

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS DESINFECTANTES EN LA DISMINUCIÓN
DE LA BIOPELÍCULA EN LA TUBERÍA DE LA PLANTA PILOTO FRANCISCO
WIESNER

JULIÁN DAVID GARCÍA MARTÍNEZ
ALEX FERNANDO TORRES NOVOA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ, D.C.
2016

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS DESINFECTANTES EN LA DISMINUCIÓN
DE LA BIOPELÍCULA EN LA TUBERÍA DE LA PLANTA PILOTO FRANCISCO
WIESNER

JULIÁN DAVID GARCÍA MARTÍNEZ
ALEX FERNANDO TORRES NOVOA

Proyecto integrado para optar el título de
INGENIERO QUÍMICO

Director. CARLOS RINCÓN
Ingeniero Químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ, D.C.
2016

Nota de Aceptación

Ing. Elizabeth Torres Gámez

Firma Presidente del Jurado

Ing. Yovanny Morales

Firma Docente Jurado 1

Ing. Mario Fernando Ortiz

Firma Docente Jurado 2

Bogotá, D. C. Agosto de 2016

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la universidad y rector del claustro

Dr. JAIME POSADA DÍAZ

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Postgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Secretario General

Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCÍA-PEÑA

Decano de la Facultad de Ingenierías

Dr. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios de ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

Dedicamos este trabajo de grado a nuestros padres; por sus valiosas enseñanzas y ejemplos a seguir a lo largo de nuestras vidas, Estamos orgullosos de contar con ustedes.

AGRADECIMIENTOS

A dios por brindarme la oportunidad de finalizar esta etapa, dándome fuerza y perseverancia, ante los obstáculos y difíciles pruebas tanto estudiantiles y de la vida diaria. Muy feliz de cumplir esta meta con el apoyo incondicional y consejos de mis padres y hermano, que siempre estuvieron en todo momento. Espero con el fin de esta etapa, seguir cumpliendo metas cada vez más grandes. El camino es largo y aún quedan metas por cumplir, pero ya di un primer gran paso para seguir. Gracias a mis compañeros y amigos que se encontraron en algún momento de mi vida en este proceso que me permitieron aprender y conocer muchas cosas. Este apenas es el comienzo y voy por más.

Julián David García Martínez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme salud y fortaleza durante mi carrera profesional, a mis padres Fernando y Martha por apoyarme incondicionalmente brindándome su cariño, consejos y buenos principios. Son el mejor ejemplo que pude tener.

A mi novia Daniela Bernal por sus consejos y motivaciones constantes, terminamos una etapa de la vida y más importante aún, logramos cumplir la meta de ser profesionales.

Agradezco al Ing. Rodrigo Pertuz por su acompañamiento y asesorías durante el desarrollo de las actividades realizadas en el Acueducto.

A mi compañero Julián García por brindarme su amistad durante toda la carrera y motivarme en los momentos de dificultad.

También a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron a la realización de este proyecto.

Alex Fernando Torres Novoa

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	19
OBJETIVOS	20
1. GENERALIDADES	21
1.1 PLANTA FRANCISCO WIESNER	21
1.1.1 Sistema Chingaza	21
1.1.2 Sistema embalse de San Rafael	22
1.1.3 Potabilización del agua en la planta	22
1.2 BIOPELÍCULA	23
1.2.1 Fases de la formación de la biopelícula	23
1.2.2 Factores que afectan el crecimiento de la biopelícula	25
1.3 PROCESO DE DESINFECCIÓN Y DISMINUCIÓN DE BIOPELÍCULA	26
1.4 TIPOS DE DESINFECTANTES	26
1.4.1 Cloro	26
1.4.2 Mecanismo de acción del cloro en la desinfección	27
1.4.3 Desinfectantes mixtos (MIOX)	28
1.4.4 Cloro vs MIOX	29
1.5 FILTRACIÓN	30
1.5.1 Factores relevantes en el proceso de filtración	30
1.6 FILTRACIÓN DIRECTA	31
1.6.1 Tipos de filtración directa.	32
2. FORMACIÓN DE BIOPELÍCULA	33
2.1 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	33
2.2 PLANTA PILOTO	36
2.3 MÉTODOS	39
2.3.1 Toma de muestra	39
2.3.2 Ensayo gravimétrico	40
2.4 PRODUCTOS QUÍMICOS	41
2.4.1 Coagulantes	41

2.4.2	Desinfectantes	41
2.5	CÁLCULO DE LA DOSIFICACIÓN EN LA PLANTA PILOTO	41
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	43
3.1	FORMACIÓN DE BIOPELÍCULA	45
3.2	DISMINUCIÓN DE BIOPELÍCULA	48
4.	ANÁLISIS FINANCIERO	53
4.1	ANÁLISIS DE COSTOS DE LA INVERSIÓN ASIGNADA AL PROYECTO	53
4.2	ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN	53
4.3	ANÁLISIS DE DEMANDA	55
4.4	EVALUACIÓN FINANCIERA	56
4.5	DEPRECIACIÓN DE LA INVERSIÓN A LOS EQUIPOS DE DESINFECCIÓN MIOX	56
5.	CONCLUSIONES	57
6.	RECOMENDACIONES	58
	BIBLIOGRAFÍA	59
	ANEXOS	62

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Sistema de Filtración Planta Francisco Wiesner	22
Tabla 2. Comparación de diferentes métodos de desinfección	29
Tabla 3. Especificaciones y equipos de la planta piloto	37
Tabla 4. Partes de la planta piloto	38
Tabla 5. Rangos de concentración de la dosis (ppm) de los productos químicos	43
Tabla 6. Normatividad vigente según los parámetros analizados	43
Tabla 7. Dosis por corrida y resultados obtenidos en planta para la formación de biopelícula	44
Tabla 8. Datos obtenidos de la desinfección	49
Tabla 9. Coliformes totales después de desinfección	52
Tabla 10. Elementos necesarios para la implementación del proyecto	53
Tabla 11. Inversión al proceso de desinfección	54
Tabla 12. Costos requeridos por mes con proyecto y sin proyecto	54
Tabla 13. Costos fijos de operación	54
Tabla 14. Costos variables de producción	55
Tabla 15. Flujo de efectivo para el proceso con proyecto	56
Tabla 16. Tasa Interna de Retorno (TIR) y Valor Presente Neto (VPN)	56
Tabla 17. Depreciación sobre la inversión en los equipos	56

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Perdida de carga vs Tiempo de funcionamiento en un filtro directo	30
Gráfica 2. Cantidad de biopelícula formada vs Corrida realizada	45
Gráfica 3. Coliformes totales vs Corrida realizada.	46
Gráfica 4. Turbiedad vs Corrida realizada	47
Gráfica 5. Color vs Corrida realizada	47
Gráfica 6. Hierro entrada vs Corrida realizada	48
Gráfica 7. Cloro residual vs Corrida realizada.	50
Gráfica 8. Hierro total de salida (ppm) vs Corrida.	50
Gráfica 9. Cantidad de biopelícula vs corrida	51
Gráfica 10. Cantidad Demandada.	55

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Resultados de cada corrida	63
Anexo B. Ensayo de jarras	66
Anexo C. Ensayos para determinación de la dosis adecuada de producto	68
Anexo D. Determinación de cloro residual por el método volumétrico	72
Anexo E. Metodología de análisis por titulación con bureta digital en laboratorio	73
Anexo F. Determinación de la turbiedad por el método nefelométrico	74
Anexo G. Determinación de coliformes totales y e-coli	75
Anexo H. Determinación de color método fotométrico	77
Anexo I. Determinación De Hierro Total Por Método De La Fenantrolina	79
Anexo J. Planta piloto franciso wiesner	81
Anexo K. Resolucion 2115 de 2007 calidad del agua potable	82
Anexo L. Productos químicos	87
Anexo M. Equipos utilizados en la experimentación	89
Anexo N. Rangos de strokes utilizados a nivel planta piloto	92
Anexo O. Características del agua cruda según la corrida realizada	93

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Cantidad de biopelícula formada.	40
Ecuación 2. Cantidad de biopelícula disminuida.	41
Ecuación 3. Concentración de productos químicos a dosificar.	41
Ecuación 4. Volumen a adicionar de productos químicos en los tanques (L).	42

GLOSARIO

AGUA POTABLE: es aquella que puede ser consumida por el ser humano sin ningún tipo de restricción, debido a que tiene un proceso de potabilización que mejora sus propiedades fisicoquímicas, bacteriológicas y organolépticas.

BIOPELÍCULA: se define como una comunidad compleja de microorganismos que crecen adheridos en una matriz orgánica polimérica auto-producida. Para la presente investigación este término hace referencia a la matriz formada sobre superficies inertes específicamente en tuberías.

COLIFORMES FECALES: estas son definidas como bacilos Gram-negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a $44,5 \pm 0,2$ °C dentro de las 24 ± 2 horas. La mayor especie en el grupo de coliforme fecal es *Escherichia coli*.

COLIFORMES TOTALES: son las Enterobacteriaceae lactosa-positivas y constituyen un grupo de bacterias que se definen más por las pruebas usadas para su aislamiento que por criterios taxonómicos, se caracterizan por su capacidad para fermentar la lactosa con producción de ácido y gas, más o menos rápidamente, en un periodo de 48 horas y con una temperatura de incubación comprendida entre 30-37°C¹.

CLORO: es un gas perteneciente al grupo de los halógenos de coloración amarilla, utilizado para la eliminación de microorganismos patógenos para la salud.

COLOR: se debe a la presencia de sales de hierro, manganeso, sustancias orgánicas como los ácidos húmicos, plancton, vegetales en descomposición. En aguas residuales industriales, el color lo produce principalmente el material coloidal en suspensión.

DBPs: compuesto químico formado por la reacción de un desinfectante del agua (como el cloro) con un precursor (como la materia orgánica natural presente en el agua) dentro del sistema de distribución de agua.

DESINFECTANTES: son compuestos claves para la potabilización del agua, ya que estos agentes extraen contaminantes orgánicos del agua, que son nutrientes para los microorganismos, y además de estos tienen como función mantener sustancias activas, que posteriormente no permitan de nuevo el crecimiento de microorganismos en las tuberías, para evitar una recontaminación.

¹ ASCUAL ANDERSON, Maria del Rosario; PASCUAL CALDERON, Vicente. Microbiología alimentaria: Investigación y recuento de Enterobacteriaceae lactosa-positivas (coliformes). Madrid: Diez de Santos. 2000. P17.

DESINFECCIÓN: se denomina al procedimiento realizado para eliminar, inactivar y restringir la proliferación de microorganismos patógenos presentes en el agua.

DILUCIÓN: es la disminución de la concentración de una sustancia o compuesto químico en una disolución.

FILTRACIÓN DIRECTA: es un proceso empleado para el tratamiento del agua por medio de lechos granulares como arena, antracita, entre otros, para corregir los problemas de turbidez y color. Esta utiliza un coagulante químico como sales de hierro o aluminio las cuales se agregan para formar flóculos más fáciles de retirar.

MIOX: abreviatura de oxidante mixto, producto químico empleado en la desinfección del agua. Para su generación es necesario la utilización de una o más sales y la aplicación de electricidad.

pH: medida de la acidez o alcalinidad de una solución, que indica la cantidad de iones hidronio presentes en esta.

STROKE: sinónimo de pulso o señal, se emplea en las plantas de tratamientos de aguas en equipos como las bombas dosificadoras para garantizar que se mantenga la dosificación de productos químicos en el agua tratada.

TURBIEDAD: es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a la presencia de partículas sólidas en suspensión. Se emplea para la determinación de la calidad del agua, a mayor turbidez la calidad de esta será menor.

UPC: unidades Platino-Cobalto. Unidad de UPC se expresa en mg Pt-Co en un litro.

RESUMEN

Este proyecto tiene como fin principal realizar la evaluación de la disminución de la biopelícula a partir de desinfectantes, mediante el uso de cloro y MIOX. Estos productos químicos presentan diversas propiedades que afectan el proceso de desinfección del agua y la calidad de la misma. Por lo anteriormente expuesto es necesario la realización de pruebas experimentales para la elección del más efectivo tanto a nivel de rendimiento, como a nivel económico.

El estudio es realizado en la planta piloto de la Planta Francisco Wiesner del acueducto de la Calera; las pruebas llevadas a cabo simulan el proceso a nivel planta incluyendo los procesos principales de floculación, filtración y desinfección. Las variables de referencia son: hierro total, coliformes totales, pH, turbiedad, color y cloro residual.

El proceso consta de una etapa de formación de biopelícula, en la cual se instala una tubería PVC, que sirve como punto de referencia para su formación por donde se transporta el agua tratada y se cuantifica de manera gravimétrica,

La segunda etapa se basa en la reducción de biopelícula que también emplea el método gravimétrico pero luego de la desinfección. Todas y cada una de las corridas ejecutadas en la planta piloto, tanto en formación y desinfección se tomaron con los valores de dosificación usados a nivel planta.

PALABRAS CLAVE. Planta piloto, desinfectante, disminución biopelícula, dosificación

ABSTRACT

This project has as principal end realize the evaluation of the decrease of the biofilm from disinfectants, by means of the use of chlorine and MIOX. These chemical products present diverse properties that affect the process of disinfection of the water and the quality of the same one. For previously exposed there is necessary the accomplishment of experimental tests for the choice of the most effective so much to level of performance, since to economic level.

The study there is realized in the pilot plant of the Plant Francisco Wiesner of the aqueduct of the Calera; the tests carried out simulate the process to level it plants including the principal processes of flocculation, filtration and disinfection. The variables of reference are: total iron, total coliforms, pH, turbidity, color and chlorine.

The process consists of a stage of formation of biofilm, in which a pipeline installs to itself PVC, which serves as point of reference to his formation where the treated water is transported and is quantified in a gravimetric way, the second stage bases on the reduction of biofilm that also uses the gravimetric method but after the disinfection. Each and every of the runs executed in the pilot plant, so much in formation and disinfection took with the values of dosing used to level it plants.

KEY WORDS. Pilot Plant, disinfectant, decrease biofilm, dosing.

INTRODUCCIÓN

La formación de biopelícula en las tuberías de la planta Francisco Wiesner afecta a la calidad del agua tratada diariamente, debido a que se forman sobre estas, capas de estructuras heterogéneas que crecen en ambientes acuosos y se encuentran formadas por agrupaciones de células bacterianas.

Otros efectos secundarios de estas matrices extracelulares de polímeros son: el aumento de las pérdidas de energía, la alteración en las características de la pared interna de las tuberías que modifica su rugosidad y por consiguiente el régimen hidráulico implicando mayores costos económicos en la realización de limpiezas y mantenimientos.

La presente investigación se realiza con el fin de disminuir el crecimiento de la biopelícula en las tuberías de transporte de agua residual en la planta piloto Francisco Wiesner a partir de desinfectantes, estableciendo bases para futuras investigaciones para la implementación del proyecto, que traerá beneficios a las comunidades que aprovechan el recurso hídrico, disminuyendo la probabilidad de encontrar microorganismos patógenos para la salud y mejorando la calidad del agua.

De igual forma se analiza la rentabilidad y el costo de implementación de una planta de desinfección utilizando MIOX como reemplazo a la planta actual, la cual opera con cloro gaseoso.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la reducción de la biopelícula mediante la aplicación de diferentes desinfectantes en la planta piloto Francisco Wiesner.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las condiciones actuales de formación de biopelícula.
- Seleccionar el desinfectante que permita la reducción de biopelícula por medio de un desarrollo experimental.
- Determinar el costo de implementación del proceso en la planta.

1. GENERALIDADES

1.1 PLANTA FRANCISCO WIESNER

Ilustración 1. Planta Francisco Wiesner



Fuente. Acueducto de Bogotá.

La planta de potabilización se encuentra ubicada en el kilómetro 14 de la vía Bogotá- La Calera. Entró en funcionamiento en 1.982. Actualmente en la planta se trata el agua proveniente del Sistema Chingaza (parque nacional natural) y a partir de 1.997 se trata el agua del embalse San Rafael.

1.1.1 Sistema Chingaza. Está integrado por el páramo de Chingaza y las cuencas hidrográficas correspondientes a los ríos Guatiquía, Chuza y los tributarios del Río Blanco.

Las aguas son almacenadas en el embalse de Chuza, cuya capacidad es de 257 millones de metros cúbicos de los cuales son utilizables 220 millones y conducidas a la planta a través de 40 kilómetros de túneles y tuberías.

1.1.2 Sistema embalse de San Rafael. Tiene una capacidad de almacenamiento de 63 millones de metros cúbicos. Capta el río Teusacá y recoge el agua rebotada por la planta F. Wiesner.

1.1.3 Potabilización del agua en la planta. El proceso de tratamiento del recurso hídrico inicia con la regulación del caudal del agua proveniente del sistema Chingaza, a través de dos válvula de mariposa de 1.83 m de diámetro instaladas en el último tramo de la tubería. El excedente se rebosa por una estructura circular que vierte el agua al conducto que lleva al embalse San Rafael.

Posteriormente el agua se somete a un proceso de mezcla rápida, en dos resaltos hidráulicos, cada uno con dos caídas con capacidad de operación entre 4 y 15 m³/s, en donde son agregados los coagulantes (sulfato de aluminio) y ayudantes de coagulación (polímeros) requeridos para que los coloides, y demás sólidos suspendidos formen partículas de un tamaño considerable (floc) para ser retenidas en los filtros. La cantidad a ser agregada de estas sustancias se determina por las características del agua que ingresa y por medio de ensayos de jarras en el laboratorio.

Luego el agua es conducida por medio de tres canales de repartición a los 16 filtros de la planta en donde se completa el proceso de floculación y se remueve la totalidad del material suspendido. En la filtración se separa la materia suspendida mediante el paso del agua a través de una capa porosa compuesta por medios como: arena de lecho de río, playa, bancos naturales o cuarzo triturado y antracita.

Tabla 1. Sistema de Filtración Planta Francisco Wiesner.

Número de filtros: 16	Rata nominal de diseño: 300 m ³ /m ² /día
Rata máxima: 410 m ³ /m ² /día	Caudal de diseño: 0.875 m ³ /s/filtro
Área total de cada filtro: 300 m ²	Área filtrante: 260 m ²
Área total de filtración: 4160 m ²	Medio filtrante fino: <ul style="list-style-type: none"> ● Arena: 8 cm. arena gruesa (2.4 a 1.2 mm) ● 20 cm. arena fina (0.38 a 0.45 mm) ● Coeficiente de uniformidad: 1.35 a 1.70

Tabla 1. (Continuación)

<p>Antracita: 60 cm</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Tamaño efectivo: (0.8 a 1.0 mm) ● Coeficiente de uniformidad: 1.30 a 1.70 ● Total lecho filtrante: 114 cm 	
---	--

Fuente: Acueducto de Bogotá.

Por último se realiza la etapa de desinfección Este paso tiene como función la destrucción de microorganismos patógenos a través de la aplicación de una solución de cloro gaseoso y MIOX.

1.2 BIOPELÍCULA

La biopelícula se forma como una estrategia adaptativa de los microorganismos que les permite sobrevivir, debido a que aumentan los nutrientes necesarios para su crecimiento celular, disminuyen la probabilidad de sufrir una deshidratación aprovechando el agua en su entorno, aumentan su resistencia a agentes desinfectantes y coagulantes, y facilitan la transferencia de su material genético (ADN). A mayor espesor de biopelícula formada será más difícil eliminar los microorganismos que la componen.

