de mangueras dosificadoras. El proceso se efectúa antes de llegar a los tanques de distribución del municipio (ver, figura 10).



Figura 9. Imagen caseta de cloración



Figura 10. Imagen Tanques de distribución

Los tanques de distribución del sistema consisten en cuatro tanques de concreto reforzado de tipo semienterrado, cubiertos por una losa en concreto. Los cuatro tanques tienen una capacidad total de almacenamiento de 2014 m³ y su alimentación se realiza por derivaciones de la tubería de 10” que atiende directamente a la red.

La lectura de salida se hace utilizando un macromedidor fijo instalado por la Empresa antes de cloración mediante un aforo con regleta, el cual da un registro confiable de la salida ya que el error con respecto a la macromedición realizada con el caudalímetro portátil es de 1 L/s.

4.4.4 Sistema de distribución. La red de distribución es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo (Orion S.A. E.S.P., 2014). La red de acueducto del Municipio de Málaga se puede observar en el anexo B. En esta red de distribución se tienen 5 puntos de muestreo concertados con la secretaria de salud, de los cuales los análisis de los parámetros estudiados en cada uno de ellos se encuentran de manera más exhaustiva en el apéndice C (Millán, Gualdrón, Díaz, & Melendez, 2019).

5. Descripción Metodológica

Con el fin de lograr los objetivos establecidos en este proyecto, la metodología propuesta se rigió por tres fases:

FASE I. Evaluar el estado actual de la PTAP, con el objeto de reconocer las falencias y

prioridades del tratamiento.

- **Inspección de la PTAP:** revisión de materiales y estado de las unidades componentes de la PTAP, observación de eventos no comunes en el agua (turbulencias, elementos flotantes, entre otros). Toma muestras en las unidades mediante el reporte realizado por los operarios.

FASE II. Validar los procedimientos operacionales de la PTAP con el fin de adecuarlos a la normativa actual vigente

- **Recopilación de información de las unidades y normatividad:** consiste en la compilación de información relativa a las unidades de tratamiento de agua potable y normatividad vigente en cuanto a calidad de agua, según Resolución Número 2115 (22 Jun 2007).

- **Muestreos y Caracterizaciones fisicoquímicas-microbiológicas:** se tomaron muestras en las fuentes superficiales, en los sitios concertados por la ESPM y en las unidades de la PTAP, para ello se establecieron: la toma de 6 muestras superficiales durante 6 meses de las fuentes abastecedoras a la planta de agua potable y a la vez se tomaron 5 muestras semanales en los sitios concertados por ESPM y en cada una de las unidades de la planta. Además, se realizaron las siguientes pruebas en laboratorio de ESPM: Color, turbiedad, pH, cloro residual, cloruros, dureza, nitritos, sulfatos, coliformes totales y coliformes fecales. La metodología realizada para cada uno de los parámetros se encuentra en el anexo G.

Con lo anterior se hizo la validación mediante comparación de lo exigido por la resolución 2115 de 2007 con los datos obtenidos en la PTAP.

FASE III. Proponer una alternativa para el mejoramiento de la calidad del agua producida por Planta de Tratamiento de Agua Potable del municipio

- **Propuestas de mejora:** Consistió en la elaboración y presentación de planes de mejoramiento como también de una alternativa para el tratamiento del agua potable que mejore la eficiencia de la PTAP y la calidad del agua potable del municipio de Málaga, Santander.

6. Análisis de Resultados

6.1 Resultados Fase I. Evaluar el estado actual de la PTAP, con el objeto de reconocer las falencias y prioridades del tratamiento

Se evaluó el estado actual de la PTAP en cuanto a sus materiales y las diferentes unidades del sistema, detectándose la falta de las áreas de floculación y sedimentación dentro del proceso de la potabilización del agua. También se pudo notar que, ante perturbaciones en el agua entrante sobre todo en temporadas de altas lluvias, el agua presenta grande presencia de material particulado arrastrado (aumento de la turbiedad) y la planta tiene problemas a la hora de disminuir dicho parámetro en la calidad del agua, haciéndose necesaria la suspensión del servicio cuando se presentan dichas condiciones.

6.2 Resultados Fase II. Validar los procedimientos operacionales de la PTAP con el fin de adecuarlos a la normativa actual vigente

Se identificó que la ESPM se encuentra vigilada por la Secretaria de Salud, exigiendo el cumplimiento de lo estipulado por la resolución 2115 de 2007 en la que se encuentran los lineamientos necesarios para una adecuada calidad del agua para consumo humano.

A continuación, se presentan los valores máximos permisibles en resolución 2115 de los parámetros evaluados en ESPM para evaluar la calidad de agua para consumo:

Turbiedad: 2 NTU

pH: 6.5 - 9.0

Color: 15 UPC

Dureza: 300 mg/L CaCO₃

Cloro: 0.3 – 2 mg/L

Hierro: 0.3 mg/L

Cloruros: 250 mg/L

Nitritos: 0.1 mg/L

Sulfatos: 250 mg/L

Coliformes Totales: Ninguno

Coliformes Fecales: Ninguno

Seguidamente se llevó a cabo la validación de los parámetros dentro de cada uno de los módulos de la PTAP con el fin de determinar si se está cumpliendo con lo exigido para presentar el servicio mediante la comparación con los valores dados en la resolución 2115. A consideración se debe saber que los resultados presentados son un promedio mensual, llevando a cabo una muestra semanal dentro de las instalaciones de la planta arrojando los siguientes resultados:

Tabla 2. Datos obtenidos en muestreo dentro de la PTAP

Fecha del análisis de las muestras	Punto de muestreo	pH	Cloro residual	Turbiedad	Color real	Coliformes totales	Coliformes fecales	Cloruros	Hierro	Nitritos	Dureza	Sulfatos
Abril	Colector	7.46	0.00	3.64	2.00	376	3	2.00	0.08	0.02	70.00	76.0
	Prefiltros	7.47	0.00	3.55	2.00	348	6	2.00	0.09	0.01	104.00	57.0
	filtros rápidos	7.76	0.00	1.03	0.50	319	4	2.00	0.57	0.01	120.00	63.0
	Tanque de alm 2	7.78	0.00	2.05	3.00	435	9	2.00	0.48	0.01	98.00	97.0
	Cloración	7.90	0.93	1.53	0.50	0	0	2.00	1.25	0.01	54.00	96.0
Mayo	Colector	7.75	0.00	2.14	8.00	290	5	2.00	0.11	0.01	81.20	61.0
	Prefiltros	7.88	0.00	1.79	7.00	300	5	2.00	0.18	0.02	76.40	54.4
	filtros rápidos	7.97	0.00	0.91	5.50	294	3	2.00	0.12	0.01	66.80	62.6
	Tanque de alm 2	7.94	0.00	1.10	8.00	403	6	2.00	0.23	0.02	73.60	78.2
	Cloración	7.85	1.10	0.70	5.25	0	0	2.00	0.55	0.03	69.80	64.6
Junio	Colector	7.83	0.00	1.08	3.00	268	3	2.00	0.11	0.00	92.50	85.8
	Prefiltros	7.94	0.00	0.91	1.00	260	2	2.00	0.19	0.01	125.50	89.5
	filtros rápidos	7.97	0.00	0.39	2.00	228	3	2.00	0.03	0.01	104.00	81.8
	Tanque de alm 2	7.96	0.00	0.18	0.50	310	6	2.00	0.11	0.01	88.50	71.4
	Cloración	7.91	1.02	0.35	0.50	0	0	2.00	0.07	0.01	100.25	71.3
Julio	Colector	7.46	0.00	0.69	0.50	322	5	6.70	0.12	0.01	116.00	70.8
	Prefiltros	7.83	0.00	1.09	0.50	249	4	7.60	0.20	0.01	118.00	71.2
	filtros rápidos	7.97	0.00	0.00	0.50	241	3	12.10	0.13	0.02	68.00	72.1
	Tanque de alm 2	7.96	0.00	0.96	0.50	233	3	4.80	0.06	0.01	118.67	72.3
	Cloración	7.93	1.34	0.22	0.50	0	0	2.80	0.14	0.00	105.33	70.8

Fecha del análisis de las muestras	Punto de muestreo	pH	Cloro residual	Turbiedad	Color real	Coliformes totales	Coliformes fecales	Cloruros	Hierro	Nitritos	Dureza	Sulfatos
Agosto	Colector	7.76	0.00	0.70	0.50	266	3	7.20	0.36	0.01	75.00	69.5
	Prefiltros	7.89	0.00	0.53	0.50	199	3	5.80	0.10	0.01	46.50	70.4
	filtros rápidos	7.94	0.00	0.10	0.50	227	3	4.10	0.14	0.01	25.00	74.3
	Tanque de alm 2	7.71	0.00	0.33	0.50	239	4	3.20	0.13	0.01	25.00	74.2
	Cloración	7.87	1.07	0.42	0.50	0	0	2.00	0.13	0.00	37.00	70.4
Septiembre	Colector	7.53	0.00	2.48	7.00	291	5	2.00	0.24	0.01	73.56	64.2
	Prefiltros	7.69	0.00	1.51	3.00	198	3	2.00	0.24	0.01	75.82	69.1
	filtros rápidos	7.73	0.00	0.14	0.50	210	3	2.00	0.24	0.00	85.64	76.1
	Tanque de alm	7.83	0.00	0.62	0.50	207	3	2.00	0.22	0.01	93.08	80.0
	Cloración	7.71	1.75	0.10	0.50	0	0	2.00	0.20	0.00	96.06	80.0

Como se cuenta con un promedio mensual de los datos, a continuación, se presenta la respectiva tabla de desviaciones de cada uno de los datos presentados

Tabla 3. Desviaciones de los datos de muestreo dentro de la PTAP

Fecha del análisis	Punto de muestreo	pH	Cloro residual	Turbiedad	Color real	Coliformes totales	Coliformes fecales	Cloruros	Hierro	Nitritos	Dureza	Sulfatos
Abril	Colector	0.193	0.000	1.338	3.429	32.881	3.245	0.000	0.032	0.00173	22.609	26.349
	prefiltros	0.080	0.000	1.305	3.174	30.433	3.004	0.000	0.036	0.00086	20.925	24.387
	filtros rápidos	0.110	0.000	0.379	2.909	27.897	2.753	0.000	0.226	0.00086	19.182	22.354
	Tanque de alm	0.147	0.000	0.753	3.967	38.041	3.755	0.000	0.190	0.00086	26.157	30.483
	Cloración	0.186	0.183	0.562	2.023	0.000	0.000	0.000	0.495	0.00086	21.123	24.617
Mayo	Colector	0.157	0.000	0.787	2.645	25.361	2.503	0.000	0.044	0.00121	17.438	20.322
	prefiltros	0.178	0.000	0.659	2.740	26.270	2.593	0.000	0.070	0.00173	18.063	21.051
	filtros rápidos	0.198	0.000	0.333	2.681	25.710	2.538	0.000	0.047	0.00104	17.678	20.602
	Tanque de alm	0.102	0.000	0.406	3.674	35.225	3.477	0.000	0.091	0.00138	24.221	28.227
	Cloración	0.090	0.245	0.257	1.456	0.000	0.000	0.000	0.218	0.00225	19.827	23.106
Junio	Colector	0.178	0.000	0.396	2.444	23.437	2.313	0.000	0.044	0.00029	16.115	18.780
	prefiltros	0.346	0.000	0.334	2.369	22.715	2.242	0.000	0.076	0.00108	15.619	18.202
	filtros rápidos	0.123	0.000	0.144	2.075	19.895	1.964	0.000	0.012	0.00108	13.680	15.942
	Tanque de alm	0.167	0.000	0.066	2.827	27.110	2.676	0.000	0.044	0.00086	18.640	21.724
	Cloración	0.156	0.134	0.130	1.983	0.000	0.000	0.000	0.029	0.00065	23.340	27.200
Julio	Colector	0.199	0.000	0.254	0.000	28.141	2.778	0.552	0.049	0.00058	19.350	22.551
	prefiltros	0.222	0.000	0.399	0.000	21.801	2.152	0.626	0.078	0.00086	14.991	17.470
	filtros rápidos	0.145	0.000	0.000	0.000	21.093	2.082	0.996	0.050	0.00130	14.504	16.902
	Tanque de alm	0.178	0.000	0.352	0.000	20.344	2.008	0.395	0.022	0.00058	13.989	16.302
	Cloración	0.143	0.193	0.081	0.000	0.000	0.000	0.231	0.054	0.00029	27.283	31.796
Agosto	Colector	0.194	0.000	0.255	0.000	23.289	2.299	0.593	0.143	0.00043	16.014	18.662

Fecha del análisis	Punto de muestreo	pH	Cloro residual	Turbiedad	Color real	Coliformes totales	Coliformes fecales	Cloruros	Hierro	Nitritos	Dureza	Sulfatos
	prefiltros	0.189	0.000	0.193	0.000	17.430	1.720	0.478	0.038	0.00086	11.985	13.967
	filtros rápidos	0.111	0.000	0.035	0.000	19.829	1.957	0.338	0.055	0.00043	13.635	15.890
	Tanque de alm	0.121	0.000	0.119	0.000	20.879	2.061	0.263	0.050	0.00043	14.356	16.731
	Cloración	0.193	0.198	0.154	0.000	0.000	0.000	0.165	0.050	0.00000	25.192	29.359
Septiembre	Colector	0.012	0.000	0.911	2.650	25.412	2.508	0.000	0.094	0.00086	17.473	20.363
	prefiltros	0.182	0.000	0.555	1.808	17.334	1.711	0.000	0.094	0.00086	11.919	13.890
	filtros rápidos	0.184	0.000	0.051	1.913	18.346	1.811	0.000	0.095	0.00000	12.615	14.701
	Tanque de alm	0.156	0.000	0.228	1.887	18.090	1.785	0.000	0.088	0.00086	12.439	14.496
	Cloración	0.193	0.156	0.037	2.394	0.000	0.000	0.000	0.079	0.00000	17.223	20.072

Los datos de muestreo presentados anteriormente no se estaban realizando en la empresa, pues no se tenía una evaluación interna de los parámetros de la calidad del agua, a partir de ejecutada esta práctica se dejó implementado la toma de estas muestras en la PTAP para tener una visión más amplia de cómo es el comportamiento de potabilización en la planta.