Las bacterias son los principales microorganismos en colonizar las superficies de las tuberías. Una vez que suficiente material orgánico se adhiere a la superficie de la tubería (acondicionamiento) las bacterias pueden comenzar a juntarse, incrementando rápidamente su densidad hasta alcanzar una densidad crítica en donde comienzan a producir sustancias gelatinosas que son las que proporcionan a la biopelícula un aspecto gelatinoso; este exopolisacárido constituye la mayoría del peso y volumen de la biopelícula (aproximadamente 97% agua). Además de agua y de las células bacterianas, la matriz de la biopelícula es un complejo formado principalmente por exopolisacáridos y en menor cantidad se encuentran otras macromoléculas como proteínas, ADN y diversos productos procedentes de la lisis de las bacterias².

1.2.1 Fases de la formación de la biopelícula. Según referencias bibliográficas, se encontraron cinco fases en la formación de biopelícula³.

²SUTHERLAND, Ian W. Biofilm exopolysaccharides: a strong and sticky framework. Universidad de Edinburgh. Reino Unido. 2001. Microbiology Vol #147. Paginas 3-9.

³RODRÍGUEZ DOMÍNGUEZ, Lucas. Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) en relación a los biofilms y su repercusión. Revista del comité científico. 2010. Vol. #12. Paginas 37-61.

- Fase 1: Adsorción. Este proceso depende de factores ambientales como la temperatura y el pH, siendo la etapa inicial de formación de la biopelícula. Tiene una duración aproximada de 5 a 30 segundos, y debe tener un número mínimo de células adheridas inicialmente a la superficie⁴.

- Fase 2 y 3: Adhesión a la superficie. La adhesión de la bacteria se divide en dos fases, una de estas es reversible, seguida de una segunda irreversible.

Adsorción reversible de la bacteria a la superficie: Esta fase se caracteriza por una unión débil de la bacteria con el sustrato mediante fuerzas de Van der Waals, electrostáticas e interacciones hidrofóbicas.

Unión irreversible: Esta etapa depende del tiempo y resulta de la fijación a la superficie de los apéndices bacterianos, en ella se da la producción por parte de las células bacterianas inicialmente adheridas de compuestos poliméricos extracelulares. Las bacterias sintetizan la matriz de exopolisacáridos para establecer un contacto físico entre ellas y la superficie, para luego poder multiplicarse y formar microcolonias para el desarrollo de la biopelícula. Durante el proceso las bacterias cambian su fenotipo, produciendo alteraciones en su morfología y cambiando su tasa de crecimiento. Las estructuras que sobresalen a nivel externo de la membrana son las adhesinas, lipopolisacáridos, ácidos lipoteicoicos, entre otras proteínas, que juegan papeles relevantes en la adhesión microbiana. En una biopelícula madura, la mayor parte de su volumen se encuentra ocupada por una matriz débil (del 75% al 95%), alrededor de unas pocas bacterianas (5% al 25%) que otorgan una cubierta gelatinosa y deslizante a la superficie colonizada. Esta etapa es usualmente corta y cambia en función de la disponibilidad de nutrientes, la temperatura y presencia de antibióticos. El tiempo estimado para la etapa irreversible esta entre comprendido entre 20 minutos y 4 horas a una temperatura entre 4°C y 20°C⁵.

- Fase 4: Crecimiento y maduración. La bacteria fijada a la superficie, comienza a dividirse y las células bacterianas hijas se extienden alrededor del sitio de unión, Si las condiciones son adecuadas para un crecimiento suficiente del biopelícula se desarrollará una estructura organizada. Este desarrollo depende de factores como la diversidad microbiana de la comunidad, la cantidad de agua disponible y el transporte celular.

⁴ LASA, I; DEL POZO, J. L.; PENADÉS, J. R; Leiva: J. Biofilms Bacterianos e infección. Disponible en: <http://www.cfnavarra.es/salud/anales/textos/vol28/n2/colaba.html> [acceso: 15-03-2016].

⁵ GONZÁLEZ RIVAS, Fabián. Desarrollo y aplicación de sensores para evaluar la contaminación microbiológica de superficies domésticas españolas y de la efectividad de desinfectantes in situ de productos limpiadores comerciales. 2005. Disponible en: http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UAB/AVAILABLE/TDX-0119106-165553/fgr1de1.pdf [acceso: 16-03-2016].

A medida que la biopelícula se va adaptando a la presencia de nutrientes, al oxígeno y a los cambios en la población se forman micro-colonias discretas separadas por canales de agua. La densidad estructural de la matriz se incrementa en el núcleo, mientras que las capas superiores permanecen porosas. El número de bacterias viables disminuye con la edad de la biopelícula; por ejemplo en una biopelícula joven se han detectado cerca de un 80% de células bacterianas viables,⁶ y solo un 50% en una biopelícula madura.⁷

- Fase 5: Desarrollo final de la colonia con dispersión de células colonizadoras. Finalmente, algunas bacterias de la matriz de la biopelícula se liberan del mismo para poder colonizar nuevas superficies cerrando el proceso. La liberación de las bacterias desde la biopelícula se puede dar a partir de modificaciones internas en su estructura o por actuación de fuerzas físicas.⁸ El desprendimiento de bacterias de la biopelícula causada por la acción de fuerzas físicas se da por tres procesos principales, como:

- Erosión, que es la eliminación continua de pequeñas porciones de biopelícula. La tasa de erosión aumenta con el espesor de la biopelícula y la fricción en la superficie líquido-biopelícula.
- Muda, consiste en una liberación rápida y masiva. Resulta del agotamiento de los nutrientes u oxígeno dentro de la estructura polimérica.
- Abrasión, se origina un desprendimiento debido a la colisión de partículas de líquido contra la biopelícula. Es observado con más frecuencia en biopelícula gruesas como las formadas en tuberías, filtros y entornos cargados de partículas.

1.2.2 Factores que afectan el crecimiento de la biopelícula. Muchos factores influyen en el crecimiento de la biopelícula, usualmente en combinación con otros sin un factor dominante. Uno de los más importantes es la presencia y concentración de nutrientes (Carbono, nitrógeno, y fósforo) siendo el carbono el elemento más demandado y que limita el crecimiento celular de los microorganismos.

La temperatura también es otro factor que influye en el crecimiento de la biopelícula, siendo más propicias las temperaturas cálidas, el material de la tubería también influye en el crecimiento, siendo los materiales compuestos de hierro los menos resistentes a su formación.

⁶ S, S. Branda; FRIEDMAN, Vik, S; KOLTER, R. Biofilms: the matrix revisited. Trends in Microbiology. 2005. Vol13, páginas: 20-26.

⁷ FUSTER, Valls, N. Importancia del control higiénico de las superficies alimentarias mediante técnicas rápidas y tradicionales para evitar y/o minimizar las contaminaciones cruzadas. 2006. Disponible en: http://www.tesisred.net/ TESIS_UAB/AVAILABLE/TDX1005107165210//nfv1de1.pdf [acceso: 16-03-2016].

⁸ DONLAN. Rodney, M; COSTERTON. William. Biofilms: survival mechanisms of clinically relevant microorganisms. Clinical Microbiology Reviews, 2002. Vol15 (2), páginas: 167-193.

El tipo y concentración de desinfectante usado de igual forma afecta el crecimiento de la biopelícula. El cloro residual es altamente reactivo por lo que se consume por esta y no penetra muy bien en biopelícula gruesas o densas⁹.

1.3 PROCESO DE DESINFECCIÓN Y DISMINUCIÓN DE BIOPELÍCULA

La desinfección provoca una corrosión en la pared celular de los microorganismos, o variación en la permeabilidad de la célula, cambios en la actividad enzimática. También se produce oxidación y destrucción de la materia orgánica que son generalmente nutrientes y alimentos para los microorganismos¹⁰.

1.4 TIPOS DE DESINFECTANTES

En la actualidad la desinfección ha recibido una mayor atención de entidades reguladoras y por la aplicación de normatividades. En las plantas de aguas de potabilización, se tiene la necesidad de disminuir el riesgo microbiológico, así como la eliminación de olores y otras propiedades.

1.4.1 Cloro. El cloro es el desinfectante más usado en el tratamiento de aguas, ya que se usa para destruir agentes patógenos, para el control de microorganismos, y la oxidación. En el caso de la oxidación se usa para la reducción de hierro y manganeso, para el mejoramiento de propiedades organolépticas. Aunque esta sustancia química es altamente tóxica, debido a su difícil manipulación y efectos residuales que puede producir.¹¹

Cloro es uno de los elementos más reactivos; forman uniones con otros elementos muy fácilmente. En la tabla periódica el cloro se encuentra entre otros halógenos como el Flúor (F), Bromo (Br), Yodo (I), y astato (At). Todos los halógenos normalmente reaccionan con metales para formar sales solubles. Es una sustancia altamente tóxica, capaz de causar la muerte o lesiones permanentes, debido a la exposición prolongada por inhalación. Es extremadamente irritante para las membranas mucosas de los ojos y el tracto respiratorio¹².

Se utiliza como desinfectante para controlar bacterias, algas, entre otros. También se utiliza para modificar el carácter químico de algunos procesos industriales del agua, tales como la destrucción de dióxido de azufre y amoníaco, la reducción de hierro y manganeso, y la reducción del color (los ejemplos incluyen operaciones de

⁹MAINS, Craig. Biofilm Control in Distribution Systems. National Environmental Services Center .Tech Brief. Vol 8.Tomo 2. 2008. Páginas 1-4.

¹⁰ CHEREMISINOFF, Nicholas P. Handbook of water and wastewater treatment technologies. 2002

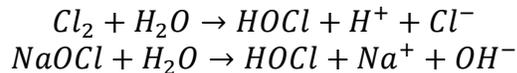
¹¹ LENNTECH B.V. Cloro como desinfectante [en línea].

< <http://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/quimica/desinfectantes-cloro.htm>> [Citado el 16 de marzo de 2016].

¹² Ibid

blanqueo en la industria de pulpa y papel y la oxidación de constituyentes orgánicos)¹³.

1.4.2 Mecanismo de acción del cloro en la desinfección. El funcionamiento del cloro y sus compuestos como agente desinfectante se especifica en su poder de oxidación. En presencia de agua, el cloro tanto de forma gaseosa o hipoclorito de sodio, reacciona formando ácido hipocloroso, la forma de mayor potencial de óxido-reducción y más activa como desinfectante, de la siguiente manera:



Dependiendo del valor de pH, ácido hipocloroso se descompone en iones de hipoclorito.



El ácido hipocloroso descompone en átomos de cloro y oxígeno, lo cual genera que el ácido hipocloroso (HOCl) que es eléctricamente neutral, y los iones hipoclorito (OCl-) negativos, formen cloro libre que provoca la desinfección. El poder de desinfección del cloro en agua se basan en el poder de oxidación de los átomos de oxígeno libre y reacciones de sustitución del cloro.

Para actuar sobre el microorganismo, en el caso de las bacterias y los microorganismos eucariotas, el agente oxidante debe atravesar la membrana plasmática, que es de naturaleza fosfolipídica y oxidar enzimas respiratorios que contienen grupos sulfhidrilo (-SH). Las moléculas no polares se disuelven mejor en las membranas que las polares, así pues tendrá mayor poder bactericida del ácido hipocloroso que el ion hipoclorito¹⁴.

Los compuestos clorados afectan el ciclo de Krebs, específicamente en la enzima succinato deshidrogenasa, por consiguiente frena los mecanismos celulares de obtención de energía¹⁵.

¹³ CHEREMISINOFF, Nicholas P. Handbook of water and wastewater treatment technologies. 2002. P 465.

¹⁴ LENNTECH B.V. Cómo funciona el cloro [en línea].

< <http://www.lennotech.es/procesos/desinfeccion/quimica/desinfectantes-cloro.htm> > [Citado el 16 de marzo de 2016]

¹⁵ UNIVERSIDAD DE SALAMANCA, CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL AGUA. Mecanismo de acción del cloro [en línea].

< http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/curso/uni_06/u6c4s2.htm#Anchor5 > [Citado el 16 de marzo de 2016]

1.4.3 Desinfectantes mixtos (MIOX). Como alternativa diferente al cloro para la disminución de la biopelícula se encuentran los oxidantes mixtos, aunque no se tiene su caracterización exacta por su complejidad química y la interferencia de los múltiples oxidantes, aunque la evidencia biológica es indiscutible. La evidencia más extraordinaria es la habilidad de inactivar organismos cloro-resistentes, como el *Cryptosporidium parvum* oocysts, o para inactivar diferentes microorganismos en cantidades más bajas y tiempo de contacto más corto¹⁶.

Durante el uso de los desinfectantes químicos como el cloro y el hipoclorito para la potabilización del agua, se han reducido de gran manera las enfermedades, aunque estos desinfectantes por lo general reaccionan con la materia orgánica presente en el agua, conformando sub-productos derivados de la desinfección (DBPs) y trihalometanos (THMs) que presentan riesgos para la salud., ya que estos pueden ser compuestos carcinógenos para el ser humano, es por eso que se debe mantener el nivel de cloro residual dentro de los límites permitidos¹⁷.

El sistema MIOX usa sal, agua y energía para generar un desinfectante diluido en el sitio, donde se va a realizar la desinfección¹⁸, esto se hace con el fin de disminuir la inseguridad en el proceso de desinfección ya que el cloro gaseoso o hipocloritos peligrosos a granel por su fuerte poder oxidante, así eliminando el riesgo de accidentes y de la protección de los operadores en la planta y lugares aledaños.

Las características de los oxidante mixtos (MIOX) ayudan a disminuir los DBPs, y además favorece la conservación del cloro residual con la dosificación reducida de los MIOXs, disminuyendo la formación de la biopelícula¹⁹.

¹⁶ USA GLOBAL MARKET S.A. Proactiva aguas de tunja [en línea].

< <http://www.usagmsa.com/index.php/2013-01-01>> [Citado el 16 de marzo de 2016].

¹⁷ ZAFRA SACHEZ, Alicia. Efectos de los trihalometanos sobre la salud: subproductos derivados de la cloración de aguas. *En*: Higiene y sanidad ambiental. Núm. – (2008). Pág. 280-290.

¹⁸ USA GLOBAL MARKET S.A. Agua potable [en línea].

<<http://www.usagmsa.com/index.php/aplicaciones/agua-potable>> [Citado el 16 de marzo de 2016]

¹⁹ http://www.europest.net/corrosion/03_stenner_tratamientos_de_aguas_con_antioxidantes_OMO1.pdf

Tabla 2. Comparación de diferentes métodos de desinfección.

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN								
	Gas Cloro	Hipoclorito de sodio a granel	Hipoclorito de Calcio	Dióxido de Cloro	Ozono	UV	Hipoclorito In Situ	Oxidantes Mixtos
Eficiencia	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Seguridad	No	No	No	No	No	Sí	Sí	Sí
Residual de Cloro	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí	Sí
Reducción de THMs	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Reducción de Cloritos / Bromatos	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí
Remoción de Biopelícula	No	No	No	Sí	No	No	No	Sí
Eliminación de Alga	No	No	No	Sí	Sí	No	No	Sí
Microfloculación	No	No	No	Sí	Sí	No	No	Sí
Eliminación de Sabor y Olor	No	No	No	No	Sí	No	No	Sí
Facilidad de Mantenimiento	Sí	No	No	No	No	No	Sí	Sí
Costos Bajos de Ciclo de Vida	Sí	No	No	No	No	No	Sí	Sí

Fuente. Corporación MIOX

Para la obtención de oxidantes mixtos, la materia prima es el cloruro de sodio, componente que no es volátil como lo son el cloro gaseoso y el dióxido de cloro, y su almacenamiento es más fácil y sin medidas tan exigentes para su manejo.

1.4.4 Cloro vs MIOX

- El cloro es un gas bastante reactivo y con alto poder corrosivo. Cuando se transporta, almacena utiliza, se debene seguir una serie de precauciones de seguridad.
- EL MIOX también produce cloro residual perdurable en el sistema de distribución de agua.
- La solución de MIOX generada inactiva a los organismos mucho más rápido que el cloro y proporciona una capacidad de desinfección residual.
- La compra del sistema de electrolisis es más caro que el sistema de base cloro.
- Los costos operativos de la desinfección usando MIOX son menores que el uso del cloro.

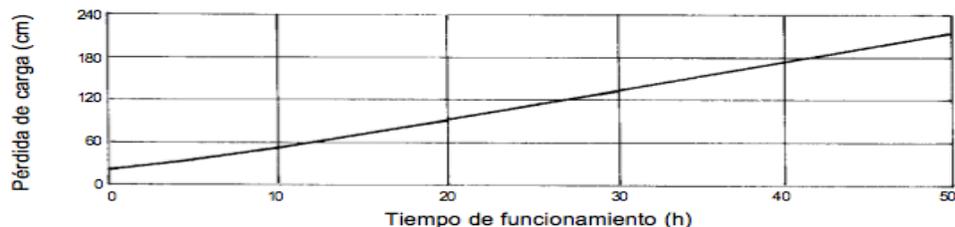
1.5 FILTRACIÓN

La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso. En general, la filtración es la operación final de clarificación que se realiza en una planta de tratamiento de agua y, por consiguiente, es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente con los estándares de potabilidad.

1.5.1 Factores relevantes en el proceso de filtración. De modo general, la eficiencia de remoción de partículas suspendidas en un medio filtrante está relacionada con las siguientes características de la suspensión:

- Tipo de partículas suspendidas: La filtración de Aquellas partículas que no han sedimentado difiere de otras de acuerdo a su procedencia. Partículas provenientes de procesos de ablandamiento no tendrán las mismas características que otras que provengan de pre-tratamientos con sales de hierro y aluminio. El tipo de partículas primarias presentes en el agua cruda influye en la eficiencia de la filtración (algas, arcilla, sílice).
- Tamaño de partículas suspendidas: Tamaños críticos de partículas suspendidas, del orden de 1 μm , generan menos oportunidad de contacto entre la partícula suspendida y el grano del medio filtrante. Las partículas menores que el tamaño crítico serán removidas eficientemente, debido al mecanismo de difusión; mientras que las de mayor tamaño que el crítico serán removidas eficientemente debido a la acción de otros mecanismos, como la intercepción y la sedimentación.
- Densidad de partículas suspendidas: La eficiencia de remoción de las partículas en suspensión mayores al tamaño crítico, será mayor al aumentar su densidad.
- Resistencia o dureza de las partículas suspendidas: Los flóculos débiles tienden a fragmentarse ingresando al medio filtrante y alterando la turbiedad limite; contrario a los flóculos duros que no se fracturan con facilidad pero aumentan la pérdida de carga.

Gráfica 1. Pérdida de carga vs Tiempo de funcionamiento en un filtro directo



Fuente. Manual de tratamiento de agua para consumo humano. 2007.

- Temperatura del agua por filtrar: El aumento de la temperatura conduce a una eficiencia mayor, debido al incremento de energía termodinámica en las partículas menores de 1 μm presentes en el agua, favoreciendo la acción de la difusión. Por otro lado, la disminución de la viscosidad facilita la acción del mecanismo de sedimentación de partículas mayores de 1 μm .
- Potencial zeta de la suspensión: Cuando las partículas suspendidas y los granos del medio filtrante tienen potencial zeta del mismo signo, la interacción entre las capas dificulta la adherencia, lo cual reduce la eficiencia de remoción. Como los materiales filtrantes usuales presentan potenciales zeta negativos, sería conveniente que las partículas suspendidas tuviesen potencial zeta neutro o positivo.
- pH del afluente: Este tiene especial importancia entre el intercambio iónico existente entre las partículas en suspensión y el medio filtrante. Valores de pH superiores a 7 producen un incremento en el intercambio de cationes y disminución en el intercambio de aniones; mientras que valores inferiores a 7 producen un aumento en el intercambio de aniones y descenso en el de cationes.

Según la literatura²⁰ los sistemas de filtración pueden ser clasificados teniendo en cuenta los siguientes parámetros: el lecho filtrante, el sentido del flujo durante la filtración, la forma de aplicar la carga de agua sobre el medio filtrante y la forma de control operacional.

1.6 FILTRACIÓN DIRECTA

La filtración directa es un proceso de tratamiento de agua superficial que se caracteriza por no incluir entre sus componentes la etapa de sedimentación, a diferencia del ciclo completo. Puede ser:

- Directa en Línea: Cuando incluye coagulación, mezcla rápida y filtración.
- Directa con floculación. Cuando se incluye el proceso de floculación. Generalmente es utilizada para el tratamiento de aguas superficiales con una turbiedad menor a 20 UNT y color inferior a 40 UC.

De igual forma según el manual de teoría esta también puede clasificarse en:

²⁰ YACTAYO MALDONADO, Víctor. Manual de tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría Tomo I. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú. 2004. Capítulo 9.

1.6.1 Tipos de filtración directa.

- **Filtración Directa Descendente:** El agua es coagulada mediante la aplicación de sales de aluminio o hierro. Se utiliza un polímero como auxiliar de floculación o filtración. En la unidad de mezcla rápida debe generar pequeños flocs con gran resistencia a las fuerzas de corte durante la filtración.

El medio filtrante está constituido por lo general de antracita y arena solamente de arena uniforme para garantizar una buena penetración de impurezas, garantizando así una mayor duración de carreras.

El lavado del medio filtrante se realiza con aire y agua.

- **Filtración Directa Ascendente:** Esta filtración presenta la ventaja de que el agua afluyente escurre en la dirección en que los granos del medio filtrante disminuyen de tamaño, lo que hace posible que el medio filtrante, constituido por arena, sea más efectivo en la remoción de partículas en suspensión.

También realiza carreras de filtración más largas comparadas a las de la filtración descendente utilizando lechos de arena y necesita mayores cargas hidráulicas y espesores de capa.

Las principales características de esta son

- Tasa de filtración: 120 a 200 m³/m²/día.
- Fondo de los filtros: tipo Leopold, tuberías perforadas y placas perforadas son los más comunes.
- Distribución de agua a los filtros: caja provista de vertederos, de la cual parten tuberías individuales o tuberías individuales provistas de medidores y reguladores de caudal.
- Filtración ascendente-descendente: Surge como consecuencia de constatar la posibilidad de fluidificación del medio filtrante al momento de la filtración ascendente y del consecuente daño de la calidad del agua tratada.

Esta utiliza filtros denominados Bi-Flow, donde parte del agua cruda coagulada es introducida en la parte superior, y la restante en la parte inferior del filtro. La conexión se hace a través de tuberías con bocas instaladas en el interior del medio filtrante

2. FORMACIÓN DE BIOPELÍCULA

Para la determinación de la formación y disminución de biopelícula se llevaron a cabo pruebas experimentales en la planta piloto Francisco Wiesner con la utilización de las mismas dosis a nivel planta según las características del agua cruda de entrada proveniente de los embalses San Rafael y Chingaza.

La metodología empleada así como los diferentes métodos utilizados se presentan a continuación:

2.1 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El proceso para la determinación de formación de biopelícula inicia con la caracterización del agua cruda proveniente de los respectivos embalses (San Rafael y Chingaza) , esta tiene como objetivo calcular la dosificación de productos químicos a utilizar de acuerdo a sus características fisicoquímicas, para luego ingresar mediante una bomba de transporte a la planta piloto.

Ilustración 2. Embalse San Rafael



Fuente. Acueducto de Bogotá

Ilustración 3. Embalse Chingaza



Fuente. Acueducto de Bogotá

Una vez esta ingresa a la instalación a escala, pasa por la etapa de mezcla rápida que “se denomina a las condiciones de intensidad de agitación y tiempo de retención que debe reunir la masa de agua en el momento en que se dosifica el coagulante, con la finalidad de que las reacciones de coagulación se den en las condiciones óptimas correspondientes al mecanismo de coagulación predominante”²¹, seguida de la etapa de coagulación en donde se adicionan los productos químicos correspondientes (polímero no iónico, polímero catiónico y de sulfato de Aluminio) que permiten la separación de las partículas contaminantes del agua mediante la respectiva etapa de filtración directa en lecho poroso compuesto por arena-antracita.

El proceso anterior tiene una duración de 44 horas en el cual se conecta una tubería de 20 cm de largo y de 1 pulgada de diámetro material PVC, que se usa con el fin de que la tubería encaje en la salida del tanque después de la filtración de la planta piloto y con el fin de poder tener un proceso de remoción de humedad apropiado y menor incertidumbre en la medición del peso del tubo en cuestión, para luego ser retirada al finalizar el proceso como se ve en las ilustraciones 4 y 5.

²¹ VARGAS, Lidia. Manual de tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría Tomo I. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú. 2004. Capítulo 5.

Ilustración 4. Diagrama general del proceso.

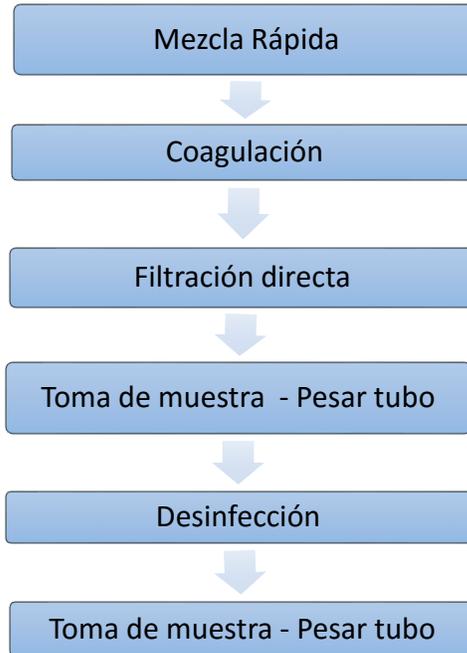
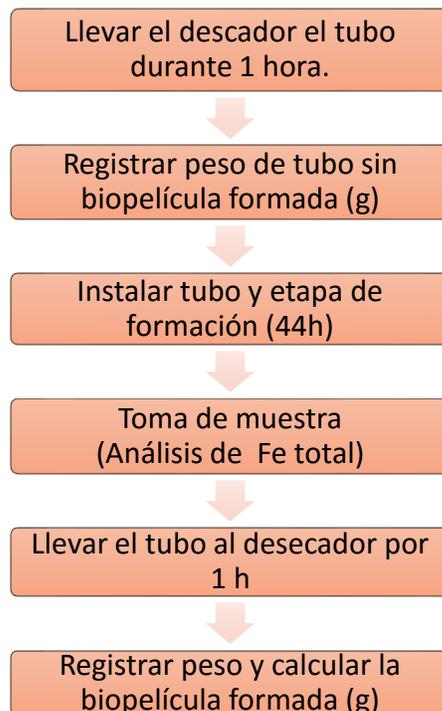


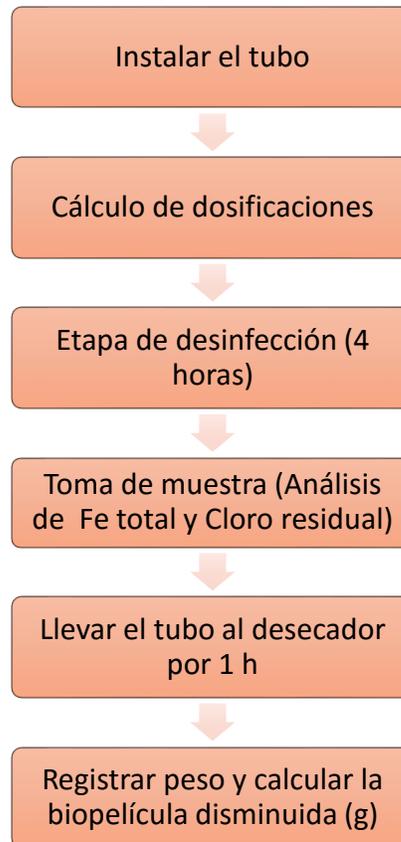
Ilustración 5. Etapa de formación de biopelícula



Por último y después de haber realizado el registro de la cantidad de biopelícula formada, se determinan de la misma manera que en el proceso anterior las dosificaciones de desinfectantes, se vuelve a colocar la tubería de estudio en el tanque de salida de filtros y se realiza la respectiva etapa de desinfección para la eliminación de microorganismos patógenos a la salud y la biopelícula con una duración de 4 horas. Al finalizar se retira el tubo y se pesa.

El proceso anteriormente mencionado se resume en el diagrama de flujo de la Ilustración 6:

Ilustración 6. Etapa de desinfección-disminución de biopelícula.



2.2 PLANTA PILOTO

Para la parte experimental se simuló a nivel planta piloto el proceso de filtración directa descendiente, utilizado por la planta Francisco Wiesner en el tratamiento del agua.

El proceso mencionado en el numeral anterior, contextualizado en la planta piloto es el siguiente:

- ✓ Se empieza con el control del caudal (0,07-0.1 L/s) y turbiedad de entrada del agua cruda a la planta hacia los tanques de mezclado rápido (MR4), en los cuales se adicionan los floculantes, pasando por el tanque de control de caudal y nivel de entrada (CQN 2) hasta llegar al filtro rápido descendente (FRD4), en el cual el lecho compuesto por antracita y arena retiene los flocs, disminuyendo las partículas en suspensión y la turbiedad, luego se controla la turbiedad de salida de los filtros (0,2 – 0,7 NTU) hasta el tanque de control de caudal y nivel (CQN 4), en donde el agua pasa por la tubería de estudio. Teniendo en cuenta las pérdidas del proceso ocasionadas por la disminución de la carga hidráulica (presión), entre el agua transportada y la tubería, como por las pérdidas menores generadas por los codos y válvulas de la misma, el caudal de salida varía entre un 80-90% del caudal de entrada, dirigiéndose dichas perdidas al desagüe de la planta piloto. Este procedimiento se resume en la ilustración 7.

Por último se muestran sus especificaciones y equipos en la tabla 3.

Tabla 3. Especificaciones y equipos de la planta piloto

Caudal Entrada L/s	0,07-0.1
Filtro	
Perímetro	53 cm
Diámetro	15 cm
Grosor	1cm
Altura total	4,5 m
Altura del lecho arena- antracita	1,5 m
Tanque de control y nivel de entrada CQN2	
Altura	50 cm
Largo	70 cm
Ancho	25 cm
Tanque de control y nivel de salida CQN4	
Altura	55 cm
Largo	70 cm
Ancho	40 cm
Tanques de mezcla rápida MR4	
Altura	30 cm
Largo	15 cm
Ancho	11 cm
Bombas transportadoras de agua cruda	
Modelo	Pedrollo PKm 60
Tamaño de descarga	1" x 1"
Potencia	370 W

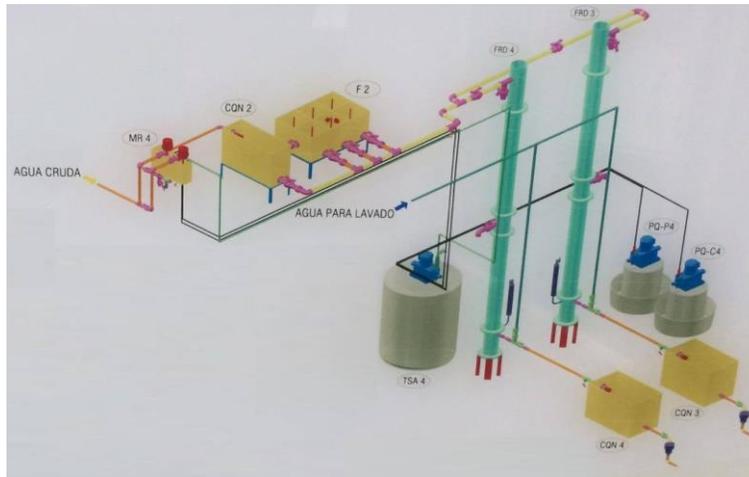
Tabla 3. (Continuación)

Velocidad de flujo	5 ~ 40 L/min	
Succión de levantamiento	Max. 8 m	
Temperatura líquida	Max. 60 °C	
Temperatura ambiente	Max. 40 °C	
Dimensiones (Largo x Ancho x Alto)	207mm x 118mm x 145mm	
Peso	5,2 Kg	
Agitadores		
Modelo	Smem GSM 71A4	
Potencia	0,25 KW	
Caballos de fuerza	0,34 HP	
Revoluciones por minuto	1360 rpm	
Eficiencia	60 %	
Peso	5,4 Kg	
Bombas dosificadoras		
Serie	DLX-DLXB	
Material	Plástico	
Alimentación eléctrica	230 V a 50 Hz monofase	
Condiciones medioambientales	Protección	IP65
	T ambiente	5-40 ° C
	Humedad máxima relativa	80%
Tubo de eyección	Polietileno	
Empalme de inyección	Polipropileno	

Tabla 4. Partes de la planta piloto

Cámaras	
MR4	Cámara de mezcla rápida
CQN 2	Control de caudal y nivel de entrada
CQN 3	Control de caudal y nivel de salida línea 3
CQN 4	Control de caudal y nivel de salida línea 4
F2	Floculador
Filtros	
FRD3	Filtro rápido descendente 3
FRD 4	Filtro rápido descendente 4
Dosificación	
TSA 4	Tanque de suspensión de arcilla
PQP 4	Producto químico-polímero
PQC 4	Producto químico-coagulante

Ilustración 7. Instalación piloto de filtración directa descendente con y sin floculación.



Fuente. Acueducto de Bogotá

2.3 MÉTODOS

2.3.1 Toma de muestra. Las muestras recolectadas para evaluar la formación de biopelícula, se tomaron al finalizar la etapa de filtración directa; mientras que para la evaluación de la disminución de la misma, las muestras fueron recolectadas al finalizar la etapa de desinfección.

Para el registro de los valores anteriores se utilizaron tuberías de PVC marca Pavco de 20 cm de longitud y 1/2" de diámetro cuya área lateral es de 79.79 cm², por el cual pasaban 79200L de agua filtrada en las 44 horas, estas medidas se seleccionaron a partir de las dimensiones de la tubería de salida del agua en el tanque.

Debido a que en el tratamiento de aguas no es posible obtener condiciones fisicoquímicas iguales en el agua a tratar diariamente, en el proyecto no se utilizó un diseño experimental para determinar el número de corridas a realizar, limitando dicho número al tiempo programado de experimentación, realizando la mayor cantidad posible de pruebas para la recolección de datos.

El número de pruebas realizadas se repartieron en:

- Doce pruebas escaladas con la dosificación correspondiente a la planta Francisco Wiesner divididas en :
 - ✓ Seis corridas utilizando cloro
 - ✓ Seis corridas utilizando MIOX

- Dos pruebas sin productos químicos presentes, utilizadas como blanco de referencia.

Los blancos realizados en la experimentación se tomaron con el fin de determinar el comportamiento de la planta sin la utilización productos químicos, y la incidencia que tienen los mismos en la formación de biopelícula.

2.3.2 Parámetros de supervisión. Para la toma de datos y posterior realización de los análisis relacionados al proyecto, así como el diagnóstico operativo del proceso. Se seleccionaron los siguientes parámetros de supervisión, cuyas metodologías se encuentran en los anexos D,E,F,G,H,I.

- Turbiedad: La cual se registró para el agua cruda de entrada a la planta y el agua de salida del tanque en las etapas de coagulación y desinfección por intervalos de 2 horas mediante el panel de control presente en la planta piloto.
- Color: Registrado por intervalos de 2 h tanto para el agua cruda como para el agua de la etapa de coagulación mediante colorímetro móvil LCM IV (Ver anexo M).
- Hierro total: Se realizaron 3 mediciones de esta parámetro en las primeras 44 horas (etapa de coagulación) para el cálculo posterior de su promedio, así como 1 medición en la etapa de desinfección. Se empleó un espectrofotómetro Dr 3900 (ver anexo M).
- Coliformes totales: Con el fin de determinar los microorganismos presentes en el agua tratada, se realizó una siembra respectiva al finalizar cada etapa de coagulación.
- Cloro residual: Se realizó una medición por corrida de este al finalizar cada etapa de desinfección con una bureta digital marca Titronic (ver anexo M).

2.3.2 Ensayo gravimétrico. Para realizar la evaluación de la formación de biopelícula, se tuvo en cuenta la técnica gravimétrica la cual se basa en la toma del peso correspondiente al tubo limpio y totalmente seco mediante el desecador, tanto al inicio como al final de la corrida en una balanza analítica (Ver anexo M). Esto con el fin de conocer la cantidad de biopelícula formada mediante la diferencia de pesos, como se muestra en la ecuación 1.

Ecuación 1. Cantidad de biopelícula formada.

$$\boxed{\text{Biopelícula formada (g)} = \text{Peso final del tubo (g)} - \text{Peso inicial del tubo(g)}}$$

De igual forma, la determinación de la disminución de biopelícula se realizó por el método gravimétrico según la ecuación 2:

Ecuación 2. Cantidad de biopelícula disminuida.

$$Biopelícula\ disminuida(g) = Biopelícula\ formada(g) - peso\ final\ del\ tubo\ después\ de\ la\ desinfección(g)$$

2.4 PRODUCTOS QUÍMICOS

Para el desarrollo de la experimentación se utilizaron tres coagulantes y dos tipos de desinfectantes, sus fichas técnicas se muestran en el anexo L.

2.4.1 Coagulantes

- Sulfato de aluminio
- Polímero catiónico
- Polímero no iónico

2.4.2 Desinfectantes

- MIOX
- Cloro

2.5 CÁLCULO DE LA DOSIFICACIÓN EN LA PLANTA PILOTO

Para la determinación de las dosis de productos químicos utilizados en la planta Francisco Wiesner se realizaron test de jarras, ver anexo B; mientras que para mantener las dosificaciones de productos químicos utilizados en la planta Francisco Wiesner a nivel planta piloto se utilizaron diferentes rangos de Strokes o pulsos en las bombas dosificadoras según el caudal de entrada (ver anexo N) en los tanques de sulfato, polímero catiónico y no iónico. Esto con el fin de calcular la concentración y el volumen de productos químicos a adicionar en los tanques según la ecuación 3.

Ecuación 3. Concentración de productos químicos a dosificar.

$$C_{pq} = \frac{Q_e * D_{pq}}{Q_d} * 60.000$$

Fuente. Acueducto de Bogotá.