Seguidamente se llevó a cabo la evaluación de la eficiencia de remoción de los parámetros evaluados por la secretaria de salud en cada una de las etapas presentes en la PTAP obteniendo los siguientes resultados mostrados en la Tabla 4

Tabla 4. Eficiencia de remoción en cada uno de los parámetros al final del proceso de potabilización

Eficiencia %	pH %	Cloro Residual %	Turbiedad %	Color Real %	Coliformes Totales %	Coliformes Fecales %	Cloruros %	Hierro %	Nitritos %	Dureza %	Sulfatos %
Abril	-5.90	100	57.97	75.00	100	100	0.00	-1462.50	50.00	22.86	-26.32
Mayo	-1.32	100	67.41	34.38	100	100	0.00	-400.00	-85.71	14.04	-5.90
Junio	-0.99	100	67.29	83.33	100	100	0.00	34.09	-125.00	-8.38	16.87
Julio	-6.26	100	68.12	0.00	100	100	58.21	-10.81	50.00	9.20	-0.02
Agosto	-1.42	100	39.57	0.00	100	100	72.22	65.28	100.00	50.67	-1.39
Septiembre	-2.39	100	95.97	92.86	100	100	0.00	16.17	100.00	-30.59	-24.63

Los negativos de la tabla 4, significan que para estos parámetros el valor de salida es mayor que el de entrada por lo tanto la eficiencia de remoción es negativa, donde se calculó de la siguiente forma:

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{\text{Entrada} - \text{Salida}}{\text{Entrada} * 100}$$

A continuación, se muestra el análisis de cada uno de los comportamientos de cada parámetro a lo largo de la planta en los seis meses de estudio (Abril a Septiembre de 2019).

6.2.1 Turbiedad

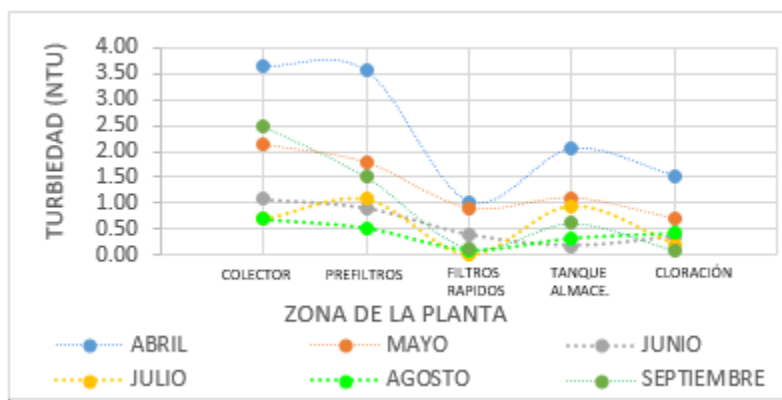


Figura 11. Análisis del parámetro de turbiedad a lo largo de las áreas de la PTAP de ESPM

Como se puede observar en la figura 11 el comportamiento de la turbiedad durante los seis meses estudiados en la PTAP, presentan un comportamiento descendente. Teniéndose la reducción de este parámetro en el recurso hídrico hasta el paso por los filtros rápidos, aunque se percibe un aumento al llegar al tanque de almacenamiento.

Con lo anterior, una de las razones por las cuales se le atribuye esta falla al sistema en la parte de los tanques de almacenamiento es la falta de limpieza en esta zona de la PTAP ya que en estos se iban acumulando lodos de las partículas suspendidas en el agua haciendo que la turbiedad del agua entrante aumente en este punto. Para mitigar lo anterior, se decidió disminuir el tiempo de una limpieza a otra dejándose con una periodicidad de máximo cada quince días para la zona mencionada anteriormente.

Por otro lado, la eficiencia de remoción de este parámetro en la operación de la PTAP observado en la tabla 4 se obtuvo un máximo valor de 95.96% en el mes de septiembre, siendo así la planta muy eficiente a la hora de trabajar con turbiedades de entrada no mayor a 5 NTU cumpliendo con la normatividad 2115 del 2007 que regula la calidad del agua de consumo.

Para el mes de mayo, se observó un dato atípico (reportado en las bitácoras de ESPM) en el cual la turbiedad de entrada fue de 23.06 NTU y al cabo del proceso de potabilización en el área de cloración, el agua presento una turbiedad de 9.50 NTU, aunque la eficiencia de remoción de la PTAP fue de 58.80% el valor a la salida sobrepasa el límite permisible para consumo humano según la resolución 2115 de 2007 (Max. permisible 2NTU), debido a las fuertes lluvias presentadas en este mes, con lo cual se hace necesario el vertimiento de esta agua a la quebrada los molinos aledaña a la PTAP obligándose a trabajar con las reservas, generando un gran costo de pérdidas económicas a la empresa.

La falla anterior, se le atribuía a la saturación de los pre-filtros y filtros rápidos, ya que al ser la PTAP una planta de tipo convencional básica, no está preparada para la potabilización de aguas crudas de turbiedades con valores mayores a 10 NTU lo cual en estos casos la PTAT se ve obligada al vertimiento de esta agua a la quebrada los molinos y se hace necesario trabajar con los tanque de reserva para cumplir con el servicio,

Con lo anterior se propone la implementación de un proceso de floculación dentro de la planta que contribuya a optimizar la operación de la PTAP en estos casos.

6.2.2 Potencial de Hidrógeno (pH). El comportamiento del pH es de tipo neutro – alcalino como se muestra en la figura 12, aunque se observó un leve aumento hacia la parte alcalina con respecto al pH de entrada, donde este no sobrepasa el límite del valor de 8 (unidades de pH), esto es contribuido a que en los pre-filtros y filtros rápidos se quedan atrapadas sustancias que le aportan acidez al agua. No obstante, estos cambios no representan un cambio significativo ya que no se sale del rango permisible por la resolución 2115 de 2007 en el cual el pH debe estar en un rango de 6.5 a 9 unidades de pH.

Para el caso de la eficiencia de remoción de este parámetro mostrado en la tabla 2, se obtienen valores negativos debido a que el valor de entrada es inferior al de salida, sin embargo, el porcentaje de aumento no sobrepasa el 7% en ninguno de los meses, obteniéndose el máximo valor en el mes de julio con un porcentaje de 6.25%.

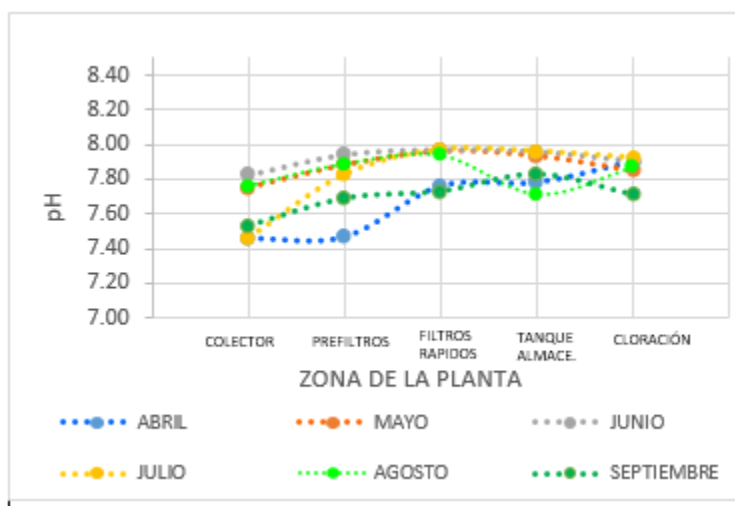


Figura 12. Análisis de la cantidad de pH a lo largo de las áreas de la PTAP de ESPM

6.2.3 Color Real

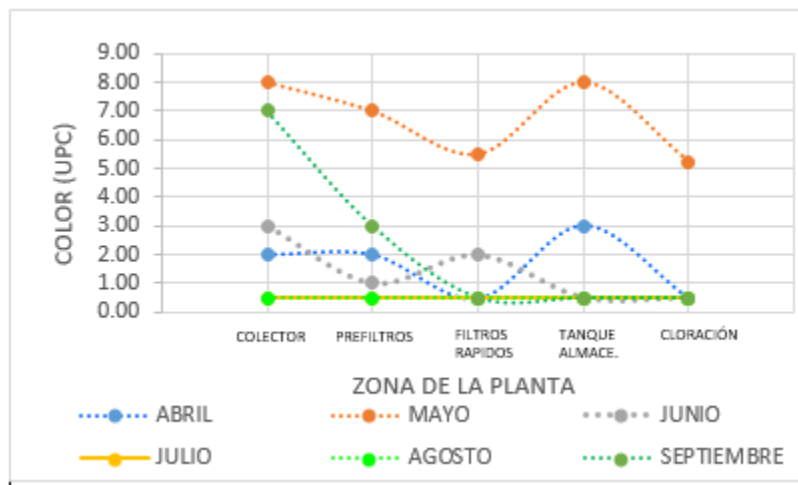


Figura 13. Análisis de Color Real a lo largo de las áreas de la PTAP de ESPM

El comportamiento del Color en el recurso hídrico llevado a cabo en la PTAP muestra en todos los meses estudiados una disminución notable en comparación al valor de la entrada, con algunas excepciones durante los meses de julio y agosto.

Durante estos dos meses el comportamiento se mantuvo constante en valores inferiores a 1 debido a la calidad del agua entrante al sistema, observándose que las aguas de las fuentes de captación no presentaban color por lo que no hubo gran arrastre de material particulado que contribuyera a que este parámetro aumentara.

Por otro lado, el mes donde se presentó mayor afectación en este parámetro fue en el mes de mayo, debido a que este mes es considerado época invernal donde se presentan crecimientos repentinos de los caudales de las fuentes superficiales por las lluvias, repercutiendo en el aumento de arrastre de materia orgánica y material particulado haciendo que parámetros como la turbiedad y el color aumenten.

Así mismo la eficiencia de remoción de este parámetro mostrado en la tabla 2 obtuvo un valor de 92,85% para el mes de septiembre, con lo que se concluye que, aunque la planta no cuenta con todos los procesos de potabilización trabaja muy bien a la hora de remover color en el recurso hídrico manteniendo el valor de este parámetro por debajo del máximo permisible que es 15 UPC.

6.2.4 Dureza Total. El comportamiento en general de la dureza (ver figura 14), durante los seis meses de estudio en la PTAP fue de manera decreciente en los valores de la salida con respecto a la entrada con excepción del mes de septiembre que salió de la planta con un valor mayor, lo anterior puede ser ocasionado por los sedimentos o material particulado que se deposita en las áreas de tratamiento de agua de la PTAP como consecuencia de un mal lavado por parte de los

operarios de la plata y las fuertes lluvias de este mes que ocasionan el arrastre de materia.

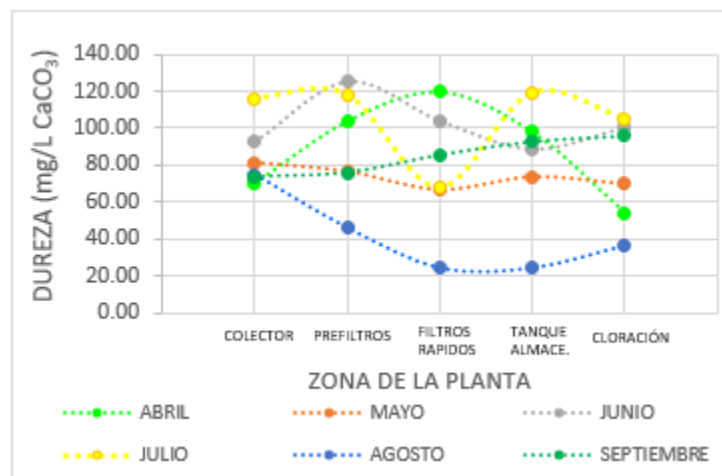


Figura 14. Dureza Total en todas las áreas de la PTAP de ESPM

Por otro lado, se puede notar algunos cambios repentinos en algunos módulos de la planta en meses específicos, por ejemplo en el mes de julio se tiene que hubo un aumento significativo en la etapa de Pre- filtros, esto significa que en determinado instante el lecho de arenas clasificadas (antrasita,-----) y carbón activado, que cumplen la función de retener materia particulada y remover contaminantes que generan olores llego a su máxima saturación, haciendo que se acumulara gran cantidad de sustancias principalmente compuestas por Calcio y magnesio haciendo que este parámetro aumentara su valor. No obstante, en la etapa de los filtros rápidos disminuyo en gran medida compensando así el problema generando que a la salida de la planta este valor fuera mínimo.

En cuanto al mes de Julio donde la saturación se dio en la etapa de los Tanques de almacenamiento dando un aumento significativo en la dureza, al pasar por esta etapa al servir estos como filtros lentos manteniendo el agua de manera estancada por algún tiempo se puedo llevar a

cabo una corta sedimentación de algunas sustancias que al mezclarse con el agua fresca hicieron que este parámetro aumentara.

En cuanto a la eficiencia de remoción de dureza presentada en la tabla 2 se puede ver que se obtuvo una eficiencia máxima en el mes de agosto con un valor de 50.66%, con lo que se puede notar que se puede disminuir en gran medida este parámetro en el proceso de potabilización dentro de la PTAP.

6.2.5 Cloro Residual. El parámetro de cloro residual en la PTAP (ver figura 15), no se obtuvieron muchos cambios, debido a que las aguas crudas no contienen cloro, solamente cuando se añade en el proceso de Cloración. Por otro lado, se puede decir que la concentración de cloro saliente de la PTAP dependerá única y exclusivamente de la cantidad adicionada para llevar a cabo el proceso de desinfección mediante las correlaciones que tiene el operario obedeciendo al caudal tratado cada día.

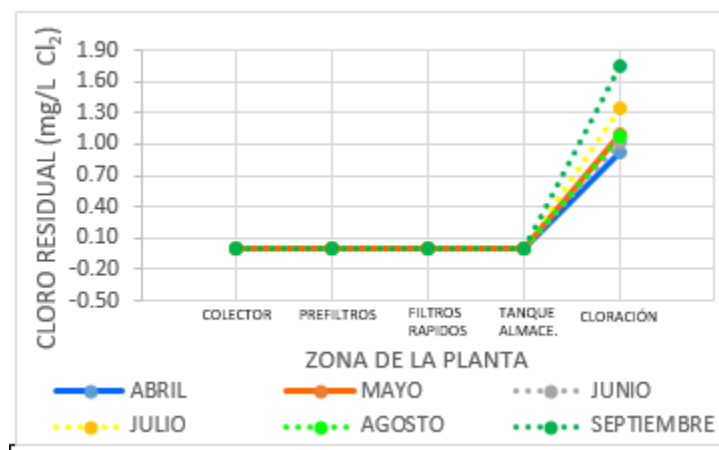


Figura 15. Cantidad de cloro Residual a lo largo de las áreas de la PTAP de ESPM

En cuanto a la eficiencia de adición de este parámetro para todos los meses fue del 100% medidos a la entrada y salida de toda la PTAP debido a que siempre se presentó en el rango óptimo propuesto en la resolución 2115 de 2007 que es de (0.3-2) mg/L Cl₂.

6.2.6 Hierro. El comportamiento del hierro a lo largo de la planta, como se observa en la figura 16, presenta algunos aumentos la parte de cloración para los meses de mayo y abril. Durante los dos primeros meses de estudio se observó que el punto de cloración estaba siendo crítico, debido a que el nivel de hierro sobrepasaba en gran medida el máximo permisible por la resolución 2115 de 2007 que está en un valor de 0.3 mg/L Fe.

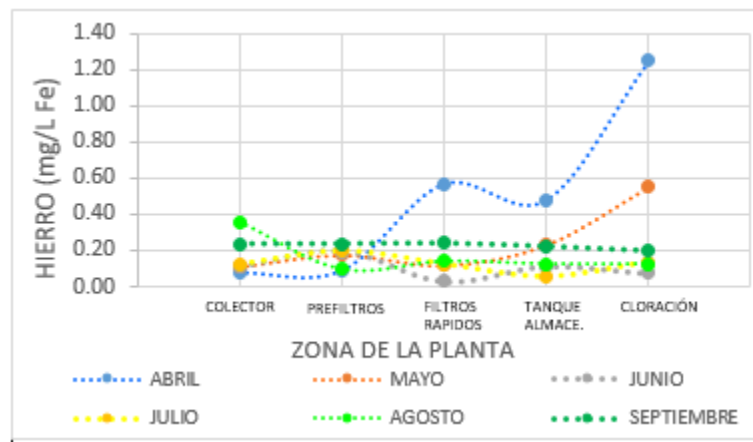


Figura 16. Hierro presente en las áreas de la PTAP de ESPM

Con lo anterior se pudo determinar que este problema se debía a que el proceso de cloración se estaba llevando a cabo en un tanque metálico y estaba en muy malas condiciones, pues ser el cloro gaseoso una sustancia de tipo corrosiva, había oxidado el material del tanque haciendo que se

contaminara el agua fresca que ingresaba, siendo esta la razón de este aumento en dicho parámetro. Con lo anterior se decidió implementar limpiezas consecutivas en este punto hasta que la empresa pueda llevar a cabo el cambio de este tanque, observándose que en los meses posteriores se obtuvieron valores óptimos y que satisfacían la normativa vigente.

6.2.7 Cloruros. Los cloruros en el transcurso de la planta (ver figura 17) se mantuvieron constantes en los meses de abril, mayo, junio y septiembre por debajo de 2.5 mg/L NaCl. Por otro lado, en el mes de julio (mes donde se necesitaron más limpiezas en los filtros rápidos por gran aumento de suciedad) se pudo ver un aumento en el módulo de los filtros rápidos una posible causa de este aumento se debe a que se encuentren residuos de hipoclorito de sodio que es la sustancia con la que se hace la desinfección de las zonas y que a la hora de realizar el análisis se detecte los iones de cloro de esta sustancia.

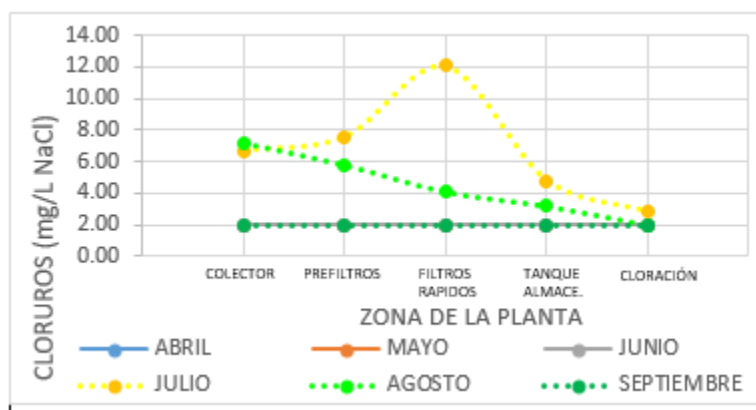


Figura 17. Cantidad de Cloruros a lo largo de las áreas de la PTAP de ESPM

6.2.8 Sulfatos. En el comportamiento de los sulfatos en las etapas de la planta (ver figura 18) se puede notar que tienen un leve aumento en la etapa de los tanques de almacenamiento, esto se debe

a los sedimentos que puede haber al servir estos tanques como filtros lentos, por lo cual al entrar el agua fresca que entra aumenta su concentración de estos iones.

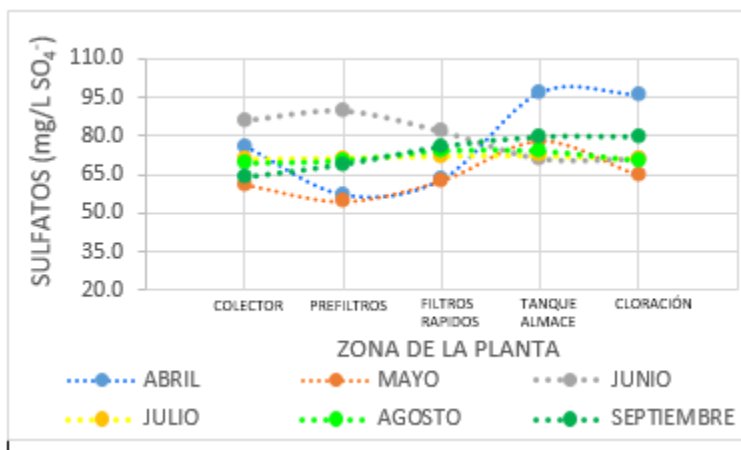


Figura 18. Cantidad de Sulfatos a lo largo de las áreas de la PTAP de ESPM

6.2.9 Nitritos. En general, el comportamiento de los nitritos a lo largo de la PTAP es buena (ver figura 19), pues el rango de este parámetro no sobrepasa (0-0.3) mg/L NO₂, lo cual se encuentra por debajo del valor máximo permisible de la norma de la resolución 2115 de 2007 que es 0.1 mg/L NO₂.

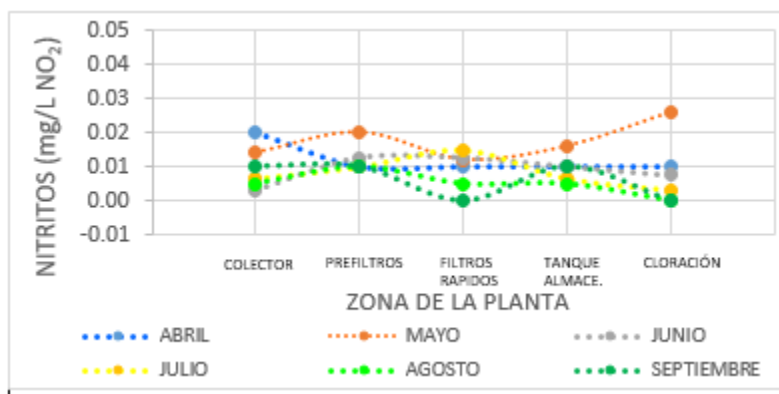


Figura 19. Cantidad de Nitritos a lo largo de las áreas de la PTAP de ESPM

6.2.10 Coliformes Totales y Coliformes Fecales. En cuanto a los análisis de tipo microbiológico realizado se obtuvo que en todas las zonas de la PTAP hay presencia de colonias microbianas como se observa en la figura 20, pues era de esperarse, debido a que se están trabajando con aguas crudas que han tenido contacto directo con el suelo y que pueden ser contaminadas muy fácilmente. De acuerdo a lo anterior, se debe garantizar una adecuada desinfección al agua antes de ser enviada a la red de distribución llevando a cabo los protocolos necesarios en este caso por el operario para añadir el cloro gaseoso que es el agente desinfectante en la PTAP.

Dentro de la zona de los tanques de almacenamiento hay un aumento considerable de las colonias detectadas, una posible causa de esto puede ser el hecho de que al servir estos tanques como filtros lentos al estar el agua reposada se sedimentan algunas sustancias que pueden servir como alimento de estas colonias lo que aumente la población exponencialmente.

Por otro lado, la eficiencia de remoción del componente microbiano en el agua saliente de la PTAP fue del 100% ya que no se detectó ninguna presencia de los mismos en este.

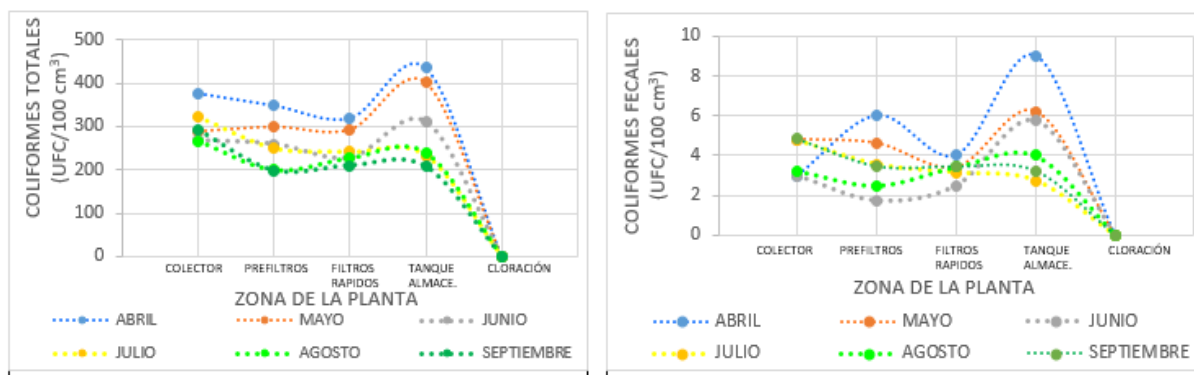


Figura 20. Cantidad de Coliformes Totales y Fecales a lo largo de las áreas de la PTAP de ESPM

6.3 Resultados Fase III. Proponer una alternativa para el mejoramiento de la calidad del agua producida por Planta de Tratamiento de Agua Potable del municipio

Como fase final, se presentó la propuesta de mejora con el diseño de un prototipo de floculador hidráulico de flujo horizontal como área principal de la PTAP con el objetivo de reducir la turbidez a su mínimo y evitar saturación en áreas siguientes en el proceso de potabilización del agua.

Como consideraciones de diseño se tomó la metodología de Handerberg y roddie y la bifurcación del caudal máximo a 32 litros por segundo para diseñar dos tanques de igual dimensión con el objetivo de mejorar el proceso de potabilización y en épocas de verano donde el caudal de operación es de 30 litros por segundo la PTAP solo utilice un tanque de floculación, dejando el otro en reserva y en épocas de invierno donde el caudal es el máximo trabaje con los dos tanques.

6.3.1 Opciones de mejora propuestas para la PTAP. Dentro del análisis hecho en los parámetros se pudo notar que el tratamiento de la turbiedad cuando viene en valores altos desde los sistemas de captación es un gran problema, con lo anterior se propone hacer un sistema de floculación que garantice una la operación óptima de la PTAP, para esto, se realizó el diseño de un prototipo de floculador de tipo horizontal de paletas siguiendo la metodología de los señores Hardenbergh y Rodie (Romero, 1999). El floculador seleccionado es de tipo flujo horizontal debido al caudal de trabajo en la PTAP, considerando que, en épocas de verano en el municipio de Málaga, ESPM se ve obligado a reducir su caudal de trabajo a 30 litros por segundo lo cual se propuso la bifurcación del caudal máximo a 32 litros por segundo (la planta maneja una capacidad máxima de 64 L/s) y operar con dos floculadores tipo horizontal de igual dimensión. Esta área de floculación es ideal construirla después del proceso de aireación (escaleras de aireación) con el fin

de reducir al máximo la turbidez y evitar saturación de material particulado en áreas siguientes de la PTAP. Esta metodología está totalmente especificada en el anexo D. Llevado a cabo el diseño se obtuvieron las siguientes dimensiones para el floculador (ver, tabla 5).