C_{pq}: Concentración de productos químicos en los tanques (ppm)

Q_e: Caudal de entrada agua cruda (L/s)

D_{pq}: Dosis de productos químicos utilizada en la planta Francisco Wiesner (ppm)

Qd: Caudal de entrada según los Strokes trabajados.

De acuerdo a esta concentración y a la concentración del sulfato o polímero de trabajo, se calcula el volumen a adicionar teniendo en cuenta que los tanques son de 90 L según la ecuación 4.

Ecuación 4. Volumen a adicionar de productos químicos en los tanques (L).

$$V_1 = \frac{V_2 * C_{pq}}{C_1}$$

V₁: Volumen a adicionar de productos químicos en los tanques (L)

C₁: Concentración total de productos químicos (ppm)

V₂: Volumen del tanque (L)

C_{pq}: Concentración de productos químicos (ppm)

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados obtenidos para la formación de biopelícula, así como las características de cada corrida, se muestran en la tabla 7, la cual se obtuvo a partir de la colaboración con un proyecto realizado de manera alterna²². Estos son de interés al realizar el análisis de la etapa de desinfección.

De igual manera en la tabla 8 se muestran las características de cada corrida mediante la experimentación realizada en la planta piloto Francisco Wiesner para las variables de hierro total después de la desinfección, coliformes totales, turbiedad, cloro residual y cantidad de biopelícula disminuida.

Las corridas 1 y 2 corresponden a los blancos realizados al inicio de la experimentación con MIOX y con cloro respectivamente. Las corridas comprendidas entre la 3 y la 8, la desinfección se realizó con cloro, y las corridas de la 9 a la 14 se hizo con MIOX.

Los rangos de las dosificaciones utilizadas para cada uno de los productos químicos presentes en el proceso a escala planta piloto se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Rangos de concentración de la dosis (ppm) de los productos químicos.

Sulfato de aluminio (ppm)	Polímero catiónico (ppm)	Polímero no iónico (ppm)	Cloro (ppm)	MIOX (ppm)
3,3-6,8	0,43-0,72	0,01-0,05	2,1-2,6	0,65-0,7

Los parámetros analizados durante toda la experimentación deben estar dentro del rango de la normatividad vigente según la resolución 2115 de 2007, ver anexo K.

Tabla 6. Normatividad vigente según los parámetros analizados.

Cloro residual (ppm)	Hierro (ppm)	Color (UPC)	Turbiedad (NTU)	Coliformes (UFC/100mL)
0,3 – 2	0-0,3	0 -15	0 - 2	0-100

Fuente. Ministerio de la protección social ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial resolución número 2115. 2007.

²² Ruiz, Paola Isabel; Torres, Arnulfo Andrés. Evaluación de la relación entre la cantidad de hierro total y coliformes totales con la cantidad de biopelícula formada a la salida de la planta Francisco Wiesner a nivel de planta piloto. Universidad de América. 2016

Corridas	Periodo de corrida	Fuente	Dosis Sulfato de aluminio (ppm)	Dosis Polímero no iónico (ppm)	Dosis de polímero catiónico (ppm)	Coliformes Totales (UFC)	Hierro Total de entrada (ppm)	Turbiedad (NTU)	Peso Inicial del Tubo (g)	Peso Final del tubo (g)	Cantidad de biopelícula formada (g)	Color (UPC)	
												Entrada	Salida
1	4 Enero-6 Enero	San Rafael	0	0	0	108	0,41	2,06	70,7955	70,8055	0,01003	16,7	14,3
2	6 Enero- 8 Enero	San Rafael	0	0	0	98	0,39	2,24	70,76465	70,7746	0,00999	17,4	14,5
3	8 Enero- 10 enero	Chingaza-San Rafael	6,8	0,02	0,43	12	0,11	0,93	70,5119	70,5163	0,0044	16,4	4
4	11 Enero-13 Enero	Chingaza-San Rafael	5,5	0,04	0,45	12	0,06	0,65	70,5119	70,5149	0,003	17,8	4
5	16 Enero- 18 Enero	San Rafael	4	0,05	0,67	25	0,05	0,68	70,1288	70,1382	0,0094	20,2	4,2
6	21 Enero-23 Enero	San Rafael	3,97	0,05	0,69	11	0,01	0,6	70,1341	70,1368	0,0027	21,4	4,9
7	25 Enero-27 Enero	San Rafael	3,3	0,05	0,72	4	0,05	0,57	70,1512	70,156	0,0048	18,5	4,1
8	4 Febrero-6 Febrero	San Rafael	3,8	0,01	0,67	12	0,0725	0,54	69,29999	69,309	0,00901	16,7	4,4
9	7 Febrero-9 Febrero	San Rafael	3,4	0,05	0,66	28	0,083	0,66	69,90628	69,9116	0,00532	17,8	4,4
10	9 Febrero-11 Febrero	San Rafael	0	0,02	0,67	90	0,035	0,74	70,06828	70,0707	0,00242	17,4	4,5
11	11 Febrero-13 Febrero	San Rafael	0	0,02	0,6	100	0,085	0,72	70,37656	70,3845	0,00794	18,8	3,7
12	13 Febrero- 15 Febrero	San Rafael	0	0,02	0,64	97	0,07	0,94	71,03674	71,0458	0,00906	19,1	5,8
13	15 Febrero- 17 Febrero	San Rafael	0	0,02	0,62	110	0,14	0,84	70,4552	70,4626	0,0074	18,2	4,1
14	17 Febrero-19 Febrero	San Rafael	3	0,005	0,62	6	0,09	0,71	70,15567	70,1622	0,00653	1,8,4	3,7

Tabla 7. Dosis por corrida y resultados obtenidos en planta para la formación de biopelícula.

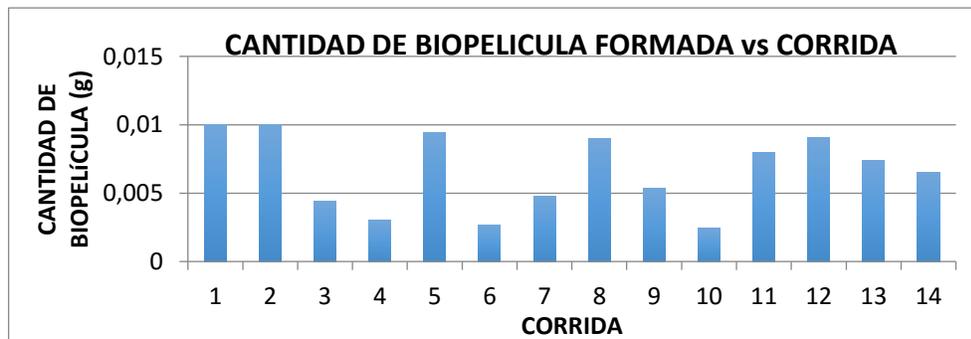
3.1 FORMACIÓN DE BIOPELÍCULA

Teniendo en cuenta las diferentes dosificaciones para cada una de las corridas realizadas, se obtuvo como resultado los valores de las variables de hierro total, coliformes totales, turbiedad, color y cantidad de biopelícula formada. Las características del agua cruda por corrida se encuentran en el Anexo M. De acuerdo con lo anterior, se realizó el análisis de los datos con el fin de estudiar el fenómeno de formación de biopelícula, estos se encuentran consignados en la tabla 7. De la cual se puede observar que la dosis de coagulantes y ayudantes de coagulación no tiene relación alguna con la cantidad de biopelícula formada, esto se puede apreciar al comparar la corrida 12 y 13 en donde a pesar de haber utilizado una dosificación de polímero catiónico de 0,64 y 0,62 respectivamente, la formación de biopelícula fue mayor en la corrida con mayor producto químico utilizado. Otro ejemplo que muestra esta situación es la corrida 13 y 14 en donde a pesar de utilizar la misma dosificación de polímero catiónico, se utilizó una mayor dosificación de polímero no iónico en la última (0,05 ppm); sin embargo la formación de biopelícula fue casi del doble.

Así mismo se evidencia en la tabla 7 que las corridas 1 y 2 correspondientes a los blancos sin la utilización de productos químicos de coagulación, presentan la mayor cantidad de biopelícula formada, color, turbiedad, y hierro total de entrada, esto concuerda con la literatura en donde se afirma, que es necesario aplicar coagulantes al agua a tratar para mejorar sus características fisicoquímicas.²³ Sin embargo al realizar la desinfección con cloro y MIOX los valores de hierro total de salida no presentan relación con el criterio anterior; un ejemplo se evidencia en las corridas 1 y 2 comparadas a la 12 y 14 en donde el hierro total de salida es más bajo en los blancos que en las corridas con productos químicos.

Los datos de las corridas realizadas se encuentran en el anexo A y sus resultados se muestran a continuación:

Gráfica 2. Cantidad de biopelícula formada vs Corrida realizada

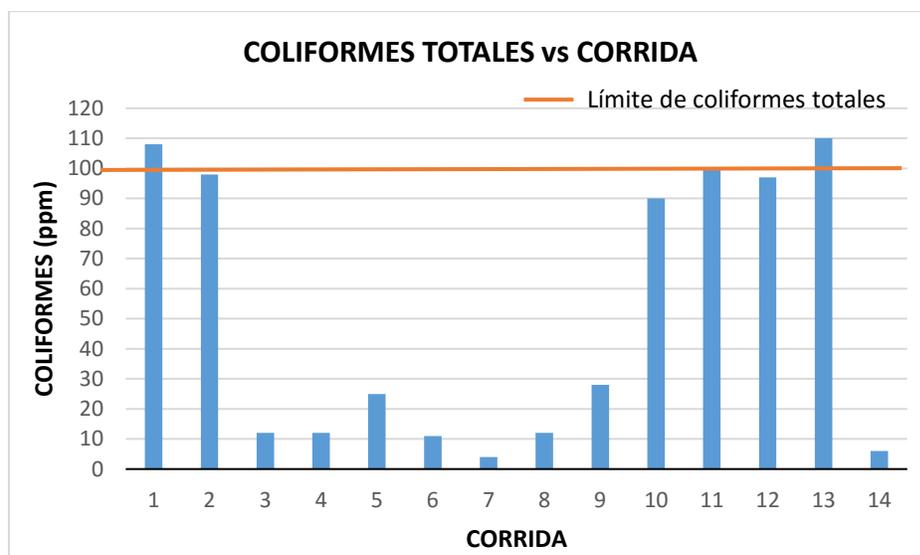


²³ OVANDO, Araceli Castañeda. Representaciones gráficas de las relaciones propiedad-concentración con fines cuantitativos. Universidad autónoma del estado de Hidalgo. 2011.

En la gráfica 2 se puede notar el comportamiento de la cantidad de biopelícula formada en cada corrida, que a pesar de la variación en las condiciones de cada una de estas, no muestra un comportamiento concreto, pues en las corridas 5,8 y 12 se obtienen valores cercanos (aproximadamente 0,09 g) sin utilizar las mismas dosificaciones. No obstante las corridas 11 12 y 13 presentan alta formación al no utilizarse el coagulante de sulfato de aluminio de la misma manera que en el análisis anterior.

La corridas con menor cantidad de biopelícula formada fueron la numero 10 y 6, con dosificaciones similares de polímero catiónico (0,67 y 0,69 respectivamente).

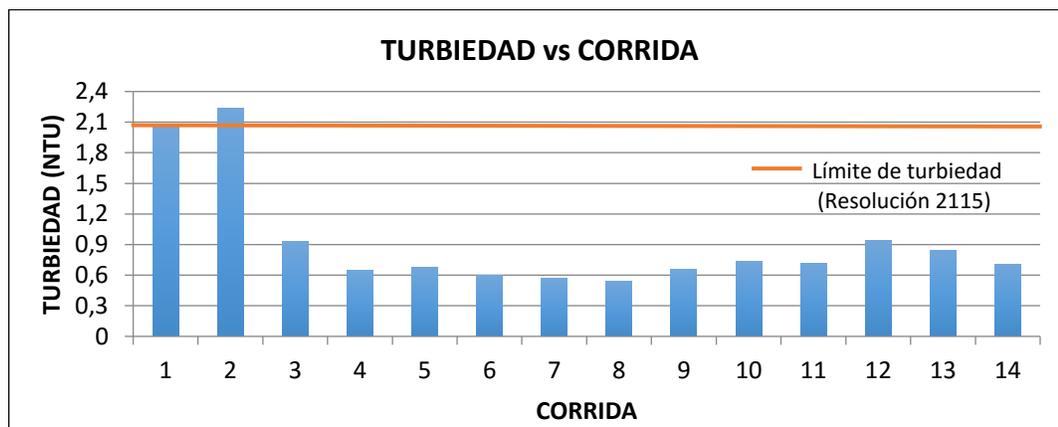
Gráfica 3. Coliformes totales vs Corrida realizada.



Para la cuantificación de los coliformes totales se utilizó la técnica mencionada en el anexo G con un medio de cultivo que contenga lactosa tras una incubación durante 24 horas a 35°C.

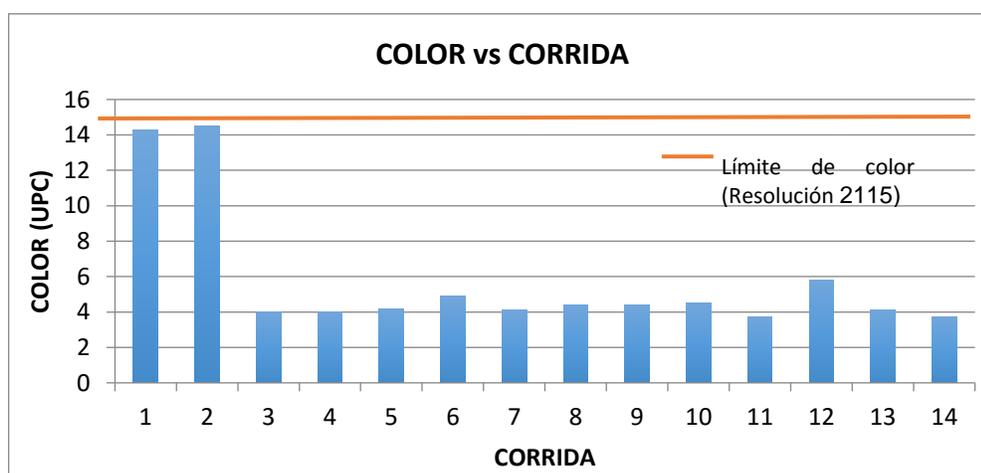
Al observar la gráfica 3, las corridas que muestran mayor presencia de coliformes totales son la 1,2,10,11,12 y 13 respectivamente, las primeras dos debido a que como se mencionó con anterioridad se trataban de los blancos sin la utilización de productos químicos; mientras que los valores altos comprendidos entre la corrida 10-13 podrían explicarse a que por una falla en la tubería del acueducto se trabajó sin el sulfato de aluminio, mostrando influencia directa en la elevación de la variable coliformes totales. Los valores más bajos de microorganismos presentes en el agua tratada se obtuvieron en las corridas 7 y 14 con dosis de sulfato de aluminio de 3 ppm aproximadamente y la misma dosis de polímero no iónico (0,65 ppm).

Gráfica 4. Turbiedad vs Corrida realizada



En la gráfica 4, se ve el comportamiento promedio de la turbiedad de cada una de las corridas realizadas; esta se utilizó parámetro de supervisión durante todo el proceso, debido a que mostraba si el proceso de coagulación y filtración funcionaban de manera correcta según la normatividad vigente. A su vez se muestra un comportamiento similar para las corridas en las cuales se utilizaban productos químicos (3-14), independientemente de las dosificaciones utilizadas, encontrándose dentro de la normatividad aplicable a la resolución 2115 (Ver anexo K), por lo que esta variable no juega un papel importante en el aumento de la biopelícula presente en la tubería de estudio.

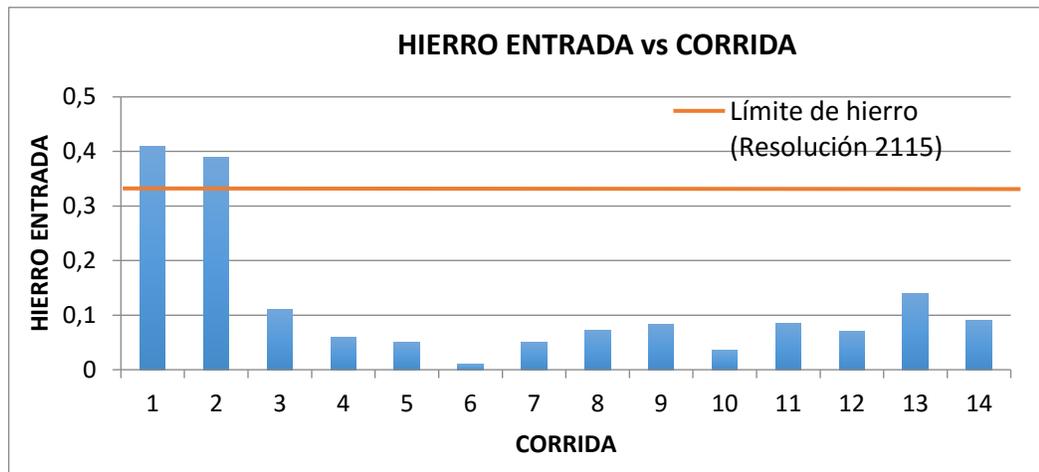
Gráfica 5. Color vs Corrida realizada



De la misma forma al analizar el comportamiento de la Gráfica 5, en donde se muestran los valores del color del agua por corrida, se aprecia como los valores de color para el agua filtrada se encuentran dentro de la normatividad vigente, ver tabla 6.

Al no presentarse variación significativa en esta variable controlada, se puede decir que la misma no fue incidente en la formación de biopelícula.

Gráfica 6. Hierro entrada vs Corrida realizada



De la Grafica 6 puede apreciarse como se presenta el valor más bajo de hierro de entrada en la corrida 6, con una dosificación de 3,97 ppm de sulfato de aluminio, no obstante; el segundo valor más bajo de hierro de entrada de la corrida 10 no utiliza este producto químico, siendo poco importante en su disminución. Se muestra una reiteración de que las corridas denominadas blanco presentan los valores más altos y son las únicas que están fuera de la normatividad vigente (Ver anexo K)

3.2 DISMINUCIÓN DE BIOPELÍCULA

En la tabla 8 se muestran los datos recolectados durante el proceso de desinfección del agua y disminución de biopelícula. Se tuvo en cuenta como parámetro de supervisión en la desinfección el cloro residual, ya que se quiere mantener este dentro de los rangos establecidos en la resolución 2115 citados en la tabla 6, para analizar si el proceso de desinfección se realizó de manera correcta.

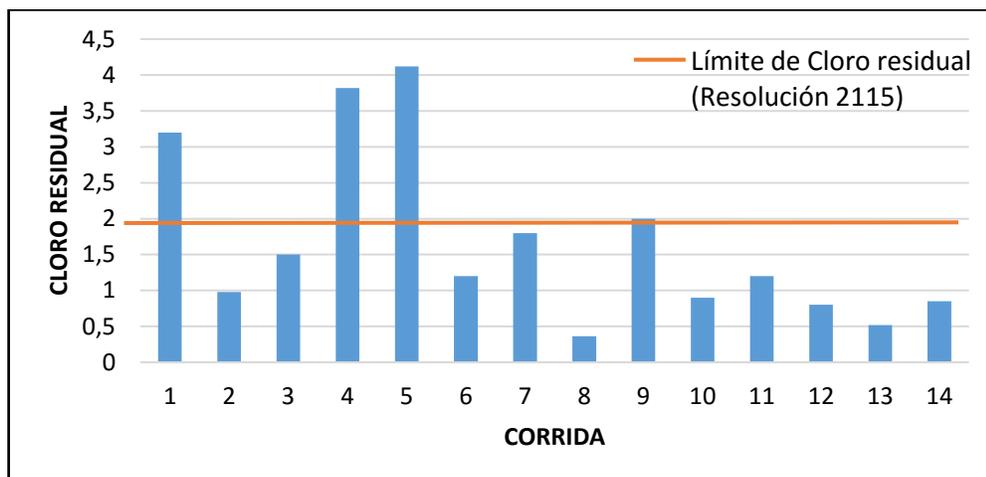
En las corridas en las que se realiza la desinfección a partir del cloro se puede ver que la cantidad de cloro residual es mayor que en las corridas realizadas a partir del MIOX, esto se debe a la naturaleza química del cloro, que lo hace muy inestable a las condiciones ambientales, y más al no contar con una cámara de contacto apropiada para el proceso.

Se puede decir con respecto a la cantidad de biopelícula desinfectada que la acción de los dos productos químicos usados para la desinfección realizó su función de manera correcta, sin importar la dosis que se le aplicó durante cada una de las corridas realizadas.

Tabla 8. Datos obtenidos de la desinfección

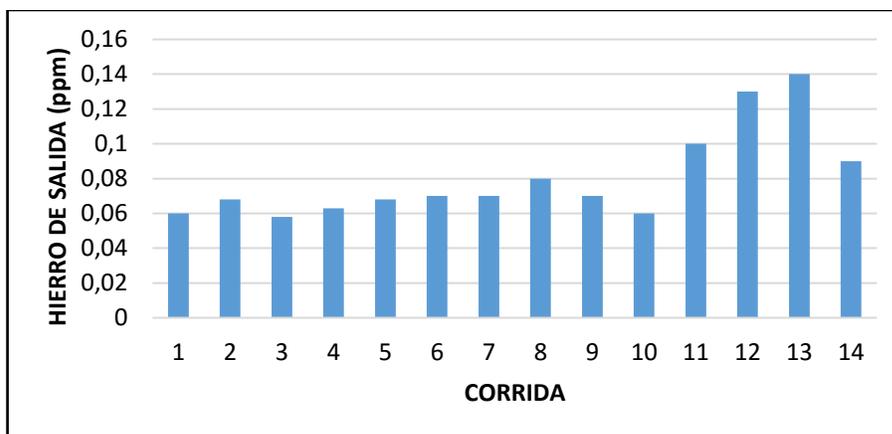
Corridas	Fuente	Dosis de cloro (ppm)	Dosis de MIOX (ppm)	Hierro Total de salida (ppm)	Peso Inicial del Tubo (g)	Peso Final del tubo (g)	Cantidad de biopelícula formada (g)	cantidad de biopelícula disminuida después de desinfección (g)	Cloro residual (ppm)	Turbiedad (NTU)
1	San Rafael	0	0,65	0,06	70,7955	70,8055	0,01003	0,00998	3,2	2,1
2	San Rafael	2,2	0	0,068	70,76465	70,7746	0,00999	0,0097	0,98	2,18
3	Chingaza-San Rafael	2,1	0	0,058	70,5119	70,5163	0,0044	0,0038	1,5	0,87
4	Chingaza-San Rafael	2,2	0	0,063	70,5119	70,5149	0,003	0,0028	3,82	0,59
5	San Rafael	2,1	0	0,068	70,1288	70,1382	0,0094	0,0089	4,12	0,67
6	San Rafael	2,6	0	0,07	70,1341	70,1368	0,0027	0,0025	1,2	0,59
7	San Rafael	2,1	0	0,07	70,1512	70,156	0,0048	0,0045	1,8	0,55
8	San Rafael	2,2	0	0,08	69,29999	69,309	0,00901	0,009	0,364	0,51
9	San Rafael	0	0,65	0,07	69,90628	69,9116	0,00532	0,00528	2	0,67
10	San Rafael	0	0,7	0,06	70,06828	70,0707	0,00242	0,0024	0,9	0,73
11	San Rafael	0	0,68	0,1	70,37656	70,3845	0,00794	0,0079	1,2	0,56
12	San Rafael	0	0,7	0,13	71,03674	71,0458	0,00906	0,00905	0,8	0,87
13	San Rafael	0	0,65	0,14	70,4552	70,4626	0,0074	0,0073	0,52	0,8
14	San Rafael	0	0,65	0,09	70,15567	70,1622	0,00653	0,00652	0,85	0,72

Gráfica 7. Cloro residual vs Corrida realizada.



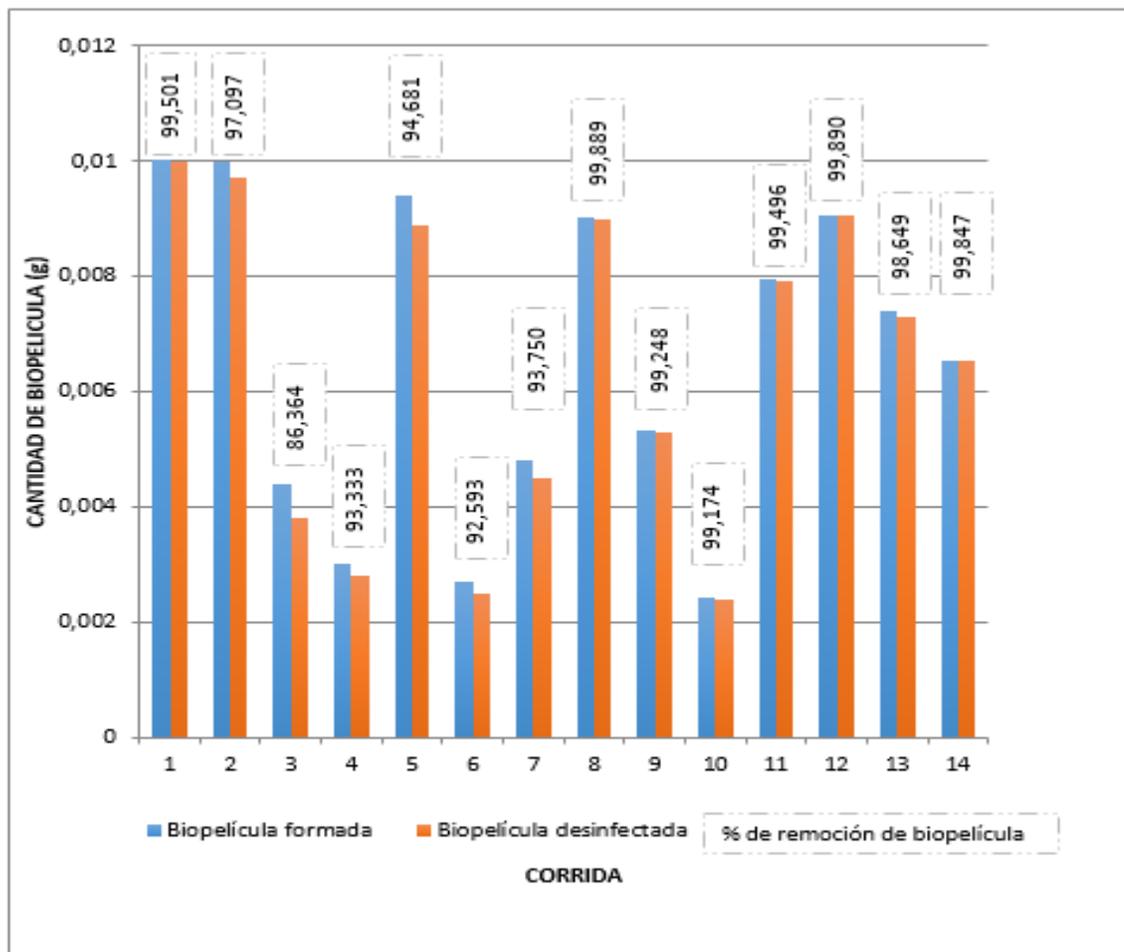
En la gráfica 7, se muestra el comportamiento del cloro residual durante cada corrida, resaltando en específico las que están fuera del valor autorizado por la resolución 2115 (Anexo K), como lo son la corrida 1, 4 y 5, de las cuales una de las desinfecciones se realizó con MIOX y otras dos con cloro respectivamente. En la experimentación se puede ver la estabilidad del cloro y el MIOX; por ejemplo en las corridas de la 2 a la 8 la cantidad de cloro residual en el cloro gaseoso es más variable que la del MIOX que se mantuvo siempre dentro de la norma excepto en la corrida 1. Esto se debe al comportamiento químico del cloro y la estabilidad del MIOX por su generación in situ es decir que se produce en el sitio a realizar el tratamiento respectivo, necesitándose solo una o más sales, agua y la aplicación de electricidad. Necesitando de menos tiempo de contacto para mejorar su acción desinfectante y de la misma manera el uso de menor dosificación que el cloro, lo que indica que es más potente y efectivo para este proceso.

Gráfica 8. Hierro total de salida (ppm) vs Corrida.



Comparando las gráficas 7 y 8, se observa como no hay una relación directa entre la cantidad de hierro total a la salida y el cloro residual presente en el agua, un ejemplo más concreto se ve al comparar las corridas 1 en donde se tiene un valor de hierro de 0,06 ppm a la salida y 3,2 ppm de cloro residual, valor fuera de la norma; con la corrida 11 en donde a pesar de obtener un valor menor de 1,2 ppm de cloro residual se presenta un valor más alto hierro total a la salida (0,1 ppm). Esto indica que el hierro no tiene relación con el estudio de la desinfección de la biopelícula para determinar cuál de los dos desinfectantes es más efectivo.

Gráfica 9. Cantidad de biopelícula vs corrida



En la gráfica 9, se muestra la cantidad de biopelícula formada comparada la biopelícula desinfectada, junto con sus respectivos porcentajes de remoción. Para la mayoría de las corridas se eliminó la biopelícula en su totalidad, lo que quiere decir que a pesar del uso de dos diferentes desinfectantes a diferentes dosificaciones, su efecto fue el mismo, y para su elección como el mejor desinfectante se debe realizar a partir de las ventajas que tenga el uno sobre el otro.

Puesto que ninguna de las variables de estudio fueron suficientes para determinar su comportamiento.

De acuerdo a su mejor inactivación de microorganismos, reducción de formación de TTHM y mejoramiento de propiedades organolépticas del agua, se elige el MIOX.

Tabla 9. Coliformes totales después de desinfección.

Corrida	Coliformes totales (UFC/100mL)
Blanco 1	7
Blanco 2	5

Con el fin de analizar el comportamiento de los microorganismos que componen la matriz polimérica que se origina en la tubería instalada en la planta piloto, se realizó la cuantificación de coliformes totales después del proceso de desinfección, en donde para la mayoría de las corridas realizadas la cantidad de coliformes presentes en el agua era de 0 UFC/100 mL, excepto en las corridas en las que no se utilizaron productos químicos como ayudantes de la floculación, lo que indica que la dosificación de los desinfectantes usados en estos blancos no fue suficiente; puesto que la función principal de los productos químicos empleados es retener en el filtro los sólidos suspendidos y demás contaminantes, que facilitan el crecimiento de microorganismos en el agua.

4. ANÁLISIS FINANCIERO

La evaluación financiera se realizó con el fin de determinar el costo de implementación del proceso de desinfección utilizando de oxidantes mixtos, haciendo una comparación entre el costo anterior y el costo sin el proyecto implementado.

Se utilizó la metodología del valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno operacional (TIR), en un tiempo de 5 años y con unidad monetaria de valor corriente en peso colombiano COL\$),

Se tuvieron en cuenta los siguientes supuestos:

- La tasa representativa del mercado (TRM), 3017,91COL\$/USD, del día 7 de Junio de 2016.²⁴
- Para la Tasa de oportunidad se toma la tasa mínima atractiva de retorno (TMAR) del 7%, más el depósito a término fijo (DTF) de 6,69%.²⁵

4.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE LA INVERSIÓN ASIGNADA AL PROYECTO

El costo de la inversión solo se tiene en cuenta para el proceso propuesto, debido que el proceso actual no cuenta con la maquinaria apropiada. En la tabla 10, se describe los elementos necesarios para implementar la propuesta.

Tabla 10. Elementos necesarios para la implementación del proyecto.

Elementos	Existencia en la Empresa	Costo
5 equipos MIOX rio grande	NO	\$ 5.088.089.432
5 bombas dosificadoras MIOX	NO	\$ 897.898.135

Fuente. Acueducto de Bogotá.

La inversión inicial asignada al proyecto es de \$ 5.985.987.567 de pesos (COL\$), en la cual no se tiene en cuenta la mano de obra.

4.2 ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN

La inversión del proceso de la propuesta de implementación del proceso de desinfección fue de 5.000'000.000 COL\$, que es el valor estimado de inversión de

²⁴ Banco de la República. Tasa de cambio del peso colombiano (TRM) con validez del martes 7 de Junio de 2016 [en línea]< <http://www.banrep.gov.co/es/trm>>[citado: 4 de Junio de 2016].

²⁵ Banco de la República. Tasas de captación semanales y mensuales con validez del 06 de Junio al 12 de Junio de 2016. [en línea]< <http://www.banrep.gov.co/es/df>>[citado:14 de Junio de 2016].

todo el proceso inicial, la inversión con el proyecto es la suma de la maquinaria MIOX rio grande más la inversión inicial, lo que a un total de \$ 10.985.987.567 COL\$.

Tabla 11. Inversión al proceso de desinfección.

Inversión para la implementación del sistema MIOX				10%
	SIN PROYECTO	CON PROYECTO	Diferencia	
Propiedad, planta y equipo (inversión total)	\$ 50.000.000.000	\$ 59.207.510.000	\$	9.207.510.000
Inversión asignada al proceso de desinfección	\$ 5.000.000.000	\$ 14.207.510.000	\$	920.751.000
Inversión total	\$ 55.000.000.000	\$ 73.415.020.000	\$	10.128.261.000

La producción tiene unos valores promedios por día, que depende del consumo de agua total de la ciudad, por lo cual se toma un promedio mensual de agua de 30'000.000 metros cúbicos. Para esta producción se quiere demostrar la comparación de los costos entre la producción y operación, entre el proceso sin implementación de proyecto y con proyecto, que se muestran a continuación:

En la tabla 12 se muestra el costo que se tienen en el proceso teniendo en cuenta las materias primas usadas, el mantenimiento de los equipos y el gasto energético que este tiene. Se comparan estos costos de acuerdo al tipo de proceso que se lleva, el cual muestra este sin implementación del proyecto se usa el método convencional de cloración mediante cloro gaseoso y con proyecto usando el MIOX como nuevo método de desinfección.

Tabla 12. Costos requeridos por mes con proyecto y sin proyecto.

Costos	SIN PROYECTO	CON PROYECTO	AHORRO
Concepto de costos por mes			
Desinfectante (Cloro vs MIOX)	\$80.828	\$10.984	\$69.844
Mantenimiento	\$819	\$375	\$444
Gasto energético al mes	\$1.723	\$1.455	\$269

En la tabla 13 se muestran el total de los costos de operación para los dos tipos de desinfección, en el cual se ve la diferencia de económica que hay entre la utilización de la cloración mediante cloro caseoso y desinfectantes mixtos, el ahorro total por mes y año por los dos métodos.

Tabla 13. Costos fijos de operación.

Costo de operación	SIN PROYECTO	CON PROYECTO	Ahorro
Costo total de operación en \$ USD / mes	\$2.543	\$1.830	\$713
Costo total de operación en \$ USD / año	\$30.514	\$21.963	\$8.551
Costo total de operación en \$ COP/mes	\$7.804.392	\$5.617.318	\$2.187.074
Costo total operación en \$ COP/año	\$93.652.704	\$67.407.816	\$26.244.888

En la tabla 14 se ven los costos variables del proceso de por m3 de agua desinfectada, y se nota de nuevo el ahorro que tiene el proceso de desinfección por MIOX, que a largo plazo traería grandes ganancias con respecto al cloro gaseoso, que también suele ser más peligroso para su manejo.

Tabla 14. Costos variables de producción.

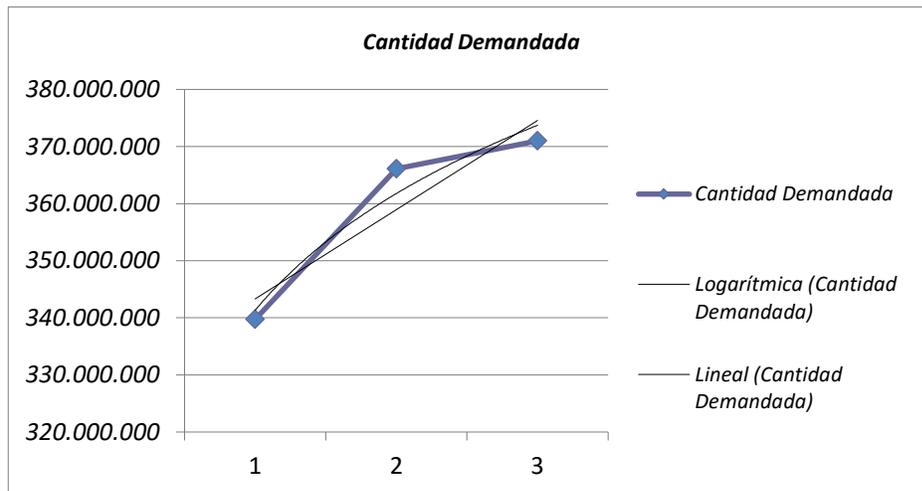
Costo de producción mes	SIN PROYECTO	CON PROYECTO	
Costo total para desinfección de 30'000.000m3	\$80.828	\$10.984	\$69.844
Costo por m3 desinfectado en / \$USD	\$0,00284	\$0,0003854	\$0,00245
Costo por m3 desinfectado en / \$COP	\$8,70442	\$1,1828893	\$7,5215333

4.3 ANÁLISIS DE DEMANDA

Se tuvo en cuenta la demanda de la planta durante los últimos tres años y el presente (2013, 2014, 2015 y 2016) con lo que se obtuvo una línea de tendencia. El valor de la demanda se obtiene asumiendo que el 40% de la cantidad de agua demandada inicialmente desinfectada por MIOX, con el fin de demostrar que el proyecto es factible para la empresa, ara su posterior implementación.

Los valores de la demanda durante los últimos años, se proyecta para los siguientes cinco años. Según la gráfica 10.

Gráfica 10. Cantidad Demandada.



Según elige el escenario optimista ya que es el valor de coeficiente de relación (r^2), que mejor encaja dentro de las proyecciones hechas. Esto quiere decir que la cantidad de agua demandada por la ciudad va aumentar de manera significativa por año y que el valor económico de la implementación para la cantidad de agua a

desinfectar con el sistema MIOX puede ser muy factible, puesto que es un servicio vital para la vida.

4.4 EVALUACIÓN FINANCIERA

Es el estado financiero básico que muestra el efectivo generado y que se usa para las actividades de operación y funcionamiento de la empresa.