Tabla 5. *Dimensiones Floculador*

Longitud de recorrido (m)	90
Área mojada (m ²)	1.0666
Ancho de canal (separación entre placa y placa) m	0.355
Ancho de vuelta (d)	0.533
Ancho de pantalla	4.467
Cruce entre pantallas (c)	3.934
Número de canales (n)	18
Longitud del floculador (l')	6.56
Perimetro mojado (pm)	6.355
Radio hidraulico (rh)	0.167

Así mismo se realizó el test de jarras a escala laboratorio para un floculador conseguido por la empresa con el fin de determinar la concentración óptima a utilizar en función de la turbiedad del agua cruda a tratar. En el anexo E se podrá encontrar la información explícita de la prueba de las cuales se obtuvieron los siguientes resultados de la concentración óptima:

Tabla 6. *Concentración óptima Test de jarras*

Concentración ideal	40 ppm
TURBIEDAD INICIAL CADA MUESTRA (NTU)	TURBIEDAD FINAL (NTU)
Muestra 1	0.7
TURBIEDAD (NTU)= 1,75	
Muestra 2	1.88
TURBIEDAD (NTU)= 3,94	

Muestra 3	0.72
TURBIEDAD (NTU)= 1,23	
Muestra 4	1.51
TURBIEDAD (NTU)= 2,50	
Muestra 5	28.8
TURBIEDAD (NTU)= 117	
Muestra 6	26.5
TURBIEDAD (NTU)= 46,1	

Los resultados obtenidos del test de jarras realizados en el laboratorio de la escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander demuestran que la concentración óptima es la de 40 ppm ya que es la cantidad que presenta la mejor reducción de la turbiedad con respecto a la cantidad de floculante adicionada, parámetro único analizado debido a que es el que más tiene incidencia en el proceso de floculación.

7. Conclusiones

- Se evaluó el estado de operación de la PTAP de las Empresas Públicas Municipales de Málaga (ESPM), identificando que lleva a cabo el proceso de potabilización del agua mediante métodos muy convencionales (Aireación, filtración y cloración) haciendo falta varios procesos dentro de la planta (floculación, coagulación y sedimentación), haciendo que se disminuya la calidad del agua entregada a los habitantes que toman el servicio. Se hace necesario que se considere una modernización a las instalaciones para agregar los procesos faltantes para mejorar el servicio prestado.
- Se validaron los procedimientos llevados a cabo en ESPM para evaluar la calidad del agua encontrando que cumplen con la normativa actual vigente (RESOLUCIÓN 2115 de 2007), siendo

certificada y regulada por la Secretaria de Salud llevando a cabo los debidos protocolos de operación.

- Se propuso como mejora en la PTAP de ESPM la implementación del proceso de floculación para mejorar la calidad del agua principalmente en el parámetro de turbiedad, que es el que se ve afectado cuando se presentas temporadas de altas lluvias. Así mismo, se recomendó la implementación de buenas jornadas de limpieza dentro de la PTAP ya que se estaban llevando de manera muy dispersa alterando la calidad del servicio prestado.

8. Recomendaciones

- Realizar capacitaciones al operario para que pueda llevar un control de la calidad de agua captada y tratada.

- Realizar un mantenimiento exhaustivo de las unidades de la PTAP.

- Se recomienda la implementación de un estudio de dosificación del floculante y de la correcta aplicación de esta para la planta de potabilización, para garantizar que la dosis sea la correcta y corresponde a la mínima necesaria. Al igual que estudiar el posible cambio de este floculante si se encuentra una opción más económica y de mejor eficiencia.

- Se recomienda reestructurar el área de cloración o desinfección del agua con el objetivo de separar el laboratorio de calidad de agua de esta área, debido a que ocasiona daños a la salud a los integrantes del laboratorio.

- Se recomienda la construcción del área de floculación para mejor la calidad del agua y mejorar el servicio de los usuarios de Málaga Santander.

Referencias Bibliográficas

- Aguas Residuales. (2018). *Importancia de la medida de color en el agua de consumo humano*.
Obtenido de <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/importancia-de-la-medida-de-color-en-el-agua-de-consumo-humano>
- Alcaldía Municipal de Málaga Santander. (2019). *Alcaldía*. Obtenido de <http://www.malaga-santander.gov.co/tema/alcaldia>
- Blog Vecina del Picasso. (2011). *La oxidación del hierro*. Obtenido de <https://vecinadelpicasso.wordpress.com/2011/04/08/la-oxidacion-del-hierro/>
- Carita, G. (2016). *Qué pasa si el agua potable contiene Escherichia coli*. Obtenido de <http://gidahatari.com/ih-es/que-pasa-si-el-agua-potable-contiene-escherichia-coli>
- Chow, V. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Consejería de Salud y Consumo. (s.f.). *Preguntas y respuestas sobre los sulfatos en el agua de consumo humano*. Obtenido de <https://www.caib.es/sites/salutambiental/es/sulfatos-26202/>
- de Vargas, L. (s.f.). Capítulo 6. Floculación. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/seis.pdf>
- Lenntech. (s.f.). *Turbidez*. Obtenido de <https://www.lenntech.es/turbidez.htm>
- Meneses. (2017). *Reseña Histórica*. Obtenido de <http://espmalaga.com/resena-historica/#>
- Millán, C., Gualdrón, L., Diaz, D., & Melendez, N. (2019). *Plan de Contingencia Calidad del Agua Empresa de Servicios Públicos de Málaga*.
- Ministerio de la Protección Social; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). *Resolución 2115, Por medio de la cual se señalan características, instrumentos*

básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Obtenido de

https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf

Organización Mundial de la Salud, OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. Ginebra.

Organización Mundial de la Salud, OMS. (2011). *Medición del cloro residual en el agua. Guía Técnica*. Obtenido de <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/11-CloroResidual.pdf>

Orion S.A. E.S.P. (2014). *Consultoría N° 4933, ESPM, Informe Interno*.

Pure Water. (s.f.). *¿Qué es el pH del agua?* Obtenido de <https://purewater.com.co/que-es-el-ph-del-agua/>

Romero, J. (1999). *Potabilización del Agua*. México: Alfaomega Grupo Editor.

Taborda Zuñiga, D., & Venegas Zambrano, W. (2016). *Elaboración Del Mapa De Riesgos De Calidad Del Agua para consumo humano de la Quebrada La Hoya en el Municipio de Zipaquirá Cundinamarca*. Trabajo de Grado de Ingeniero Ambiental, Universidad Santo Tomás, Bucaramanga. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2897/Tabordadiego2016.pdf?sequence=1>

Torín, J. (2016). *Prueba de Jarras*. Obtenido de <https://sistemajpii.blogspot.com/2016/10/prueba-de-jarras.html>

Apéndices

Apéndice A. Descripción fuentes de captación.

Captación No. 1 Cuzagueta: la captación correspondiente a la fuente superficial denominada Quebrada Cuzagueta (ver figura 1), se encuentra ubicada en predios del municipio de Málaga, área en el cual se encuentran las obras para la adecuada conducción hasta la planta de tratamiento de agua potable (PTAP). Este sitio cuenta con una obra en concreto con rejilla de fondo con medidas 1m x 1.50 de profundidad, con brazos laterales fundidos en concreto de 2m de longitud, un tanque desarenador.

Según información suministrada por la concesión de aguas otorgada por la corporación autónoma Regional de Santander (CAS), presenta una zona forestal protectora compuesta por especies como: Mangle, Siete Cueros, Laurel, Alisos, Cordoncillo, entre otras.



Figura 1. Captación Cuzagueta

Captación No. 2 Afloramiento Cortaderas: la captación correspondiente a la fuente superficial denominada Cortaderas, es una corriente hídrica que se encuentra ubicada en las partes más altas

del municipio de Málaga y en áreas de jurisdicción de Concepción en zona limítrofe entre ambos municipios. Las bocatomas correspondientes a dichas fuentes abastecedoras se encuentran ubicados por encima de los 3000 msnm y cuentan con tanques desarenadores y aliviaderos que evitan que el sistema presente obstrucción o rupturas a lo largo del trayecto hasta la planta de tratamiento (ver, figura 2).

Según información suministrada por la concesión de aguas otorgada por la corporación autónoma Regional de Santander (CAS), presenta una zona forestal protectora compuesta por especies como: Siete Cueros, Alisos, Cordoncillo, Roble, Cincinillo, Gaque, Loto y Cucaro.



Figura 2. Captación Cortaderas

Captación No. 3 Molinos: la captación correspondiente a la fuente superficial denominada Molinos, es una corriente hídrica que se encuentra ubicada en las partes altas del casco urbano del municipio de Málaga, la bocatoma correspondiente a esta captación es de las obras más recientes que la empresa de servicios públicos ha realizado para mejorar el servicio de abastecimiento de agua potable, esta corriente superficial es de las más limpias y puras con las que cuenta el municipio debido a que aflórese por infiltración desde la parte alta de la vereda cortaderas que se encuentra por encima de los 3100 msnm. Cuenta con una obra con rejilla de fondo y brazos laterales en concreto que hacen que se aproveche la totalidad de la corriente (ver figura 23).

Según información suministrada por la concesión de aguas otorgada por la corporación autónoma Regional de Santander (CAS), presenta una zona forestal protectora compuesta por especies como: Aliso, Urapán, Chilco, Laurel, Borrachero, Eucalipto, Alcaparro, Sauco, Yatago, Sagamo, además de Helecho y Rastrojo de porte medio y bajo.



Figura 3. Captación Molinos

Captación No. 4 Carraca: la captación correspondiente a la fuente superficial denominada Carraca, (ver figura 4) se encuentra ubicada dentro del casco urbano del municipio de Málaga, área en el cual se encuentran las obras para la adecuada conducción hasta la planta de tratamiento de agua potable (PTAP). Este sitio cuenta con una obra en concreto con rejilla de fondo con medidas 1mx 1.50 de profundidad, con brazos laterales fundidos en concreto de 2m de longitud, un tanque desarenador construido en concreto.



Figura 4. Captación Carraca

Captación No. 5 Quebrada Magnolia: la captación correspondiente a la fuente superficial denominada Quebrada Magnolia, es una corriente hídrica que se encuentra ubicada en las medianías del casco urbano del municipio de Málaga, esta fuente abastecedora aflórese por medio de humedales que discurren a lo largo de la ladera formando dicha corriente hídrica. Área en el cual se encuentran las obras para la adecuada conducción hasta la planta de tratamiento de agua potable (PTAP). Este sitio cuenta con una obra en concreto con rejilla de fondo con medidas 1mx1.20. (Ver figura 5)

Según información suministrada por la concesión de aguas otorgada por la corporación autónoma Regional de Santander (CAS), presenta una zona forestal protectora compuesta por especies como: Aliso, Urapán, Chilco, Laurel, Borrachero, Eucalipto, Alcaparro y Sauco.



Figura 5. Captación Magnolia

Captación No. 6 Laureano Gómez: la captación correspondiente a la fuente superficial denominada María Auxiliadora, es una corriente hídrica que se encuentra ubicada en las medianías del casco urbano del municipio de Málaga, unos metros más abajo cuenta con una estación de tratamiento previo, que llega a una segunda planta ubicada en el mismo sector, abasteciendo a una pequeña parte de la población. Área en el cual se encuentran las obras para la adecuada conducción hasta la planta de tratamiento de agua potable (PTAP). Este sitio cuenta con una obra en concreto con rejilla de fondo (ver figura 6).



Figura 6. Captación Laureano Gómez

Algunas de las características generales de las tuberías utilizadas de cada una de las captaciones

hasta el ingreso a la PTAP se describen en la tabla 7.

Tabla 1. *Características generales de las tuberías de las Captaciones*

NOMBRE	CAUDAL (L/s)	MATERIAL	DIAMETRO pulgadas	Longitud KM	DISEÑO
CUZAGUETA	70	PVC	6 A 8	7	GRAVEDAD
CORTADERAS	45	PVC, Asbesto	2 A 4	6	GRAVEDAD
MAGNOLIA	15	ALBESTO CEMENTO	2 A 4	1.8	GRAVEDAD
CARRACA	12	PVC	2 A 4	1	GRAVEDAD
MOLINOS	25	PVC	6 A 8	4	GRAVEDAD
LAUREANO GOMEZ	13	PVC y Asbesto	2 A 4	2	GRAVEDAD

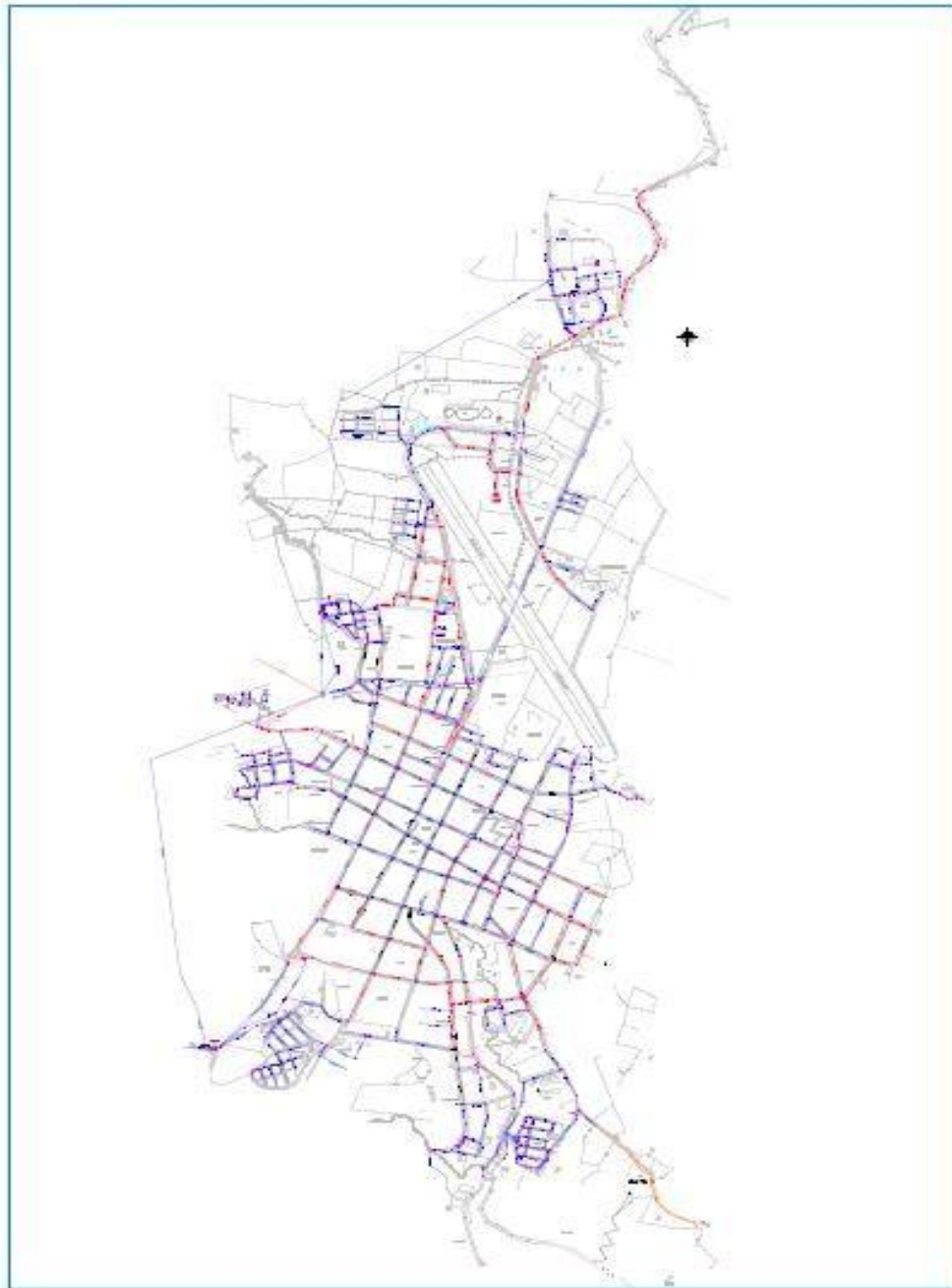
Estructuras de Captación: todas las captaciones se hacen a través de rejillas de fondo a las cuales se les hace limpieza cada dos días debido a la alta presencia de hojas y sedimentos arrastrados por las quebradas. En época de verano esta limpieza debe hacerse a diario para evitar la obstrucción de las captaciones y así poder captar todo el caudal disponible de las fuentes. Esta captación del 100% del caudal disponible en épocas de verano se hace debido a la gran disminución que se genera en los mismos.

Desarenadores: el desarenador es una cámara destinada a la remoción y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación (fuente: glosario Resolución 1096 del 17 de noviembre de 2000). Existe una estructura de desarenador para cada fuente, se presenta un listado de los mismos con sus capacidades en la siguiente tabla

Tabla 2. *Capacidades desarenadores de las captaciones*

Fuente	Volumen del desarenador (m ³)
Cuzagueta	20
Cortaderas	18
La Magnolia	9
Los Molinos	24
Carraca	4
Laureano Gómez	0.5

Apéndice B. Sistema de distribución Málaga



Apéndice C. Análisis puntos de muestreo en el municipio.

Turbiedad (NTU): cómo se puede observar en la figura 7, el comportamiento de la turbiedad durante los seis meses estudiados en el municipio de Málaga-Santander tomadas en los 5 puntos concertados por ESPM y la secretaria de salud de Santander, se evidencio que el mes de septiembre presentó grandes aumentos de turbiedad debido a factores como; razonamientos de agua en las primeras semanas de este mes lo cual ocasiona que cuando se reanude el servicio al municipio haya arrastre de material particulado de la red de distribución que aún se encuentra en material de asbesto cemento lo que produce aumento de este parámetro considerablemente.

Por otro lado, el punto de María auxiliadora es un tema particular de aumento de este parámetro, ya que en este se cuenta con tanques de reforzamiento de caudal debido a que esta zona es el punto más alto de la ciudad y la presión del sistema de distribución generado por la PTAP no alcanza debido a que se realiza por gravedad. Estos tanques de reforzamiento cuentan con 4 filtros empacados auto limpiantes y dos tanques de almacenamiento de capacidad 540 m³ cada uno donde se lleva a cabo el proceso de desinfección con hipoclorito de sodio, por lo cual lo anterior es la causante a que los parámetros se vean afectados debido a que es un proceso muy básico de tratamiento de agua potable.

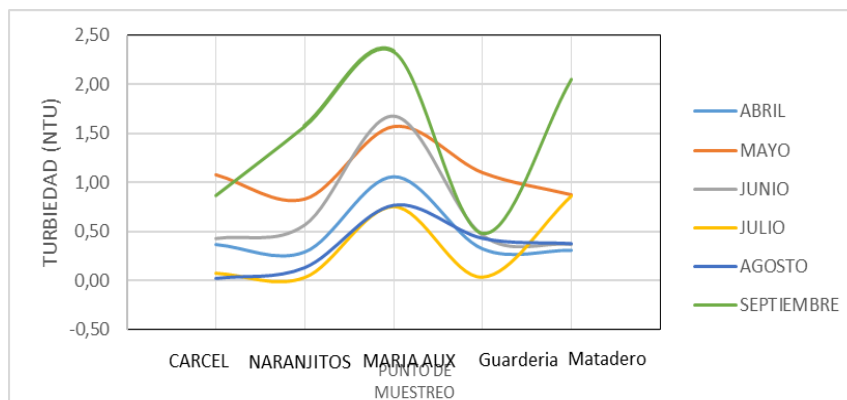


Figura 7. Resultados análisis de turbiedad a lo largo de los puntos de muestreo Municipales de ESPM

Dureza total (mg/L CaCO₃): el comportamiento de la Dureza total (ver figura 8), durante los seis meses estudiados en el municipio de Málaga-Santander tomadas en los 5 puntos concertados por ESPM y la secretaria de salud de Santander, evidencio que el agua más dura se presentó en el mes de septiembre con un contenido promedio de 110 mg/l de CaCO₃ debido a lavados irregulares por parte de los operarios en planta, también para este mes se saturaron los pre-filtros y filtros rápidos en la PTAP debido a lo anterior.

El punto de María auxiliadora presenta los valores más atípicos de dureza debido a que en este se cuenta con tanques de reforzamiento de caudal debido a que esta zona es el punto más alto de la ciudad y la presión del sistema de distribución generado por la PTAP no alcanza debido a que se realiza por gravedad. Estos tanques de reforzamiento cuentan con 4 filtros empacados auto limpiantes y dos tanques de almacenamiento de capacidad 540 m³ cada uno donde se lleva a cabo el proceso de desinfección con hipoclorito de sodio, por lo cual lo anterior es la causante a que los parámetros se vean afectados debido a que es un proceso muy básico de tratamiento de agua potable.

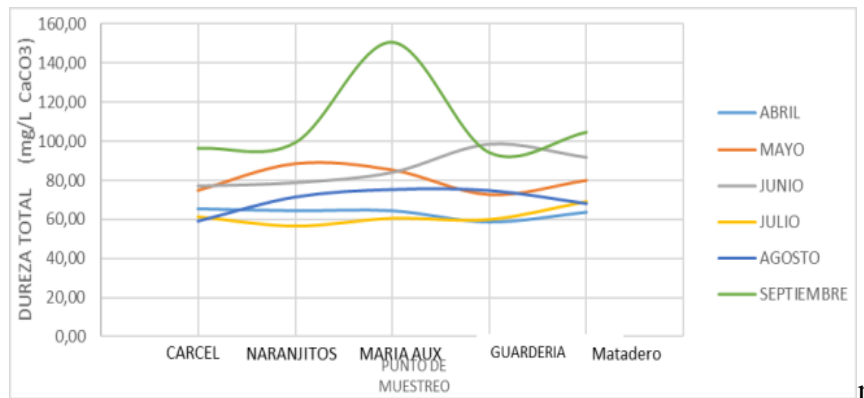


Figura 821. Resultados análisis de Dureza a lo largo de los puntos de muestreo Municipales de ESPM

Cloruros: cómo se puede observar en la figura 9. El comportamiento de la turbiedad durante los seis meses estudiados en el municipio de Málaga-Santander tomadas en los 5 puntos concertados por ESPM y la secretaria de salud de Santander, evidenciaron que para los meses de junio y julio los valores de cloruros tomados fueron diferentes debido a que la inyección de cloro gaseoso para estos meses fue más alta de lo establecido por ESPM y reaccionan rápidamente con el hidrogeno del agua produciendo iones de cloro que son detectados por el espectro

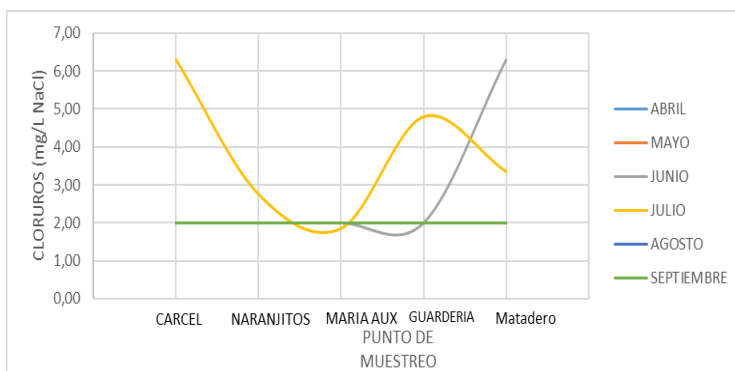


Figura 9. Resultados análisis de cloruros a lo largo de los puntos de muestreo Municipales de ESPM.

Hierro total: cómo se puede observar en la figura 10. El comportamiento de hierro total durante los seis meses estudiados en el municipio de Málaga-Santander tomadas en los 5 puntos concertados por ESPM y la secretaria de salud de Santander, se evidencio que el mes de abril presentó grandes aumentos de hierro excediendo el límite propuesto por la resolución 2115 del 2007 debido a que en este mes dentro de la PTAP no se habían implementado formatos de limpieza para el área de cloración y red de distribución donde los tubos son de material de hierro, pueden corroerse y disolver hierro dentro del abastecimiento de agua para luego ser enviada al municipio (Carita, 2016).

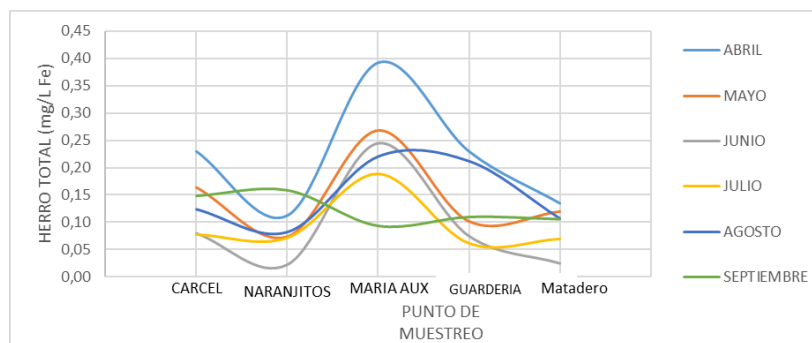


Figura 10. Resultados análisis de Hierro total a lo largo de los puntos de muestreo Municipales de ESPM

pH (unidad de pH): el comportamiento del pH es de tipo neutro-alcalino, aunque se pudo observar un pequeño aumento hacia la parte alcalina (ver, figura 11), esto es contribuido a que a medida que se lleva el proceso de potabilización en la PTAP junto con la red de distribución del municipio de Málaga-Santander se quedan atrapados sustancias que le aportan acidez al agua, por otro lado el proceso de desinfección del agua se realiza por inyección de cloro gaseoso y al ser una sustancia de tipo acida hace que el pH disminuya un poco. No obstante, estos comportamientos no

representan cambios significativos ya que no se sale del rango permisible por la resolución 2115 de 2007.

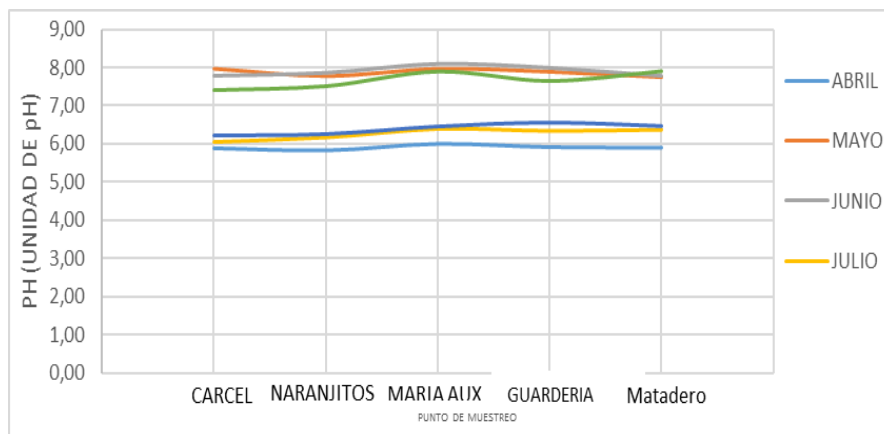


Figura 11. Resultados análisis de PH a lo largo de los puntos de muestreo Municipales de ESPM

Color (UPC): El comportamiento del color en los puntos concertados por la secretaria de salud y ESPM se mantuvo constante en valores inferiores a 1 (Figura 12), debido a la calidad de proceso de potabilización del agua que hace que no haya arrastre de material particulado que contribuya a que este parámetro aumente.