Tabla 15. Flujo de efectivo para el proceso con proyecto

FLUJO DE CAJA LIBRE	2017	2018	2019	2020
Ingresos Netos		\$ 850.942.701	\$ 901.752.561	\$ 956.775.233
- Costos de Operación		\$ 69.544.644	\$ 71.742.255	\$ 74.152.794
- Pago de Impuestos		\$ 127.987.567	\$ 131.040.404	\$ 138.982.788
- Inversión en Planta y Equipo	\$ 10.985.987.567	\$ 0	\$ 0	\$ 0
= Flujo de Caja Operativo	(\$ 10.985.987.567)	\$ 653.410.490	\$ 698.969.903	\$ 743.639.651

Tabla 16. Tasa Interna de Retorno (TIR) y Valor Presente Neto (VPN)

TIR Operativo	91,25%
VPN	\$ 4.399.716.140,15

El valor de la TIR arrojado permite saber que el proyecto si es factible, lo cual permite implementar el nuevo sistema de desinfección. Este proyecto permite mejorar la calidad del proceso y de igual manera ser un proceso sostenible.

4.5 DEPRECIACIÓN DE LA INVERSIÓN A LOS EQUIPOS DE DESINFECCIÓN MIOX

En la tabla 17, se puede ver la posible depreciación que tendrían los equipos necesarios para la desinfección con MIOX, al cabo de 395 días de funcionamiento continuo.

Se usan 5 equipos MIOX RÍO GRANDE para poder cumplir con la demanda de agua para desinfección y 5 bombas dosificadoras de diafragma de capacidad de 3500 L/h para poder manejar la cantidad de producto químico producido en los equipos.

Tabla 17. Depreciación sobre la inversión en los equipos

Inventario Fijo Depreciable	Fechas			Sistema de Depreciación				
	Comara	Hoy	Yas	Vlr. Adquisición	Vida Util	Vlr. Salvamento	Deo. Anual	Deo. A Hoy
5 Equipos MIOX rio grande de 2000 lb	25/09/2016	25/09/2017		365 \$ 5.088.089.431,95	15	0 \$	339.205.962	\$ 339.205.962
5 Bombas dosificadoras	25/09/2016	25/09/2017		365 \$ 897.898.135,05	15	0 \$	59.859.876	\$ 59.859.876

5. CONCLUSIONES

- Por medio del desarrollo experimental, se determinó que hubo formación de biopelícula en la tubería de estudio material PVC en la planta piloto Francisco Wiesner, con un flujo de caudal de 0,1 L/s empleando el método gravimétrico y un tiempo de retención de 44 horas.
- Se concluyó que para llevar a cabo la elección del desinfectante más adecuado para la disminución de la biopelícula, era necesario apoyarse en fuentes bibliográficas y experimentales, esto debido a que la biopelícula reducida era aproximadamente igual con los dos desinfectantes; sin embargo, al comparar variables de estudio como cloro residual y hierro total de salida, se seleccionó el desinfectante MIOX porque presento valores más bajos que se encontraban dentro de la normatividad vigentes, garantizando la calidad del agua tratada y disminuyendo sus perjuicios a la salud; Aunque estas variables no tengan relación directa con el fenómeno de eliminación de biopelícula, ya que según la literatura, no hay ningún factor predominante.
- La propuesta de la implementación general del sistema MIOX para el proceso de desinfección es factible financieramente con respecto al método de Valor Presente Neto (VPN), debido a que se obtuvo un valor de \$ 4.399.728.447,22 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 91,25%. Además de que el proyecto es factible, el uso de desinfectantes mixtos proporciona mayor seguridad en el proceso.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar la experimentación utilizando otros productos químicos desinfectantes, para realizar una mejor comparación y evaluación sobre el proceso.
- Utilizar cámaras dosificadoras para el cloro, ya que en ocasiones están no funcionaban en forma adecuada, alterando la concentración de cloro residual y presentando algunos valores fuera de la norma.
- Evaluar diferentes tipos de caudales en la planta piloto, para determinar la incidencia de los mismos en la formación y disminución de la biopelícula en la tubería de estudio.
- Emplear tuberías con diferentes rugosidades, longitudes y materiales en la realización de las diferentes corridas experimentales.
- Incluir en planta piloto una cámara de contacto apropiada para la desinfección, para poder definir de mejor manera el tiempo de contacto entre el desinfectante y el agua, evitar pérdidas por volatilidad al ambiente y mejorar la acción del producto químico.
- Evaluar variables de estudio como carbono orgánico, sólidos suspendidos, nitrógeno y azufre, ya que tienen injerencia sobre los procesos microbiológicos estudiados

BIBLIOGRAFÍA

Banco de la República. Tasa de cambio del peso colombiano (TRM) con validez del martes 7 de Junio de 2016 [en línea] < <http://www.banrep.gov.co/es/trm>>[citado: 4 de Junio de 2016].

Banco de la República. Tasas de captación semanales y mensuales con validez del 06 de Junio al 12 de 2016.

CHERMISINOFF, Nicholas P. Handbook of water and wastewater treatment technologies. 2002.

DONLAN. Rodney, M; COSTERTON. William. Biofilms: survival mechanisms of clinically relevant microorganisms. Clinical Microbiology Reviews, 2002. Vol15 (2), páginas: 167-193.

EUROPEST. Obtenido de http://www.europest.net/corrosion/03_stenner_tratamientos_de_aguas_con_antioxidantes_OMO1.pdf. [citado el 02-02-2016].

FUSTER, Valls, N. Importancia del control higiénico de las superficies alimentarias mediante técnicas rápidas y tradicionales para evitar y/o minimizar las contaminaciones cruzadas. 2006. Disponible en: http://www.tesisenred.net/TEISIS_UAB/AVAILABLE/TDX1005107165210/nfv1de1.pdf [acceso: 16-03-2016].

GONZÁLEZ RIVAS, Fabián. Desarrollo y aplicación de sensores para evaluar la contaminación microbiológica de superficies domésticas españolas y de la efectividad de desinfectantes in situ de productos limpiadores comerciales. 2005. Disponible en: http://www.tdr.cesca.es/TEISIS_UAB/AVAILABLE/TDX-0119106-165553/fgr1de1.pdf [acceso: 16-03-2016].

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas colombianas para presentación de tesis, trabajo de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 110 p.

_____. Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 38 p.

_____. Referencias documentales para fuentes de informaciones electrónicas. NTC 4490. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 30 p.

LASA, I; DEL POZO, J. L.; PENADÉS, J. R; Leiva, J. Biofilms Bacterianos e infección. Disponible en: <http://www.cfnavarra.es/salud/anales/textos/vol28/n2/colaba.html> [Acceso: 15-03-2016].

LENNTECH B.V. Cloro como desinfectante [en línea]. <
<http://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/quimica/desinfectantes-cloro.htm>>
[Citado el 16 de marzo de 2016].

LENNTECH B.V. Cómo funciona el cloro [en línea]. <
<http://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/quimica/desinfectantes-cloro.htm>>
[Citado el 16 de marzo de 2016].

MAINS, Craig. Biofilm Control in Distribution Systems. National Environmental Services Center .Tech Brief. Vol 8.Tomo 2. 2008. Páginas 1-4.

OVANDO, Araceli Castañeda. Representaciones gráficas de las relaciones propiedad-concentración con fines cuantitativos. Universidad autónoma del estado de Hidalgo. 2011.

MIRANDA, Knobelsdorf J; SAHUQUILLO, Mujeriego R. Crecimiento bacteriano en las redes de distribución de agua potable: una revisión bibliográfica. Ingeniería del agua.1997.Pagina 4.

RODRÍGUEZ DOMÍNGUEZ, Lucas. Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) en relación a los biofilms y su repercusión. Revista del comité científico. 2010. Vol. #12. Páginas 37-61.

RUIZ, Paola Isabel; TORRES, ARNULFO Andrés. Evaluación de la relación entre la cantidad de hierro total y coliformes totales con la cantidad de biopelícula formada a la salida de la planta Francisco Wiesner a nivel de planta piloto. Universidad de América. 2016.

S, S. Branda; FRIEDMAN, Vik, S; KOLTER, R. Biofilms: the matrix revisited. Trends in Microbiology. 2005. Vol13. Páginas: 20-26.

SUTHERLAND, Ian W. Biofilm exopolysaccharides: a strong and sticky framework. Universidad de Edinburgo. Reino Unido. 2001. Microbiology Vol #147. Páginas 3-9.

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA, CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL AGUA. Mecanismo de acción del cloro [en línea]. <
http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/curso/uni_06/u6c4s2.htm#Anchor5>
[Citado el 16 de marzo de 2016].

USA GLOBAL MARKET S.A. Agua potable [en línea]. <<http://www.usagmsa.com/index.php/aplicaciones/agua-potable>> [Citado el 16 de marzo de 2016].

USA GLOBAL MARKET S.A. Proactiva aguas de Tunja [en línea]. <<http://www.usagmsa.com/index.php/2013-01-01>> [Citado el 16 de marzo de 2016].

VARGAS, Lidia. Manual de tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría Tomo I. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú. 2004. Capítulo 5.

YACTAYO MALDONADO, Víctor. Manual de tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría Tomo I. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú. 2004. Capítulo 9.

ZAFRA SACHEZ, Alicia. Efectos de los trihalometanos sobre la salud: subproductos derivados de la cloración de aguas. En: Higiene y sanidad ambiental. Núm. – (2008). Pág. 280-290.

ZHANG, H Tian, WAN, Y; Zhao, P. Study of biofilm influenced corrosion on cast iron pipes in reclaimed water. Applied Surface Science. 2015. Paginas 236-247.

ANEXOS

ANEXO A. RESULTADOS DE CADA CORRIDA

Corrida 1

	Sulfato	Polimero Catiónico	No ionico	cloro
Qd (L/min)	60	55	27,6	32
Dpq (ppm)	6,8	0,43	0,02	2,1
Qe (L/seg)	0,096	0,096	0,096	0,09
Cpq (ppm)	652,8	45,03272727	4,173913043	354,375
V1 (ml)	119,7798165	14,32136203	187,826087	130,0458716
C1 (ppm)	490500	283000	2000	54500
qt	90	90	90	20
C2 (ppm)	652,8	45,03272727	4,173913043	354,375
strokes	39	40	17	20

Corrida 2

	Sulfato	Polimero Catiónico	No ionico	cloro
Qd (L/min)	60	55	27,6	32
Dpq (ppm)	5,5	0,45	0,04	2,2
Qe (L/seg)	0,098	0,098	0,098	0,05
Cpq (ppm)	539	48,10909091	8,52173913	206,25
V1 (ml)	98,59756098	15,11280343	383,4782609	91,66666667
C1 (ppm)	492000	286500	2000	45000
qt	90	90	90	20
C2 (ppm)	539	48,10909091	8,52173913	206,25
strokes	39	40	17	20

Corrida 3

	Sulfato	Polimero Catiónico	No ionico	cloro
Qd (L/min)	26,6	27	22	32
Dpq (ppm)	4	0,67	0,05	2,1
Qe (L/seg)	0,07	0,07	0,07	0,07
Cpq (ppm)	631,5789474	104,2222222	9,545454545	275,625
V1 (ml)	89,92154345	37,71612384	523,8359202	101,146789
C1 (ppm)	632130	248700	1640	54500
qt	90	90	90	20
C2 (ppm)	631,5789474	104,2222222	9,545454545	275,625
strokes	17	20	17	20

Corrida 4

	Sulfato	Polimero Catiónico	No ionico	cloro
Qd (L/min)	32	27	56	143,6
Dpq (ppm)	3,97	0,69	0,05	2,6
Qe (L/seg)	0,095	0,095	0,095	0,095
Cpq (ppm)	707,15625	145,6666667	5,089285714	103,2033426
V1 (ml)	129,6477134	50,2491376	279,2900697	37,87278628
C1 (ppm)	490900	260900	1640	54500
qt	90	90	90	20
C2 (ppm)	707,15625	145,6666667	5,089285714	103,2033426
strokes	20	20	35	92

Corrida 5

	Sulfato	Polimero Catiónico	No ionico	cloro
Qd (L/min)	32	27	56	no aplica
Dpq (ppm)	3,3	0,72	0,05	2,2
Qe (L/seg)	0,085	0,085	0,085	no aplica
Cpq (ppm)	525,9375	136	4,553571429	400
V1 (ml)	100,2846928	43,93395549	249,891115	
C1 (ppm)	472000	278600	1640	48600
qt	90	90	90	20
C2 (ppm)	525,9375	136	4,553571429	124
strokes	20	20	35	no aplica
V2(ml)-tanque blanco				164,6090535
V3(ml)-Del blanco al de abajo				1291,612903

Corrida 6

	Sulfato	Polimero Catiónico	No ionico	Miox
Qd (L/min)	32	27	56	32
Dpq (ppm)	3,8	0,67	0,01	0,65
Qe (L/seg)	0,09	0,09	0,09	0,09
Cpq (ppm)	641,25	134	0,964285714	109,6875
V1 (ml)	93,62832576	52,61780105	52,91811847	410,8146067
C1 (ppm)	616400	229200	1640	5340
qt	90	90	90	20
C2 (ppm)	641,25	134	0,964285714	109,6875
strokes	20	20	35	20

Corrida 7

	Sulfato	Polimero Catiónico	No ionico	miox
Qd (L/min)	32	27	33	32
Dpq (ppm)	3,4	0,66	0,05	0,7
Qe (L/seg)	0,095	0,095	0,095	0,088
Cpq (ppm)	605,625	139,3333333	8,636363636	115,5
V1 (ml)	84,36194088	49,78165939	473,9467849	471,4285714
C1 (ppm)	646100	251900	1640	4900
qt	90	90	90	20
C2 (ppm)	605,625	139,3333333	8,636363636	115,5
strokes	20	20	20	20

Corrida 8

	Sulfato	Polimero Catiónico	No ionico	miox
Qd (L/min)	N	27	33	47
Dpq (ppm)	O	0,67	0,02	0,68
Qe (L/seg)		0,088	0,088	0,09
Cpq (ppm)	A	131,0222222	3,2	78,12765957
V1 (ml)	P	48,18961994	175,6097561	297,6291793
C1 (ppm)	L	244700	1640	5250
qt	I	90	90	20
C2 (ppm)	C	131,0222222	3,2	78,12765957
strokes	A	20	20	30

Corrida 9

	Sulfato	Polimero Catiónico	No ionico	MIOX
Qd (L/min)	N	27	33	32
Dpq (ppm)	O	0,6	0,02	0,7
Qe (L/seg)		0,095	0,095	0,09
Cpq (ppm)	A	126,6666667	3,454545455	118,125
V1 (ml)	P	40,54054054	189,578714	450,8587786
C1 (ppm)	L	281200	1640	5240
qt	I	90	90	20
C2 (ppm)	C	126,6666667	3,454545455	118,125
strokes	A	20	20	20

Corrida 10

	Sulfato	Polimero Catiónico	No ionico	MioX
Qd (L/min)	N	27	33	47
Dpq (ppm)	O	0,64	0,02	0,65
Qe (L/seg)		0,09	0,09	0,09
Cpq (ppm)	A	128	3,272727273	74,68085106
V1 (ml)	P	42,92101341	179,6008869	294,599018
C1 (ppm)	L	268400	1640	5070
qt	I	90	90	20
C2 (ppm)	C	128	3,272727273	74,68085106
strokes	A	20	20	20

Corrida 11

	Sulfato	Polimero Catiónico	No ionico	MioX
Qd (L/min)	N	27	33	47
Dpq (ppm)	O	0,62	0,02	0,65
Qe (L/seg)		0,09	0,09	0,09
Cpq (ppm)	A	124	3,272727273	74,68085106
V1 (ml)	P	42,77500958	179,6008869	253,1554273
C1 (ppm)	L	260900	1640	5900
qt	I	90	90	20
C2 (ppm)	C	124	3,272727273	74,68085106
strokes	A	20	20	30

Corrida 12

	Sulfato	Polimero Catiónico	No ionico	MIOX
Qd (L/min)	32	27	56	32
Dpq (ppm)	3	0,62	0,05	0,65
Qe (L/seg)	0,095	0,095	0,095	0,09
Cpq (ppm)	534,375	130,8888889	5,089285714	109,6875
V1 (ml)	79,67818091	47,36630478	279,2900697	37,2706422
C1 (ppm)	603600	248700	1640	58860
qt	90	90	90	20
C2 (ppm)	534,375	130,8888889	5,089285714	109,6875
strokes	20	20	35	20

ANEXO B. ENSAYO DE JARRAS

Realizar ensayos de jarras con los 2 productos seleccionados teniendo en cuenta las dosis aplicadas de sulfato de aluminio y polímero catiónico a nivel industrial, variando la dosis de polímero no iónico para la determinación de la dosis adecuada a trabajar en la planta piloto.

Para determinar la dosis adecuada de los polímeros seleccionados, se realizan ensayos de jarras y corridas en planta piloto por triplicado para obtener los datos que permiten realizar los análisis de tipo financiero.

El primer ensayo de jarras debe ser un blanco de sulfato de aluminio; luego se verifica en jarras las dosis empleadas combinando sulfato de aluminio y polímero catiónico empleados actualmente en la planta.

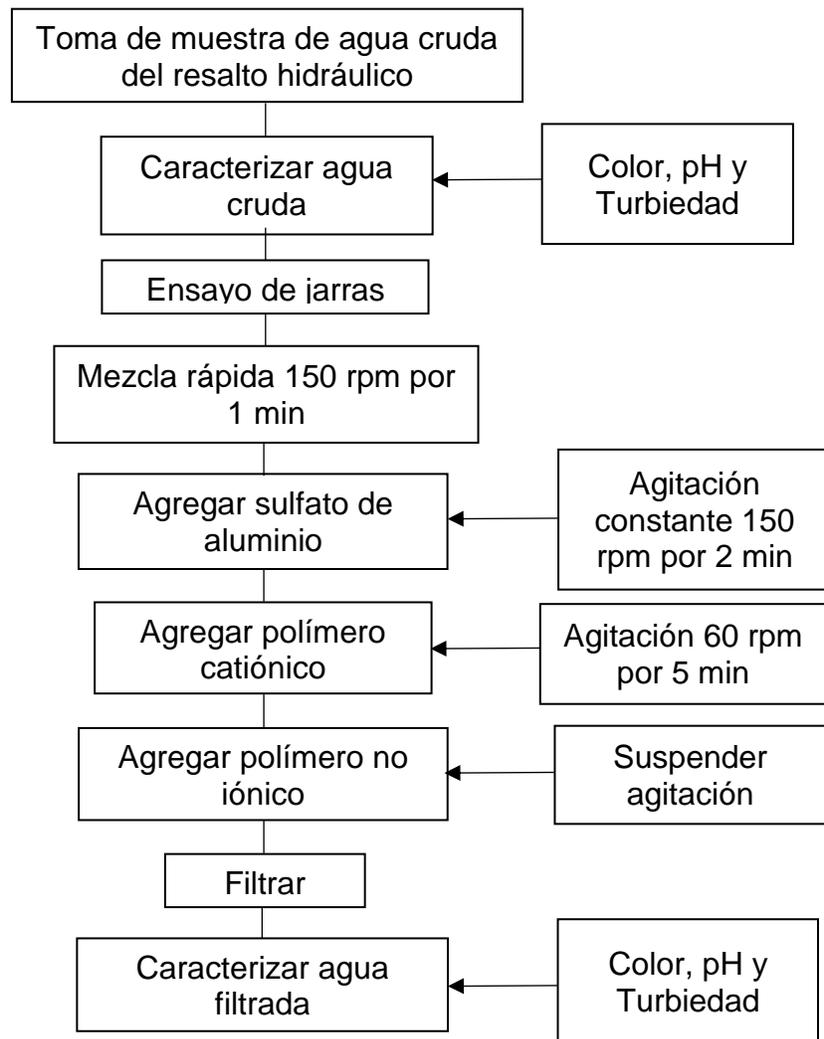
Este será realmente el punto de comparación de los aspectos de calidad de agua y financieros que afectan el uso de cada uno de los polímeros que se empleen como ayudantes de filtración.