Por otro lado, se puede notar que el mes donde se presentó mayor afectación en este parámetro fue en el mes de mayo debido a que es considerado como época invernal en el cual hay crecimiento de los caudales repercutiendo en el arrastre de material particulado, otro factor de gran importancia es la falta de mantenimiento y limpieza dentro de la PTAP debido a que no se había implementado las jornadas de limpieza continuas para mejorar la calidad del agua potable en ese mes de mayo.

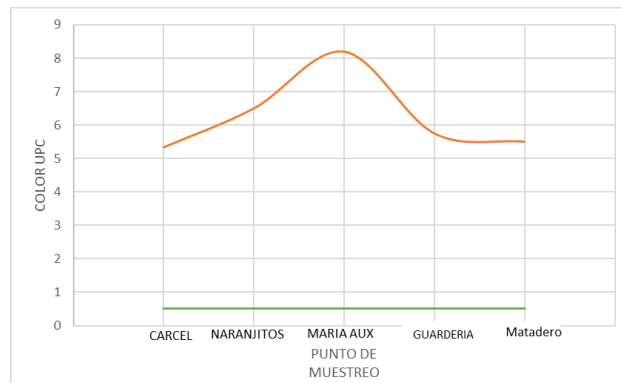


Figura 12. Resultados análisis de Color a lo largo de los puntos de muestreo Municipales de ESPM

Cloro residual (mg/L cloro): el comportamiento del cloro residual en los puntos concertados por la secretaria de salud y ESPM se mantuvo constante en valores entre 0,5 y 1,2 durante los meses de abril a septiembre (ver, figura 13), lo cual valida que no exista presencia de microorganismos (*escherichia coli*, coliformes totales) que garantiza un agua de alta calidad para los usuarios inscritos al servicio.

Por otro lado, se puede notar que en los puntos de muestreo de Matadero (zona industrial) y Naranjitos se presenta menor cantidad de cloro residual debido a que el cloro utilizado es gaseoso y al ser estos puntos los más distantes del municipio el cloro se evapora rápidamente ocasionando la disminución del parámetro, pero la empresa garantiza que el agua que se distribuye al municipio este en ausencia de microorganismos y esté en el rango permisible por la resolución 2115 de 2007.

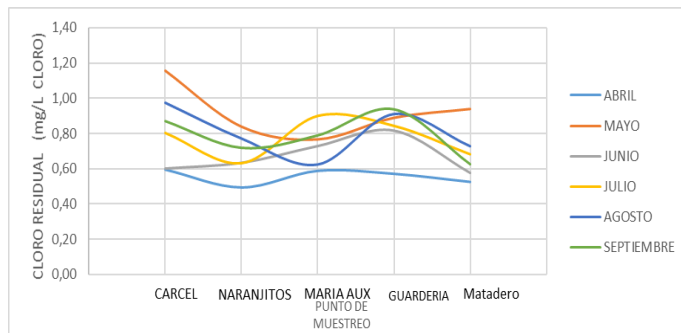


Figura 13. Resultados análisis de Cloro residual a lo largo de los puntos de muestreo Municipales de ESPM

Nitritos: en general, el comportamiento de los nitritos a lo largo de la PTAP es buena, pues el rango de este parámetro no sobrepasa (0-0.3) mg/L NO₂ (ver, figura 14), lo cual se encuentra por debajo del valor máximo permisible de la norma de la resolución 2115 de 2007 que es 0.1 mg/L NO₂.

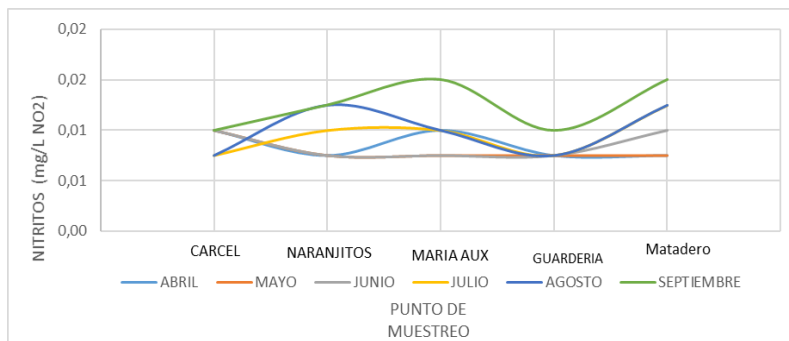


Figura 14. Resultados análisis de Nitritos a lo largo de los puntos de muestreo Municipales de ESPM

Sulfatos: en el comportamiento de los sulfatos en los puntos concertados por la secretaria de salud, presento un leve aumento en los puntos de María Auxiliadora y Matadero (ver, figura 15),

esto se debe a los sedimentos que puede haber al servir estos tanques como filtros lentos dentro de la PTAP para luego ser distribuida a los usuarios, por lo cual al entrar el agua fresca que entra aumenta su concentración de estos iones.

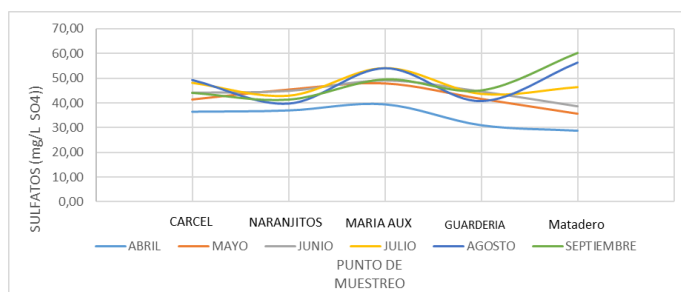


Figura 15. Resultados análisis de Sulfatos a lo largo de los puntos de muestreo Municipales de ESPM

Coliformes totales:



Figura 16. Resultados análisis de Coliformes Totales a lo largo de los puntos de muestreo Municipales de ESPM

Escherichia coli: en cuanto a los análisis de tipo microbiológico realizado se obtuvo que en todas las zonas de muestreo no hay presencia de colonias microbianas, pues era de esperarse, debido a que la planta cuenta con un área de cloración que permite la eliminación total de colonias

microbianas garantizando un agua apta para consumo humano que cumple lo estipulado por la resolución 2115 de 2007.

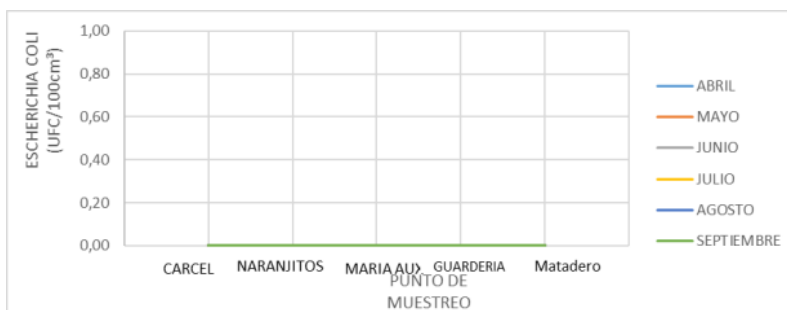


Figura 17. Resultados análisis de Coliformes Fecales a lo largo de los puntos de muestreo Municipales de ESPM

Apéndice D. Diseño tanque de floculación.

Para en diseño del tanque de floculación se consideró trabajar con el caudal de diseño de la PTAP 64L/s, sin embargo, se decidió bifurcar el caudal y trabajarlo en dos tanques idénticos que trabajen con un caudal de 32L/s cada uno. Para el dimensionamiento, se trabajó, con el modelo matemático recomendado por los señores Hardenbergh y Roddie (Romero, 1999) descrito de la siguiente forma:

Como parámetro principal e inicial a tener en cuenta en el diseño de floculadores está el gradiente de velocidad que controla el grado de agitación producido, el cual es calculado por la siguiente ecuación:

Gradiente de velocidad

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} = \sqrt{\frac{1,66667}{1*0,320}} \quad \text{Ec (1)}$$

$$G = 2,28 \text{ S}^{-1}$$

Donde,

P: potencia disipada

μ : viscosidad cinemática, Pa*S

V=volumen

Para el diseño del floculador se consideraron tres parámetros importantes como son el

Caudal máximo de diseño, el tiempo de residencia y la velocidad.

Caudal máximo de diseño:

$$Q_{md}=32 \text{ l/s} \qquad \text{Ec (2)}$$

Tiempo de residencia=5 minutos; 300s

Velocidad=0,3 m/s

A continuación, las siguientes ecuaciones de diseño según la metodología de los señores Hardenbergh y Roddie para flocladores hidráulicos de flujo horizontal.

Longitud de recorrido

$$L = V * t \qquad \text{Ec(3)}$$

$$L = 0,3 \frac{m}{s} * 300 \text{ S}$$

$$L = 90 \text{ m}$$

Donde,

V: velocidad

t: tiempo de residencia.

Área mojada

$$Am = \frac{Q_{md}}{v} \qquad \text{Ec (4)}$$

$$Am = \frac{0,32 \text{ m}^3/\text{s}}{0,3\text{m}/\text{s}}$$

$$Am = 1,06666 \text{ m}^2$$

Ancho de canal (separación entre placa y placa)

$$a = \frac{Am}{H} \qquad \text{Ec (5)}$$

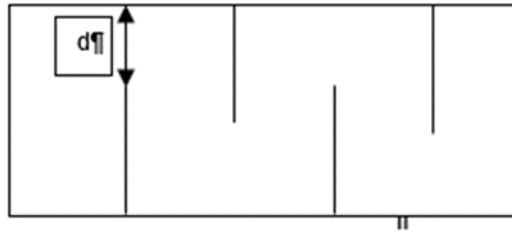
$$a = \frac{1,0666\text{m}^2}{3\text{ m}}$$

$$a = 0,355\text{m}$$

Donde,

H: altura () \rightarrow 2m

Ancho de vuelta (d)



$$d = 1,5 * a \text{ (Hardenbergh y Roddie)} \quad \text{Ec (6)}$$

$$d = 1,5 * 0,355\text{m}$$

$$d = 0,533$$

Ancho de pantalla

$$Bp = Bt - d \quad \text{Ec (7)}$$

$$Bp = 5 - 0,533$$

$$Bp = 4,467\text{m}$$

Donde

Bt: Ancho total

d: ancho de vuelta

Cruce entre pantallas (C)

$$C = Bt - 2d \quad \text{Ec (8)}$$

$$C = 5 - 2(0,533)$$

$$C = 3,934m$$

Por heurística,

$$C > \frac{Bt}{3}; C > \frac{5}{3}$$

$$3,934 > 1,666$$

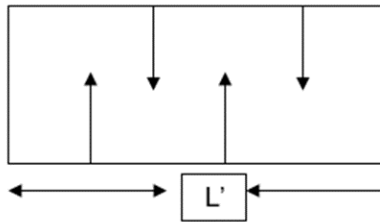
Número de canales (N)

$$N = \frac{L}{Bt} \quad \text{Ec (9)}$$

$$N = \frac{90m}{5}$$

$$N = 18$$

Longitud del floculador (L')



$$L' = N * a + (N - 1) * e \quad \text{Ec (10)}$$

$$L' = 18 * 0,355m + (18 - 1) * 0,01$$

$$L' = 6,56m$$

Donde,

a: ancho de canal

e : espesor \rightarrow (HEURISTICA) \rightarrow 1CM

N : número de canales.

Perímetro mojado (P_m)

$$P_m = 2 * H + a \quad \text{Ec (11)}$$

$$P_m = 2 * 3 + 0,355$$

$$P_m = 6,355$$

Radio hidráulico (R_h)

$$R_h = \frac{A_m}{P_m} \quad \text{Ec (12)}$$

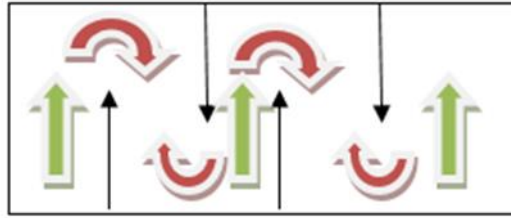
$$R_h = \frac{1,066}{6,355}$$

$$R_h = 0,1677$$

Por último, la pérdida de carga total es la suma de dos parciales. La primera, de menor cuantía, debida a la fricción en el canal; y la segunda, la principal, debida a los cambios de dirección. A continuación, el procedimiento para el cálculo de las pérdidas de carga total (de Vargas, s.f.).

Perdida de carga total

Por último, la pérdida de carga total es la suma de dos parciales. La primera, de menor cuantía, debida a la fricción en el canal; y la segunda, la principal, debida a los cambios de dirección. A continuación, el procedimiento para el cálculo de las pérdidas de carga total (de Vargas, s.f.).



Perdida por fricción en el tanque: para el n de Manning se recurrió a los diversos valores que se encuentran en la bibliografía, encontrando diversos valores que podrían ser aplicados considerando que el acrílico no está definido como material para canales.