Procedimiento ensayo de jarras. A continuación se describe el procedimiento para realizar los ensayos de jarras en la planta piloto de la PFW.

- a. Se energiza y se comprueba que las jarras de geometría cuadrada se encuentren en las condiciones adecuadas de trabajo. Se ponen los vasos previamente lavados en el centro del floculador, de forma tal que las paletas de agitación queden completamente centradas, pero separadas de la pared de la jarra para que no haya rose e impida la perfecta agitación, teniéndolas a una distancia aproximada de 6,44 mm (1/4 in).
- b. Se llenan las jarras con agua cruda hasta su volumen máximo de 2 L.
- c. Se enciende el floculador y se estabiliza la velocidad a 150 rpm por un período de 1 min.
- d. Se agrega la dosis previamente calculada de sulfato de aluminio y se deja constante la velocidad de agitación por 2 min.
- e. Se agrega la dosis de polímero catiónico previamente calculada y se baja la velocidad a 60 rpm por un tiempo de 5 min.
- f. Pasados los 5 min se suspende totalmente la agitación y se agrega la cantidad de polímero no iónico previamente calculada.

- g. Teniendo listos los recipientes, se procede a tomar la muestra de agua tratada de cada jarra para proceder a filtrarla.
- h. Se toma papel filtro y por medio de un embudo y un Erlenmeyer se filtra la muestra.
- i. A la muestra filtrada se le realizan las diferentes pruebas de caracterización (color, pH y turbiedad).

Los tiempos y velocidades de agitación son los establecidos en la PFW hallados de manera experimental en la consultoría CONHYDRA. A continuación se detalla el procedimiento de los ensayos de jarras en forma de diagrama de flujo.



ANEXO C. ENSAYOS PARA DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ADECUADA DE PRODUCTO.

Preparación de las soluciones de productos químicos. A continuación se describe el procedimiento que se lleva a cabo para la preparación de las soluciones de los productos químicos utilizados en el proyecto.

Sulfato de aluminio. Para preparar la solución al 1% p/v lo que equivale a 10.000 ppm se toma la muestra de sulfato de aluminio líquido que se encuentra concentrado en los rotodips (dosificadores volumétricos) ubicados en el área de tratamiento de la PFW.

El operador entrega los datos de densidad y concentración del producto tal y como llegan de los proveedores. Para la preparación de la solución de sulfato de aluminio se emplea la siguiente ecuación:

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

C₁: Concentración stock.

V₁: Volumen requerido para diluir el stock.

C₂: Concentración deseada (1%).

V₂: Volumen fijo a preparar.

Para preparar el sulfato de aluminio al 1% se tiene en cuenta lo siguiente:

$$1\% = 10.000 \text{ ppm} = 10.000 \text{ mg/L} = 10 \text{ g/L}$$

- Preparación
 - a. Se Realiza el cálculo del V₁ requerido para diluirlo en 250 ml. Solo se preparan 250 ml para evitar desperdicios de solución.
 - b. Se toma el volumen calculado de sulfato en una jeringa.
 - c. Se toma un balón aforado de 250 ml para llenarlo con agua hasta la mitad.
 - d. Se agrega el volumen V₁ calculado y terminar de llenar con agua hasta aforo.
 - e. Se agita la solución.

Polímero catiónico. Se prepara la solución al 0,1% que equivale a 1.000 ppm (como no se cuenta con microjeringas para tomar la sustancia concentrada directamente, se preparan soluciones con el fin de utilizar los recursos ofrecidos por la planta). Se toma la muestra de polímero catiónico concentrado en el sótano de la PFW donde se encuentra localizada la máquina de preparación de polímero.

En la ficha técnica se encuentran los datos de densidad y concentración del producto. Para la preparación de la solución de polímero catiónico se emplea la ecuación mencionada.

Para preparar el polímero catiónico al 0,1% se tiene en cuenta lo siguiente:

$$0,1\% = 1.000 \text{ ppm} = 1.000 \text{ mg/L} = 1 \text{ g/L}$$

- Preparación
 - a. Se realiza el cálculo del V_1 requerido para diluirlo en 250 ml. Solo se preparan 250 ml para evitar desperdicios de solución.
 - b. Se toma el volumen calculado del polímero catiónico en una jeringa.
 - c. Se toma un balón aforado de 250 ml para llenarlo con agua hasta la mitad.
 - d. Se agrega el volumen V_1 calculado y terminar de llenar con agua hasta aforo.
 - e. Se agita la solución.

3.5.1.3 Ayudante de filtración (polímero no iónico). Para preparar la solución al 0,01% equivalentes a 100 ppm, se pesan 0,1 gr de polímero y se disuelven en 1000 ml de agua.

Para evitar desperdicios de producto químico, se preparan 500 ml de polímero, pesando 0,05 gr de cada uno de los polímeros y se disuelven en 500 ml de agua tratada. No se prepara con agua destilada porque a nivel industrial es un procedimiento que sale bastante costoso para la PFW realizar la preparación de éste polímero con este tipo de agua.

Para preparar el polímero no iónico al 0,01% se tiene en cuenta lo siguiente:

$$0,01\% = 100 \text{ ppm} = 100 \text{ mg/L} = 0,1 \text{ g/L}$$

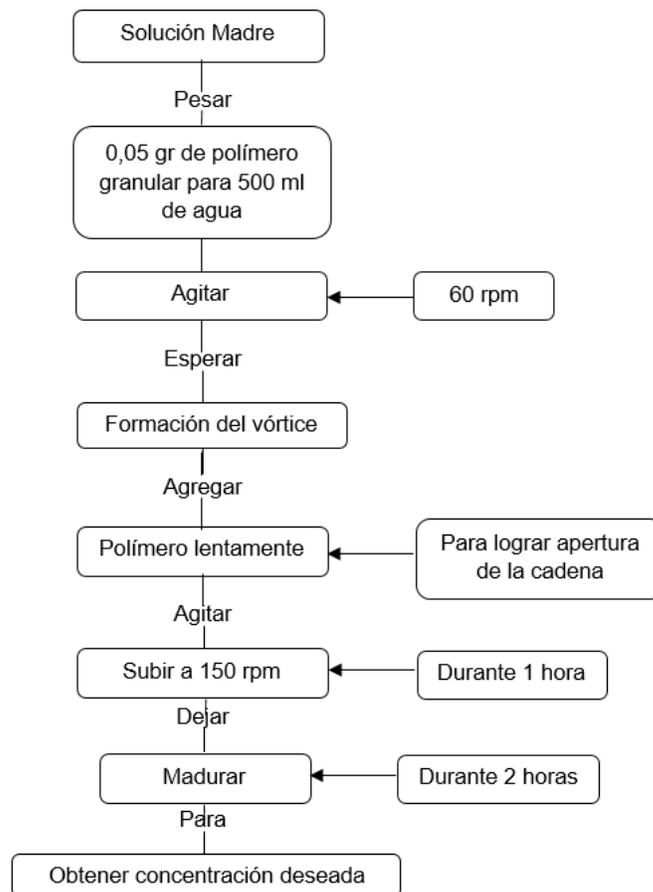
- Preparación
 - a. Se pesan 0,05 gr de polímero no iónico, el cual se encuentra en estado sólido en forma granular.
 - b. En un beaker se pone a mitad del agua requerida, es decir, 250 ml.
 - c. Esta agua se pone en agitación a 150 rpm hasta formar un vórtice.
 - d. En el centro del vórtice formado se agrega lentamente el polímero no iónico con el fin de ir hidratando cada grano para que este se abra su cadena polimérica.
 - e. Se completa el agua hasta los 500 ml.
 - f. Se deja en agitación por un tiempo de 2 horas o hasta que se disuelva totalmente el polímero.

Diagrama de flujo preparación del polímero no iónico. Los productos químicos industriales comercializados son muy concentrados para ser usados directamente. Es por esta razón que se hace necesario diluirlos de tal forma que los volúmenes empleados puedan ser usados y dosificados con el instrumento requerido como por

ejemplo una jeringa (a nivel laboratorio) o una bomba (a nivel industrial). Para el caso del polímero no iónico se tienen en cuenta las siguientes recomendaciones:

- La concentración del polímero es de aproximadamente 0,01%.
- El tiempo mínimo de agitación es de 1 hora.
- Cuando se añade el polímero al agua en el momento de preparación, éste se agrega en el vórtice formado en el agua por la acción del agitador, esto con el fin de que haya mejor hidratación y una mejor apertura de la cadena polimérica.
- La energía de agitación no debe sobrepasar las 200rpm ya que si esta es muy alta se corre el riesgo de romper la cadena polimérica y como consecuencia se puede disminuir la eficiencia del polímero.
- El agua empleada para la preparación debe ser potable, debido a que el tiempo de vida de las soluciones depende de la calidad del agua empleada.
- Una vez preparado el polímero, este se deja en un período de añejamiento por 30 minutos, para con esto tener un alargamiento de la molécula.

La metodología sugerida para la preparación del polímero a usar en los ensayos a nivel de planta piloto es la que se describe a continuación.



Aplicación de productos químicos. En cada uno de los ensayos, se adicionan los volúmenes de las soluciones de productos químicos para las dosis que han sido fijadas. Después de preparadas las soluciones se realiza el cálculo de la dosis de producto químico D_{pq} en función del volumen y la concentración de la solución el cual puede calcularse de acuerdo a la siguiente ecuación:²⁶

$$D_{pq} = \frac{C_{sol.pq} * V_{adicionado}}{V_{jarra}}$$

Donde,

D_{pq} es la dosis de producto químico resultante en la jarra (mg/L).

$C_{sol.pq}$ es la concentración de la solución preparada de producto químico (g/L o mg/L).

V_{ad} es el volumen de la solución de producto químico adicionado.

V_{jar} es el volumen de la jarra, generalmente es de 2 L.

Una vez calculado el volumen que es aplicado dependiendo de la dosis deseada, se procede a realizar el respectivo ensayo de jarras.

²⁶ "Tratabilidade de Água e dos Resíduos gerados em Estações de Tratamento de Água", Di Bernardo, Di Bernardo & Nogueira, 2011.

ANEXO D.

DETERMINACIÓN DE CLORO RESIDUAL POR EL MÉTODO VOLUMÉTRICO

Principio del método:

La cloración del agua para suministro sirve para eliminar o desactivar los microorganismos causantes de enfermedades. El método colorimétrico emplea como indicador el N,N-Dietil-p-fenilendiamina (DPD), el cual al reaccionar con el cloro libre produce un color rojo fucsia. Adicionando una lenteja de yoduro de potasio este reacciona con el cloro presente en la muestra como cloro combinado, monocloraminas y tricloruro de nitrógeno, permitiendo una detección mínima de hasta 10 μg de Cloro como Cl_2/L en condiciones ideales.

Equipos e instrumentos

- Bureta automática Dosimat 665
- Unidades intercambiables

Materiales

- Erlenmeyer de 150 mL
- Pipetas volumétricas clase A de 5 mL
- Sistema pipeteador
- Frasco lavador
- Papel de arroz
- Agitadores magnéticos

Reactivos

- Agua destilada libre de cloro
- Solución de KI
- Solución indicadora de N,N dietil p-fenilendiamina (DFD)
- Ácido sulfúrico 1:3 H_2SO_4
- Buffer de cloro
- Hidrogenofosfato de sodio Na_2HPO_4
- Dihidrogenofosfato de potasio KH_2PO_4
- Cloruro de mercurio
- Solución titulante patrón (FAS)

ANEXO E.
METODOLOGÍA DE ANÁLISIS POR TITULACIÓN CON BURETA DIGITAL EN
LABORATORIO

Se preparan los vasos de precipitado, uno por cada muestra y se le adicionan 2,5 mL de solución tampón y 2,5 mL de solución indicadora DFD. Se adicionan 50 mL de muestra y se mezcla para posteriormente titular con sulfato ferroso amoniacal (FAS) hasta desaparición del color rojo, registrando la lectura. Se repite el procedimiento con cada una de las muestras por duplicado para garantizar la repetitividad de los datos.

El volumen gastado en la lectura corresponde al cloro libre presente en la muestra.

ANEXO F. DETERMINACIÓN DE LA TURBIEDAD POR EL MÉTODO NEFELÓMETRICO

Principio del método:

El método se basa en la comparación de la intensidad de luz desviada por la muestra y la de una suspensión patrón de referencia, bajo las mismas condiciones. A mayor intensidad de la luz desviada, mayor será la turbiedad de la muestra.

Equipos

- Turbidímetro HACH serie 2100 AN

Materiales

- Celdas para muestras
- Vasos de precipitados o vasos plásticos
- Frasco lavador
- Paño o material para limpieza de la celda

Reactivos

- Agua de dilución libre de turbiedad
- Stock de suspensión de estándar primario de formacina
- Suspensión de turbiedad estándar
- Suspensiones diluidas de turbiedad
- Estándares secundarios

Medición de las muestras.

Una vez verificado el turbidímetro, proceder a efectuar la medición del blanco (agua destilada) para así configurar la referencia del equipo, proceder a realizar la recolección de las muestras. Agitar suavemente la muestra y esperar a que se desaparezcan las burbujas. Servirla en la celda del turbidímetro cuidando de manipularla adecuadamente. Secar la celda y limpiarla con un papel absorbente o paño que no deje partículas o motas.

Introducir la celda en el equipo colocándola en la posición indicada por la señal en la celda y en el portaceldas, registrar el valor de turbiedad indicado en la pantalla del equipo.

ANEXO G. DETERMINACIÓN DE COLIFORMES TOTALES Y E-COLI.

Principio del método.

La presencia de coliformes totales, fecales/ E-Coli. En muestras de agua indica la existencia de fallas en la eficacia del tratamiento de aguas, en la integridad en el sistema de distribución y por lo tanto evidencia contaminación de diferentes orígenes como suelo, superficies de agua dulce y tracto digestivo. La técnica de filtración por membrana es el mecanismo mediante el cual se atrapan en la superficie de la membrana microorganismos cuyo tamaño es mayor del poro 0,45 μm , esto gracias a que una bomba eléctrica ejerce presión diferencial sobre la muestra de agua haciendo que se filtre. Los contaminantes de tamaño menor que el específico del poro atraviesan la membrana o se quedan retenidos en su interior, las bacterias quedan en la superficie de la membrana y luego esta es llevada a un medio de enriquecimiento selectivo o diferencial en donde a través de un intercambio metabólico e incubación se evidencia el crecimiento de microorganismos como unidades formadoras de colonias (UFC).

El grupo de coliformes puede definirse como el formado por bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gram negativas, no esporuladas y de forma alargada que desarrollan una colonia roja con un brillo metálico con un medio de cultivo que contenga lactosa tras una incubación durante 24 horas a 35°C.

El medio Cromocult contiene 2 substratos cromogénicos Salmon-Gal y X-Glu, los cuales proveen la diferenciación entre las colonias de coliformes totales y E-Coli. Los coliformes con el medio de cultivo Cromocult aparecen como colonias rosadas a rojas resultado de la hidrólisis de la β -D-galactosidasa sobre el sustrato Salmon-Gal. E-Coli. En el medio Cromocult aparece como colonias color violeta a azules resultado de la hidrólisis de la β -D-galactosidasa sobre el Salmon-Gal y de la β -D-glucoronidasa sobre el sustrato X-Glu.

Equipos e instrumentos

- Unidades de filtración
- Cámara de flujo laminar
- Autoclave
- Incubadoras, temperatura 35°C \pm 0,5°C
- Microscopio
- Bomba de vacío

Materiales

- Botellas de muestra
- Placas de medio de cultivo
- Envases de medio de cultivo
- Filtros de membrana

- Pinzas

Reactivos

- Medio de cultivo Cromocult

Ensayo

- Realizar el aislamiento para un grupo de muestras
- Colocar con una pinza estéril un filtro de membrana estéril sobre la placa porosa del receptáculo
- Situar con cuidado la unidad del embudo correspondiente al receptáculo y fijarlo
- Realizar la filtración aplicando bajo vacío parcial
- Todavía con el filtro en su lugar, aclarar filtrando 3 porciones de 20-30 mL de agua en dilución estéril.
- Tras el enjugado final y la desconexión del vacío del proceso de filtrado desmontar y retirar el embudo
- Retirar el filtro de membrana con pinzas estériles
- Colocar el filtro en el medio seleccionado mediante un movimiento de rotación
- Realizar el proceso para una muestra de 100 mL de agua estéril
- Incubar la membrana de control en las mismas condiciones que las de las muestras
- Al comienzo de cada serie de ensayos cuando transcurre un intervalo de 30 minutos o más minutos entre la filtración de 2 muestras
- Descontaminar los filtros entre filtraciones sucesivas mediante rayos UV 2 minutos, chorro de vapor o agua hirviendo
- Incubación. Agar Cromocult 24 horas. $36^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Cálculo

Calcúlese la densidad como Recuento de Coliformes totales y E-Coli en 100 mL. Para agua potable se cuentan todas las colonias sin tener en cuenta el límite inferior. SI no hay crecimiento se reporta como 0 UFC/100 mL. En el caso de ser mayor a 200 se reportara como >200 UFC/100 mL.

ANEXO H. DETERMINACIÓN DE COLOR MÉTODO FOTOMÉTRICO

Principio del método

El agua puede estar condicionado por la presencia de iones metálicos naturales (hierro y manganeso).

El término color aparente engloba no solo el color debido a las sustancias disueltas, sino también a las materias en suspensión. Tal color aparente se determina en la muestra original sin filtrado ni centrifugado.

El color verdadero o real se refiere al color de agua cuya turbiedad ha sido removida, tras haber sido sometida a un tratamiento físico de filtración o centrifugación.

Interferencias

La mayoría de los problemas en la obtención de buenos datos de color pueden estar relacionados con la contaminación o residuos del envase de la muestra o de los recipientes en que se sirven las muestras.

- Suciedad de la celda
- Presencia de burbujas de aire en la celda
- Descalibración del equipo

Curva de calibración

Prepara un estándar de platino cobalto de 500 UC a partir de este prepara estándares de 1, 2, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40 y 50 UPC. Se lee a 342 nm.

Ajuste de equipo

Después de esperar el tiempo requerido por el equipo, mínimo 15 minutos, para llevar a cabo el precalentamiento, hacer el ajuste de blanco para lograr mejores resultados. Utilizar como blanco agua desmineralizada.