Tabla 3. Valores n de Manning para evaluar pérdidas de fricción

Tipo de canal	Material	Mínimo	Normal	Máximo
Conducto cerrado parcialmente llenos	Metal – Latón liso	0.009	0.010	0.013
	Vidrio	0.009	0.010	0.013
	Concreto bien terminado	0.011	0.012	0.014
Canales desarmables o revestidos	Metal liso sin pintar	0.011	0.012	0.014
	Concreto terminado con llana metálica	0.011	0.013	0.015

Si se considera que el material de los canales es en concreto bien terminado para los diversos tipos de canales especificados en la Tabla el valor de n es 0,012 (Chow, 1994).

Según lo dispuesto anteriormente, valor de n de Manning es igual a 0,012

Manning Real (hr) =

$$\frac{(n * V)^{2 * L}}{R h^{4/3}} = \frac{(0,012 * 0,3 \frac{m}{s})^2 * 90}{0,092479} = 0,01261 \text{ Ec(13)}$$

Perdida adicional en el tanque

$$H = \frac{3(N-1)V^2}{2g} = \frac{3(18-1)*(0,3)^2 \text{ m/s}}{2*9,8} = \frac{4,59}{2*9,8} = 0,2342 \text{ Ec(14)}$$

Pérdida total

$$H_t = h_r + H = 0,01261 + 0,2342 = 0,24681 \text{ Ec(15)}$$

Apéndice E. Prueba de Jarras

Test en jarras: la prueba de jarras es una técnica de laboratorio que pretende realizar una simulación del proceso de clarificación del agua que se lleva a cabo en la planta, de manera que permite evaluar a escala y de una manera rápida la acción que ejerce sobre el proceso de clarificación la variación de los diferentes parámetros como velocidad y/o tiempo de agitación.

Resulta ser un ensayo fundamental para, básicamente, determinar a nivel de laboratorio la dosis de insumos químicos que deben aplicarse en una planta con el fin de lograr cambios favorables en la calidad del agua. Esta prueba consiste en adicionar diferentes cantidades de un agente floculante, normalmente sulfato de aluminio, a diferentes jarras que contienen el agua a tratar. Esto con el fin de determinar el valor óptimo de agente floculante a utilizar, es decir, aquella cantidad que otorgue un valor de turbidez mínimo para el agua tratada.

La prueba de jarras se usa para:

- Evaluar, determinar y optimizar las variables químicas del proceso de coagulación y/o floculación, esto es, medir el desempeño de uno o varios productos químicos dados, coagulante, floculante, etc., y encontrar la dosificación adecuada, tanto en términos de calidad final del agua obtenida, como en términos económicos.

- Encontrar el punto o etapa de dosificación adecuado para el producto que se ensaya
- En operación, tomar decisiones rápidas sobre la dosificación de químicos a utilizar de acuerdo a las variaciones en la calidad del agua cruda (Torín, 2016).

Floculador: Ivey ecopac, es un producto para coagular, flocular y sedimentar las partículas en suspensión y contaminantes presentes en el agua de origen natural, cruda y/o residual (industrial o

doméstica), permitiendo un proceso de clarificación más eficiente y eficaz, dada su mayor capacidad de remoción de sólidos suspendidos con menos dosis que en tratamientos convencionales [20]. No contiene bacterias u otros microorganismos que interfieran o desestabilicen los sistemas de tratamiento. No es tóxico. Es corrosivo, por ello debe manipularse con precaución y de acuerdo con las buenas prácticas de higiene industrial y seguridad.

Beneficios: es una sal inorgánica utilizada exitosamente en procesos de clarificación de Aguas debido a su desempeño superior en la remoción de materia orgánica y partículas en suspensión y su capacidad de garantizar un proceso con mínima variación y menor costo que los coagulantes convencionales.

- Precipita la materia orgánica facilitando su extracción.
- Acelera la precipitación de partículas en suspensión para facilitar su remoción.
- Permite remover sin dificultad los sólidos suspendidos, sólidos finamente divididos y materiales coloidales.
- Reduce o elimina los olores.
- Ideal para plantas de tratamiento y piscinas.
- Permite remover o reducir sus contaminantes del agua para lograr que las características físicas, químicas, organolépticas y microbiológicas den cumplimiento a la normatividad legal vigente.

Especificaciones técnicas

- Estado físico: Líquido.
- Color: Amarillo Ámbar claro - oscuro

- pH: Ácido, desde 0 a 4 unidades de pH
- Solubilidad 100% en Agua
- Es corrosivo.

Aplicaciones Ivey Ecopac: es empleado para el tratamiento de agua de origen natural o cruda, residual industrial y residual domestica para llevar a cabo procesos de clarificación del recurso.

Resultado test de jarras

Tabla 4. Resultados de la prueba de test de jarras

Muestra 1	20 Ppm	40 Ppm	80 Ppm	100 Ppm
pH = 7,38	6.50	6.68	6.89	7.03
Turbiedad (NTU)= 1,75	0.83	0.7	0.9	1.08
T° = 20,6°C	26.6	26.3	26.4	26.3
Muestra 2	20 Ppm	40 Ppm	80 Ppm	100 Ppm
pH= 7,21	7.21	7.5	7.61	7.81
Turbiedad (NTU)= 3,94	1.84	1.88	1.76	2.04
T° = 20°C	26.3	26	25.9	25.8
Muestra 3	20 Ppm	40 Ppm	80 Ppm	100 Ppm
pH = 7,41	6.92	7.18	7.39	7.44
Turbiedad (NTU)= 1,23	0.85	0.72	0.84	0.87
T° = 20,4°C	25.2	25.1	25.2	25.1
Muestra 4	20 Ppm	40 Ppm	80 Ppm	100 Ppm
pH = 7,62	7.21	7.42	7.58	7.65
Turbiedad (NTU)= 2,50	1.41	1.51	1.48	1.51
T° = 18°C	22	25.2	25.2	25.3
Muestra 5	20 Ppm	40 Ppm	80 Ppm	500 Ppm
pH = 6,10	6.60	6.5	6.43	6.25
Turbiedad (NTU)= 117	56.5	28.8	37.8	6.4
T° = 25,5	25.2	25.2	25.3	25.4
Muestra 6	20 Ppm	40 Ppm	80 Ppm	100 Ppm

pH = 6,23	7.14	7.09	7.19	6.24
Turbiedad (NTU)= 46,1	19	26.5	20.3	19.1
T° = 26,7 °C	25.8	25.7	25.8	25.9

Apéndice F. Procedimientos Operativos Estandarizados de Saneamiento

1. Determinación de cloro residual libre en agua potable

- **Objetivo:** determinar la cantidad de Cl_2 en una determinada muestra de agua potable.
- Método

Test de cloro: para determinación de cloro libre. Aprobado por la USEPA (United States Environmental Protection Agency). En solución débilmente ácida el cloro libre reacciona con dipropil-p-fenilendiamina (DPD) dando un colorante violeta rojizo que se determina fotométricamente.

CUBETA	INTERVALO DE MEDIDA
10 mm	0,05-6,00 mg/L de Cl_2

- Procedimiento

Materiales, equipos y reactivos:

- QuantTM Test cloro (Reactivo Cl^{-1})
- Autoselector
- Tiras indicadoras de Ph
- Pipeta para un volumen de pipeteo de 10 ml
- Cubetas rectangulares de 10 mm

- Preparación
- Analizar las muestras inmediatamente después de la toma de muestras.
- El valor de pH debe encontrarse en intervalo de 4-8, si es necesario, ajustar con solución de

Hidróxido sódico o con ácido sulfúrico.

- Filtrar las muestras turbias.
- Técnica

Muestra preparada (5-40°C)	10 m	Pipetear en un tubo de ensayo.
-1	1 microcucharada de azul raza (en	Añadir y agitar vigorosamente
Reactivo Cl ₂	la tapa del frasco	hasta que el reactivo se haya
	-1	disuelto completamente.
	Cl ₂)	
Dejar en reposo 1 minuto (tiempo de reacción), luego introducir la muestra de medición en la cubeta y medir en el fotómetro.		

Nota sobre la medición:

- Ciertos fotómetros exigen una muestra en blanco (Agua destilada sin reactivo).
 - Para la medición fotométrica las cubetas deben estar completamente limpias. Secarlas con un paño limpio y seco.
 - Las turbiedades después de la reacción pueden dar resultados falsamente elevados.
 - El valor del pH de la solución de medición permanece estable 30 min después de transcurrido el tiempo de reacción antes indicado.
- Análisis y reporte

Unidades de reporte
mg/L de Cl ₂

2. Determinación de cloruros en agua potable

- **Objetivo:** determinar la cantidad de Cloruros (Cl⁻) en una determinada muestra de agua

potable.

- Método:

Test de cloruros: para determinación de la cantidad de iones cloruro (Cl^-). Los iones cloruro reaccionan con tiocinato de mercurio (II) dando cloruro de mercurio (II) poco disociado. El tiocinato aquí liberado forma con iones hierro (III) tiocinato de hierro (III) que se determina fotométricamente.

CUBETA	INTERVALO DE MEDIDA
10 mm	2,5-250 mg/L de Cl^-

- Procedimiento

Materiales, equipos y reactivos

- QuantTM Test cloro (Reactivo Cl^-1)
- QuantTM Test cloro (Reactivo Cl^-2)
- Autoselector
- Tiras indicadoras de pH
- Pipeta para un volumen de pipeteo de 10 mL
- Cubetas rectangulares de 10 mm

- Preparación

- Analizar las muestras inmediatamente después de la toma de muestras.
- El valor de pH debe encontrarse en intervalo de 1-12, si es necesario, ajustar con solución de Hidróxido sódico o con ácido sulfúrico.

- Filtrar las muestras turbias.

- Técnica:

Intervalo de medida 2,5 – 25,0 mg/l de Cl^-

Muestra preparada	(10-30°C) Reactivo	5 mL	Pipetear en un tubo de ensayo.
Cl^-			
Reactivo Cl^- ²		2,5 ml	Añadir y agitar vigorosamente hasta que el reactivo se haya disuelto completamente.
		0,5 ml	
Dejar en reposo 1 minuto (tiempo de reacción), luego introducir la muestra de medición en la cubeta y medir en el fotómetro.			

Intervalo de medida 10 – 250 mg/l de Cl^- :

Muestra preparada	(10-30°C) Reactivo	1,0 mL	Pipetear en un tubo de ensayo.
Cl^-			
Reactivo Cl^- ²		2,5 ml	Añadir y agitar vigorosamente hasta que el reactivo se haya disuelto completamente.
		0,5 ml	
Dejar en reposo 1 minuto (tiempo de reacción), luego introducir la muestra de medición en la cubeta y medir en el fotómetro.			

Notas sobre la medición:

- Ciertos fotómetros exigen una muestra en blanco (Agua destilada sin reactivo).
- Para la medición fotométrica las cubetas deben estar completamente limpias. Secarlas con un paño limpio y seco.
- Las turbiedades después de la reacción pueden dar resultados falsamente elevados.

- El valor del pH de la solución de medición debe ser aproximadamente 1.
- El color de la solución de medición permanece estable 30 minutos después de transcurrido el tiempo de reacción antes indicado.

- Análisis y reporte

Unidades de reporte
mg/L de Cl ⁻

3. Determinación de dureza total en agua potable

- **Objetivo:** determinar la cantidad de dureza total en una determinada muestra de agua potable.

- Método

Determinación volumétrica con pipeta de valoración: los iones calcio y magnesio forman con un indicador un complejo color rojo. A partir de este se libera el indicador al valorar con una solución de dihidrato de la sal disódica del ácido etilendinitrilotetraacético (Triplex III). En el punto final de la valoración tiene lugar un viraje a verde. La dureza total se deduce del consumo de solución valorante.

TUBO DE ENSAYO	INTERVALO DE MEDIDA
50ml	5 - 215 mg/l de Ca

- Procedimiento

Materiales, equipos y reactivos

- MQuantTM Tests Dureza total.
- Autoselector
- Pipeta para un volumen de pipeteo de 5ml
- Tubo de ensayo de 50 ml
- Reactivo H-1(solución indicadora).
- Reactivo H-2(solución valorante).

- Preparación

- Comprobar la dureza total con MQuantTM Tests Dureza total.

• El valor del pH debe encontrarse en el intervalo 6-8. si es necesario, ajustar con solución de hidróxido sódico o con ácido clorhídrico.

- Técnica

Enjuagar varias veces el recipiente de ensayo con la muestra preparada.		
Muestra preparada (15-30°C)	5ml	Añadir y agitar por balanceo.
Reactivo H-1	3 gotas	En presencia de formadores de dureza la muestra se colorea de rojo .

Nota sobre la medición:

• Para la medición fotométrica las cubetas deben estar completamente limpias. Secarlas con un paño limpio y seco.

- Las turbiedades después de la reacción pueden dar resultados falsamente elevados.

- Análisis y reporte

Unidades de reporte

mg/L de CaCO_3

4. Determinación de hierro en agua potable

- **Objetivo:** determinar la cantidad de Hierro (**Fe**) en una determinada muestra de agua potable.

- Método

Test de hierro para determinación de la cantidad de iones **Fe**. Todos los iones hierro se reducen a iones hierro (II). Éstos, en medio amortiguado con tioglicolato, forman con un derivado de triazina un complejo violeta rojizo que se determina fotométricamente.

Cubeta	Intervalo de medida
10 mm	0,005-5,00 mg/l de Fe

- Procedimiento

Materiales, equipos y reactivos

- QuantTM Test hierro (Reactivo Fe^{-1})
- Autoselector
- Tiras indicadoras de pH
- Pipeta para un volumen de pipeteo de 5,0 mL
- Cubetas rectangulares de 10 mm

- Preparación

• Analizar las muestras inmediatamente después de la toma de muestras. En otro caso conservar con ácido nítrico al 65% (1 ml de ácido nítrico para 1L de solución de muestra).

- Comprobar el contenido de hierro, las muestras con más de 5,00 mg/L de Fe deben diluirse con agua destilada antes de la disgregación.
- El valor de pH debe encontrarse en intervalo de 1-10, si es necesario, ajustar con solución de Hidróxido sódico o con ácido sulfúrico.
- Filtrar las muestras turbias.

- Técnica

Muestra preparada (10-40°C)	5,0 mL	Pipetear en un tubo de ensayo.
Reactivo Fe ⁻¹	3 gotas	Añadir y agitar vigorosamente hasta que el reactivo se haya disuelto completamente.
Dejar en reposo 3 minutos (tiempo de reacción), luego introducir la muestra de medición en la cubeta y medir en el fotómetro.		

Nota sobre la medición:

- Ciertos fotómetros exigen una muestra en blanco (Agua destilada sin reactivo).
- Para la medición fotométrica las cubetas deben estar completamente limpias. Secarlas con un paño limpio y seco.
- Las turbiedades después de la reacción pueden dar resultados falsamente elevados.
- El valor del pH de la solución de medición debe encontrarse en el intervalo de 3,2-4,5.
- El color de la solución de medición permanece estable como mínimo 60 minutos después de transcurrido el tiempo de reacción antes indicado.

- Análisis y reporte

Unidades de reporte

mg/L de Fe

5. Determinación de nitritos en agua potable

- **Objetivo:** determinar la cantidad de nitritos (NO_2^-) en una determinada muestra de agua potable.

- Método

Test de nitritos: para determinación de la cantidad de iones de nitritos. En solución ácida los iones nitrito forman con el ácido sulfanílico una sal de diazonio que reacciona con el diclorhidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina dando un azocolorante violeta rojizo. Este colorante se determina fotométricamente.

CUBETA	INTERVALO DE MEDIDA
10 mm	0,002-1,00 mg/L de NO_2^-

- Procedimiento

Materiales, equipos y reactivos

- QuantTM Test nitritos (Reactivo NO_2^-)
- Autoselector
- Tiras indicadoras de pH
- Pipeta para un volumen de pipeteo de 5 mL
- Cubetas rectangulares de 10 mm

- Preparación

- Analizar las muestras inmediatamente después de la toma de muestras.
- El valor de pH debe encontrarse en intervalo de 2-10, si es necesario, ajustar con solución de Hidróxido sódico o con ácido sulfúrico.

- Comprobar el contenido de nitritos, las muestras con más de 1,00 mg/L de NO_2^- deben

diluirse con agua destilada.

- Filtrar las muestras turbias.

- Técnica

Muestra preparada (15-25°C)	5 ml	Pipetear en un tubo de ensayo.
Reactivo NO_2^-	1 micro cucharada de azul raza (en la tapa del frasco NO_2^-)	Añadir y agitar vigorosamente hasta que el reactivo se haya disuelto completamente. El valor de pH debe encontrarse intermedio entre 2,0-2,5.
Dejar en reposo 10 minutos (tiempo de reacción), luego introducir la muestra de medición en la cubeta y medir en el fotómetro.		

Nota sobre la medición:

- Ciertos fotómetros exigen una muestra en blanco (Agua destilada sin reactivo).
- Para la medición fotométrica las cubetas deben estar completamente limpias. Secarlas con un paño limpio y seco.
- Las turbiedades después de la reacción pueden dar resultados falsamente elevados.
- El valor del pH de la solución de medición debe encontrarse en el intervalo 2,0-2,5.
- El color de la solución de medición permanece estable como mínimo 60 minutos después de transcurrido el tiempo de reacción indicado.

- Análisis y reporte

Unidades de reporte
mg/L de NO_2^-

6. Determinación de sulfatos en agua potable

- **Objetivo:** determinar la cantidad de SO_4^{2-} en una determinada muestra de agua potable.

4

- Método

Test de sulfatos para determinación de iones sulfatos. Los iones sulfatos reaccionan con yodato bórico liberando iones yodato. Éstos oxidan tanino aun compuesto rojo pardusco que se determina fotometricamente.

CUBETA	INTERVALO DE MEDIDA
10 mm	25-300 /l de SO_4^{2-}
	4

- Procedimiento

Materiales, equipos y reactivos

- QuantTM Test sulfatos (Reactivos [$SO_4 - 1$], [$SO_4 - 2$], [$SO_4 - 3$], [$SO_4 - 4$])
- Autoselector
- Pipeta para un volumen de pipeteo de 2,5mL
- Cubetas rectangulares de 10 mm
- Baño de agua
- Embudo de vidrio aprox.2cm

- Preparación

- Enjuagar a fondo los tubos de ensayo antes de cada determinación con agua destilada.
- Analizar las muestras inmediatamente después de la toma de muestras.
- Comprobar el contenido de sulfatos con el QuantTM Test sulfates. las muestras con más de

300 mg/l de SO^{2-} deben diluirse con agua destilada.

- El valor del pH debe encontrarse en el intervalo 2-10. si es necesario, ajustar con solución de hidróxido sódico o con ácido clorhídrico.

- Técnica

Muestra preparada (15-40°C)	2,5 mL	Pipetear en un tubo de ensayo.	
Reactivo SO^{1-}	1 microcucharada verde rasa (en	Añadir y agitar vigorosamente hasta que el reactivo se haya disuelto completamente.	
4	la tapa del frasco SO^{2-})		
Reactivo SO^{2-}	4		
4			
Calentar el tubo durante 5 minutos a 40°C en el baño de agua (tiempo de reacción A).			
Reactivo SO^{3-}	2,5 ml	Añadir con pipeta, cerrar el tubo	
4		y mezclar.	
Filtrar el contenido del tubo a través de un filtro redondo a un segundo tubo de ensayo: filtrado.			
Reactivo SO^{4-}	4 Gotas	Añadir al filtrado, cerrar el tubo	
4		y mezclar.	
Calentar el tubo durante 7 minutos a 40°C en el baño de agua (tiempo de reacción B). Introducir la muestra de medición en una cubeta de 10 mm y medir en el fotometro.			

Nota sobre la medición:

- Ciertos fotómetros exigen una muestra en blanco (Agua destilada sin reactivo).
- Para la medición fotométrica las cubetas deben estar completamente limpias. Secarlas con un paño limpio y seco.
- Las turbiedades después de la reacción pueden dar resultados falsamente elevados.
- El color de la solución de medición permanece estable como mínimo 60 minutos después de transcurrido el tiempo de reacción B antes indicado.

- Análisis y reporte

Unidades de reporte
mg/L de SO_4^{2-}
4

7. Determinación de turbiedad en agua potable

- **Objetivo:** determinar la turbiedad en una determinada muestra de agua potable.
- Procedimiento

Materiales, equipos y reactivos

- Celdas de vidrio óptico de 10 mL
- Turbidímetro

Los reactivos utilizados son:

- Agua de dilución: emplee agua grado destilada, compruebe la turbidez del agua para asegurar que es la más baja que puede lograrse en el laboratorio.

- Soluciones estándar de turbiedad de <0.1, 20, 200 y 800 NTU (T-CAL Standard Set, Tintometer).

- Preparación

- Interferencias: vidrio sucio y la presencia de burbujas de aire dan resultados falsos. El color real, es decir el color del agua debido a las sustancias disueltas que absorben luz, origina que las medidas de turbiedad sean más bajas, aunque este efecto generalmente no es significativo en aguas tratadas.

- La presencia de residuos flotantes y materia fina los cuales puedan sedimentarse rápidamente

dará lecturas bajas. Pequeñas burbujas de aire pueden afectar el resultado de manera positiva.

- Existen numerosas fuentes de error como son presencia de burbujas en las paredes de la celda al momento de realizar la lectura, empañamiento de las celdas, suciedad del vidrio, y efectos de vibración que alteran la visibilidad superficial de la muestra los cuales conducirán a errores en las lecturas.

- Técnica

Las muestras deben de analizarse lo antes posible y en un periodo no mayor de 48 h, mientras permanezcan en el laboratorio deben conservarse en refrigeración para minimizar la descomposición microbiológica.

Antes de realizar el análisis de las muestras, calibrar el equipo siguiendo las instrucciones del fabricante con los siguientes patrones de turbiedad: <0,1 NTU, 20 NTU, 200 NTU y 800 NTU.

Lavar la celda de vidrio con la muestra por lo menos dos veces antes de realizar la lectura de esta.

Agite suavemente la muestra que va a ser analizada (Si la muestra se encuentra refrigerada, permitir que alcance la temperatura ambiente antes de realizar su análisis). Espere hasta que desaparezcan las burbujas de aire y vierta la muestra en la celda, si es necesario, sumerja en un baño ultrasónico durante 1 a 2 segundos para provocar una liberación completa de burbujas.

Nota 1: no elimine las burbujas de aire dejando reposar la muestra durante un período de tiempo, ya que, durante el reposo, las partículas que causan turbidez pueden asentarse y la temperatura de la muestra puede cambiar. Ambas condiciones alteran la turbidez de la muestra, dando como resultado una medición no representativa.

Lea la turbidez directamente de la pantalla del turbidímetro.

Nota sobre la medición:

- Ciertos fotómetros exigen una muestra en blanco (Agua destilada sin reactivo).
 - Para la medición fotométrica las cubetas deben estar completamente limpias. Secarlas con un paño limpio y seco.
 - Las turbiedades después de la reacción pueden dar resultados falsamente elevados.
- Análisis y reporte

Unidades de reporte
NTU

La turbidez se mide en NTU: Unidades Nefelométricas de Turbidez. El instrumento usado para su medida es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua.

8. Determinación de pH en agua potable

- **Objetivo:** determinar el valor del pH en una determinada muestra de agua potable.
- **Método:** EPA 9040-C

- Procedimiento

Materiales, equipos y reactivos

- Muestra
- pHmetro
- Solución Buffer de pH 4.0 y 7.0

- Preparación y Técnica
 - Verificar el equipo con las soluciones Buffer antes de la medición.
 - Analizar las muestras inmediatamente después de la toma de muestras.
 - Filtrar las muestras turbias.

- Análisis y reporte

Unidades de reporte
pH

9. Determinación de color en agua potable

- **Objetivo:** determinar el valor del pH en una determinada muestra de agua potable.
- **Método:** SM 2120 C

CUBETA	INTERVALO DE MEDIDA
10 mm	0- 100 UPC

- Procedimiento

Materiales, equipos y reactivos

- Pipeta para un volumen de pipeteo de 10 mL
- Cubetas rectangulares de 10 mm

- Preparación

- Analizar las muestras inmediatamente después de la toma de muestras.
- Filtrar las muestras turbias.

- Técnica

Muestra tomada	10 mL	Pipetear en la cubeta de ensayo.
Introducir la muestra de medición en la cubeta y medir en el fotómetro.		

Nota sobre la medición:

- Ciertos fotómetros exigen una muestra en blanco (Agua destilada).
- Para la medición fotométrica las cubetas deben estar completamente limpias. Secarlas con un paño limpio y seco.

- Análisis y reporte

Unidades de reporte
UPC

10. Determinación de coliformes fecales y totales en agua potable

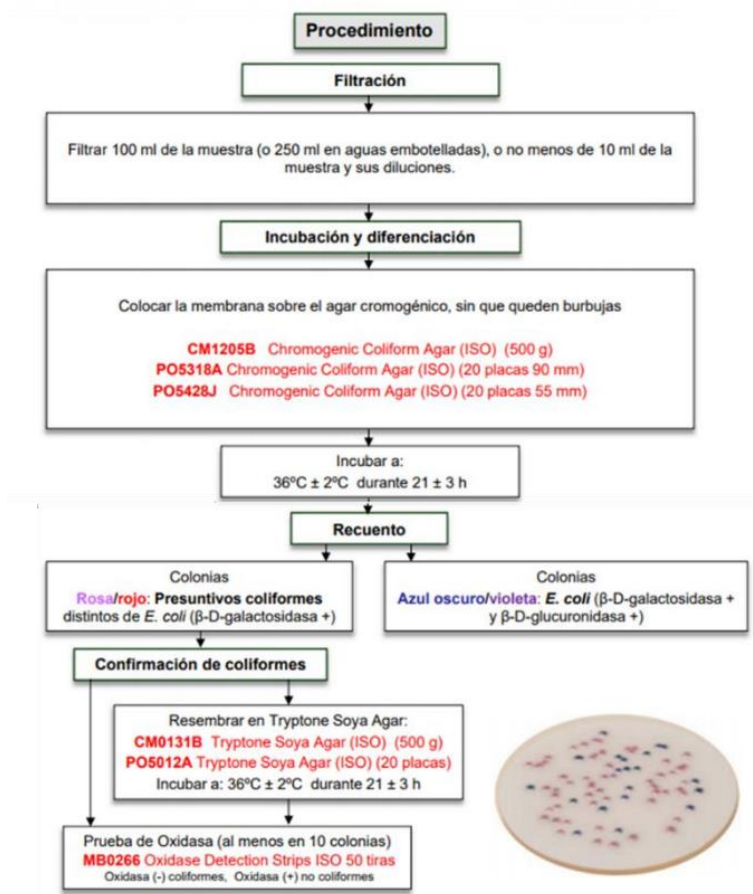
- **Objetivo:** determinar la cantidad de Coliformes totales y E.Coli en una determinada muestra de agua potable.

- **Método:** recuento de E. coli y coliformes por filtración por membrana. UNE-EN ISO 9308-1:2014

- Procedimiento

Materiales, equipos y reactivos

- Muestra
 - Chromogenic Coliform Agar
- Preparación y Técnica



- Análisis y reporte

Unidades de reporte
UFC / 100 cm ³