Equipos

- Fotómetro o espectrofotómetro

Materiales

- Celdas de vidrio y cuarzo de 5cm y 1 cm de paso de luz
- Vasos de precipitado
- Frasco lavador

Reactivos y soluciones patrón

- Soluciones de color (patrón certificado), de acuerdo a las concentraciones establecidas por el laboratorio
- Agua desmineralizada

Medición de las muestras.

Utilizar la misma celda para la medición del blanco y de las muestras. Las muestras deben estar secas externamente sin opacidades que interfieran en la medición. Después de medir el blanco, purgar la celda con la muestra a medir, llenar la celda con la muestra e introducirla en el equipo, teniendo en cuenta hacerlo siempre en la misma posición que se utilizó para el blanco.

Si el valor de color medido se sale del rango óptico de trabajo del equipo, proceder a efectuar una dilución de la muestra empleando material aforado y agua desmineralizada, cuya ausencia de color haya sido confirmada. Debe calcularse el factor de dilución, para aplicarlo en el cálculo del valor final del parámetro.

ANEXO I. DETERMINACIÓN DE HIERRO TOTAL POR MÉTODO DE LA FENANTROLINA

Principio del método.

Bajo condiciones reducidas, el hierro existe en estado de hierro ferroso, Fe^{+2} . En la ausencia de iones formadores de complejos de hierro férrico, Fe^{+3} , no es significativamente soluble, a menos que el pH sea muy bajo, bajo exposición, de aire, o adición de oxidantes el hierro ferroso es oxidado al estado férrico y puede hidrolizarse para formar un insoluble de óxido de hierro hidratado. El hierro presente en solución (hierro total) es llevado todo al estado ferroso por ebullición con ácido e hidroxilamina y se trata con 1,10 fenantrolina a pH 3,2 a 3,3, la solución coloreada obedece a la ley de Beer.

Preparación de la muestra

Las muestras pueden tomarse en frascos referiblemente de vidrio, limpios y se deben analizar tan pronto como sea recogida. Si solo hay que determinar el hierro total, se adiciona el ácido en el momento de la toma de la muestra para así disolver todo el hierro que se encuentra presente y evitar la absorción o depósito sobre las paredes del recipiente de la muestra.

Equipos

- Espectrofotómetro

Materiales

- Balones o tubos Nessler de 100 mL clase A

Reactivos

- Ácido clorhídrico concentrado
- Solución 1-10 fenantrolina
- Reactivo tampón
- Solución de hidroxilamina
- Solución patrón de hierro

Medición de las muestras

- Se alistan Erlenmeyer de 125 mL por cada una de las muestras o patrones que se vayan a determinar, cada Erlenmeyer debe estar identificado con el nombre del sitio de toma, número de radicación o concentración de patrón preparado.
- Se homogeniza fuertemente la muestra y se miden 50 mL de muestra o patrón con pipeta clase A, preferiblemente una pipeta por muestra, si no es

posible se purga la pipeta entre medida y medida de muestras o patrones. Si no se puede usar pipeta realizar las mediciones con probeta de 50 mL. Si la concentración a leer es mayor a 200 $\mu\text{g Fe}$, tomar 25 mL de la muestra y diluirla a 50 mL en un matraz aforado de 50 mL clase A.

- Se vierte la muestra o patrón en el Erlenmeyer correspondiente y se adiciona 2 mL de ácido clorhídrico concentrado (HCl) y 1 mL de hidroxilamina. El patrón de rutina generalmente es de 300 μg de Fe/L.
- Se agrega perlas de vidrio y se lleva a calentamiento en estufa hasta ebullición controlada, de tal forma que el volumen se reduzca hasta 15 o 20 mL (si la muestra se seca, agregar al residuo 2 mL de HCl y 5ml de agua destilada).
- Se enfría a temperatura ambiente y se transfiere a un matraz volumétrico de 100 mL o a un tubo Nessler de 100 mL. Cada uno de ellos debe estar correctamente identificado.
- Se adiciona 10 mL de solución buffer de acetato de amonio y 4 mL de solución de fenantrolina a cada una de las muestras o patrones y a 20 mL de agua destilada, que se emplea como blanco.
- Se diluye hasta la marca con agua destilada.
- Se mezcla vigorosamente y se esperan 10 minutos para que se desarrolle el color al máximo

ANEXO J.
PLANTA PILOTO FRANCISO WIESNER

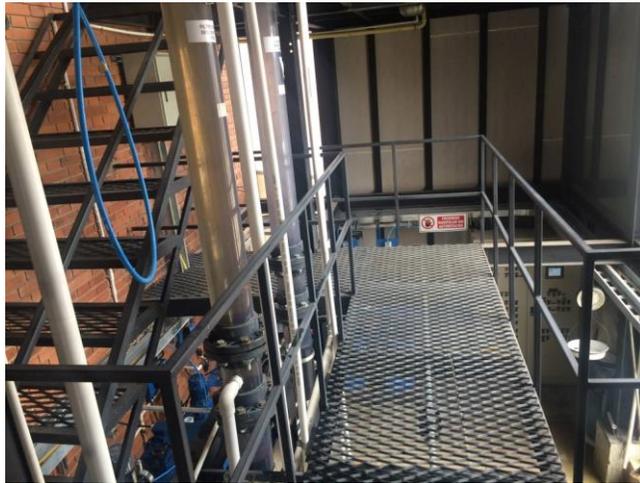
Tanques de mezcla rápida MR4 y
Control de caudal CQN 2



Filtro rápido descendente FRD 4



Filtro rápido descendente FRD 4.



Tanque control de caudal y nivel de salida CQN 4



ANEXO K.
RESOLUCION 2115 DE 2007 CALIDAD DEL AGUA POTABLE

CAPITULO II

Características físicas y químicas del agua para consumo humano

Artículo 2°. *Características físicas.* El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas que se señalan a continuación:

Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

Artículo 3°. *Conductividad.* El valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000 microsiemens/cm. Este valor podrá ajustarse según los promedios habituales y el mapa de riesgo de la zona. Un incremento de los valores habituales de la conductividad superior al 50% en el agua de la fuente, indica un cambio sospechoso en la cantidad de sólidos disueltos y su procedencia debe ser investigada de inmediato por las autoridades sanitaria y ambiental competentes y la persona prestadora que suministra o distribuye agua para consumo humano.

Artículo 4°. *Potencial de hidrógeno.* El valor para el potencial de hidrógeno pH del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0.

Artículo 5°. *Características químicas de sustancias que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana.* Las características químicas del agua para consumo humano de los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias que al sobrepasar los valores máximos aceptables tienen reconocido efecto adverso en la salud humana, deben enmarcarse dentro de los valores máximos aceptables que se señalan a continuación:

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7

Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN-	0,05
Cobre	Cu	1,0
Cromo total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos Totales	THMs	0,2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0,01

Parágrafo. Si los compuestos de trihalometanos totales o los de hidrocarburos policíclicos aromáticos señalados en el Cuadro N° 2, exceden los valores máximos aceptables, es necesario identificarlos y evaluarlos, de acuerdo al mapa de riesgo y a lo señalado por la autoridad sanitaria.

Artículo 6°. *Características químicas de sustancias que tienen implicaciones sobre la salud humana.* Las características químicas del agua para consumo humano en relación con los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana se señalan en el siguiente cuadro:

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Carbono Orgánico Total	COT	5,0
Nitritos	NO ₂ -	0,1
Nitratos	NO ₃ -	10
Fluoruros	F-	1,0

Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico	Expresadas como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Calcio	Ca	60
Alcalinidad Total	CaCO ₃	200
Cloruros	Cl-	250
Aluminio	Al ³⁺	0,2
Dureza Total	CaCO ₃	300

Hierro Total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1
Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO42-	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO43-	0,5

Artículo 9°. *Características químicas de otras sustancias utilizadas en la potabilización.* Además de lo señalado en los artículos 5°, 6°, 7° y 8° de la presente resolución, dentro las características químicas del agua para consumo humano se deberán tener en cuenta los siguientes valores aceptables para otras sustancias químicas utilizadas en el tratamiento del agua, así:

1. El valor máximo aceptable del residual de aluminio derivado de su uso como coagulante en el tratamiento de agua para consumo humano en su forma (Al³⁺) será de 0,2 mg/L. Si se utiliza otro coagulante basado en sales de hierro, el valor máximo aceptable para el residual será 0,3 mg/L.
E

En el caso de utilizar otras sustancias químicas en el tratamiento del agua para consumo humano, el valor aceptable para el residual correspondiente u otras consideraciones al respecto, serán las reconocidas por las Guías de la Calidad de Agua vigentes de la Organización Mundial de la Salud y adoptadas por el Ministerio de la Protección Social.

2. El valor aceptable del cloro residual libre en cualquier punto de la red de distribución del agua para consumo humano deberá estar comprendido entre 0,3 y 2,0 mg/L. La dosis de cloro por aplicar para la desinfección del agua y asegurar el residual libre debe resultar de pruebas frecuentes de demanda de cloro.

Cuando se utilice un desinfectante diferente al cloro o cualquiera de las formulaciones o sustancias que utilicen compuestos distintos para desinfectar el agua para consumo humano, los valores aceptables para el residual correspondiente u otras consideraciones al respecto, serán los reconocidos por la Organización Mundial de la Salud y adoptados por el Ministerio de la Protección Social, quien tendrá en cuenta el respectivo concepto toxicológico del producto para expedir el concepto técnico.

CAPITULO III. Características microbiológicas

Artículo 10. *Técnicas para realizar análisis microbiológicos.* Las técnicas aceptadas para realizar los análisis microbiológicos del agua para consumo humano son las siguientes:

a) Para Escherichia Coli y Coliformes totales: Filtración por membrana, Sustrato Definido, enzima sustrato y presencia-ausencia.

Se podrán adoptar otras técnicas y metodologías debidamente validadas por el Instituto Nacional de Salud, INS, o este realizará una revalidación con base en documentos soporte de organismos internacionales que presenten los solicitantes;

b) Para Giardia y Cryptosporidium: Las técnicas y metodologías de análisis para estos microorganismos deben ser validadas por el Instituto Nacional de Salud, INS, o revalidadas por este con base en documentos soporte de organismos internacionales que presenten los solicitantes.

Artículo 11. *Características microbiológicas.* Las características microbiológicas del agua para consumo humano deben enmarcarse dentro de los siguientes valores máximos aceptables desde el punto de vista microbiológico, los cuales son establecidos teniendo en cuenta los límites de confianza del 95% y para técnicas con habilidad de detección desde 1 Unidad Formadora de Colonia (UFC) ó 1 microorganismo en 100 cm³ de muestra:

Técnicas utilizadas	Coliformes Totales	Escherichia coli
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm ³	0 UFC/100 cm ³
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm ³	< de 1 microorganismo en 100 cm ³
Sustrato Definido	0 microorganismo en 100 cm ³	0 microorganismo en 100 cm ³
Presencia – Ausencia	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³

Parágrafo 1°. Como prueba complementaria se recomienda realizar la determinación de microorganismos mesofílicos, cuyo valor máximo aceptable será de 100 UFC en 100 cm³.

Parágrafo 2°. Ninguna muestra de agua para consumo humano debe contener E.coli en 100 cm³ de agua, independientemente del método de análisis utilizado.

Parágrafo 3°. El valor aceptable para Giardia es de cero (0) Quistes y para Cryptosporidium debe ser de cero (0) Ooquistes por volumen fijado según la metodología aplicada.

Artículo 12. *Otras consideraciones microbiológicas.* Además de las características señaladas en el artículo anterior, se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

a) A partir de la entrada en vigencia de la presente resolución, para la implementación de la técnica de análisis de Giardia y Cryptosporidium se tendrá en cuenta el tamaño del sistema de suministro y los plazos estipulados en el Cuadro N° 16 del artículo 34 de la presente resolución;

b) De acuerdo con el mapa de riesgo, las autoridades ambientales en cooperación con las autoridades sanitarias y las personas prestadoras de la jurisdicción, realizarán la investigación para verificar la presencia de otros microorganismos patógenos en el agua y la viabilidad de establecer otros indicadores. Si se demuestra la presencia de microorganismos patógenos, las autoridades incorporarán en el mapa de riesgo, sus hallazgos y las acciones a seguir.

**ANEXO L.
PRODUCTOS QUÍMICOS**

- CLORO

		CERTIFICATE OF ANALYSIS		SNF Inc. PORT BIENVILLE IND. PARK ROAD D PEARLINGTON MS 39572
CUSTOMER NAME : EXRO S.A.S.		EXRO S.A.S KM 1.5 VIA BRICENO - ZIPAQUIRA VEREDA EL VERGANZO TOCANCIPA NIT: 860.052.601-1 CUNDINAMARCA COLOMBIA		
OA #: 883286- 1 -1				
sandragarzon@exro.co SANDRA GARZON				
SNF PRODUCT NAME : FLOQUAT FL 2565				
CUSTOMER PRODUCT NAME : FLOQUAT FL 2565				
PURCHASE ORDER NR : 683			DATE : 01/12/2016	
GENERIC NAME : Alkylamine - Epichlorohydrin polymer				
MATERIAL DESCRIPTION : CLEAR TO YELLOW LIQUID				
AMOUNT : 20000 KG				
			QUALITY CONTROL	QC
	UNIT	SPECIFICATION	BATCH NUMBER PPA/5659	TEST
pH on solution		4.0 - 6.0	5.6 ✓	3130 A
BROOKFIELD VISCOSITY (LV3, 30 rpm)	cps	100 - 3000	247.5 ✓	3420 A
SPECIFIC GRAVITY		1.0-1.2	1.160 ✓	3100 A
SNF APPROVAL	Version : 01 Date : 11/14/2003 Signature Muriel Huart		Date : 01/12/2016 Signature Nathna Constant	
If the # symbol appears in the QC-TEST column, then the data on that line is given for information only, and does not constitute a specification. SUP NR: OG-0098 A REVISION: 04				

Fuente. Acueducto de Bogotá

- SULFATO DE ALUMINIO

SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD

SULFOQUIMICA S.A.

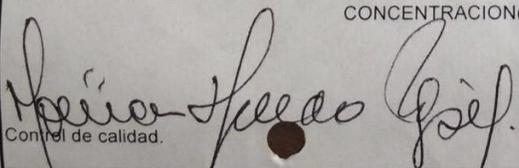
CERTIFICADO DE CALIDAD

Cliente EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTA
Producto SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO
Fecha de despacho 2 de marzo de 2016
Número de Lote 2797
Certificado Número 16296
Fecha de fabricación 1 de marzo de 2016
Fecha de vencimiento 1 de marzo de 2017

Parámetros de la norma Icontec 531, 6a. Revisión	Especificaciones	Resultado de laboratorio
Alúmina (%Al ₂ O ₃)	7,30 Mínimo	7,42 ✓
Oxido de Hierro (%Fe ₂ O ₃)	1,20 Máximo	0,63 ✓
Material insoluble (%)	0,10 Máximo	0,019 ✓
Basicidad libre (% Al ₂ O ₃) o		-
Acidez libre (%H ₂ SO ₄) ¹		0,720 ?
Valor pH		0,65 -
Densidad (g/ml)		1,316 ?
Temperatura de análisis (°C)		25 -

¹ Acuerdo entre el vendedor y el comprador

CONCENTRACION(%): 49,15


 Control de calidad.



 Certificado N° 162 - 1

Fuente Acueducto de Bogotá

- POLÍMERO CATIÓNICO

Hoja Técnica de Seguridad del Material
FL 156

9. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Estado físico : Líquido
Color : Amarillo claro
pH : 4.0 - 6.0
Gravedad Específicas : 1.14 - 1.20
Punto de inflamación : > 100 (°C)
Punto de congelación (°C) : -3
Temperatura de autoignición : > 200 (°C)
Hidrosolubilidad : totalmente miscible
Viscosidad (mPa.s) 100 - 600
LogPow : 0

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad : Estable. La polimerización peligrosa no ocurre.
Materias que deben evitarse : Los agentes oxidantes pueden ocasionar reacciones exotérmicas.
Productos de descomposición peligrosos : No se descompone si se almacena y aplica como se indica. La combustión del material seco puede producir: hidrógeno, gas cloro, óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de carbono.

Fuente Acueducto de Bogotá

ANEXO M.
EQUIPOS UTILIZADOS EN LA EXPERIMENTACIÓN

- Especificaciones Colorímetro LCM IV Movil
 - ✓ Determinación del color según escalas Gardner, Hazen (APHA / PtCo), Iodine, Saybolt y de aceites minerales
 - ✓ Verdaderamente portátil si se usa con una batería Li-ion (opcional)
 - ✓ Unidad base con pantalla táctil que no requiere el uso de un PC Menú intuitivo de sencilla operatividad
 - ✓ Reconocimiento automático de la cubeta - evita fallos de medición Cubetas rectangulares de 10 y 50 mm y redondas de 11mm para mayor precisión
 - ✓ Compartimento abierto para la fácil ubicación de las muestras
 - ✓ Haz doble de iluminación que garantiza resultados fiables y precisos
 - ✓ Interfaz USB conexión PC o impresora

- Especificaciones Balanza Analítica Precisa 120 A
 - ✓ Tipo Analítica
 - ✓ Modelo LS 120A SCS
 - ✓ Capacidad (g) 120
 - ✓ Resolución (mg) 0.1
 - ✓ Portátil/Mesa Mesa
 - ✓ Interfase USB RS232
 - ✓ Tiempo de respuesta (s) 2
 - ✓ Linealidad (mg) 0.2
 - ✓ Legibilidad (mg) 0.1
 - ✓ Repetibilidad (mg) 0.1
 - ✓ Diámetro del panel (mm) 90

- ESPECTROFOTÓMETRO DR 3900

Especificaciones*

Modo de funcionamiento	Transmitancia (%), absorbancia y concentración, exploración (longitud de onda, tiempo)	Luz difusa	< 0,1% T a 340 nm con NaNO ₂
Fuente de luz	Lleno de gas tungsteno (visible)	Pantalla	7 pulgadas WVGA (800 pix x 480 pix)
Sistema óptico	Haz de referencia, espectral	Registrador de datos	2000 valores medidos (Resultados, fecha, hora, ID de la muestra, ID de usuario)
Rango de la longitud de onda	320 a 1100 nm	Preprogrammed methods	> 220
Exactitud de longitud de onda	± 1.5 nm (rango de longitud de onda de 340 a 900 nm)	User programmes	100
Reproducibilidad de longitud de onda	0.1 nm	Dimensiones (Al. x An. x F.)	151 mm x 350 mm x 255 mm
Resolución de longitud de onda	1 nm	Peso	N/A
Calibración de longitud de onda	Automática	Temperatura de operación	10 °C a 40 °C
Selección de longitud de onda	Automática, basada en la selección del método	Temperatura de almacenamiento	-30 a 60 °C
Ancho de banda espectral	5 nm	Clase de protección del instrumento	IP30
Photometric measuring range	± 3.0 Abs (rango de longitud de onda de 340 a 900 nm)	Fuente de alimentación	Mesa de alimentación, 110 - 240 V, 50/60 Hz
Precisión fotométrica	5 mAbs a 0.0 a 0.5 Abs 1 % a 0.50 a 2.0 Abs	Interfaces (Opción)	USB tipo A (2), USB tipo B, Ethernet, el módulo RFID
Linealidad fotométrica	< 0.5 % a 2 Abs ± 0.01 % 2 Abs con vidrio neutro a 546 nm	Garantía	12 meses *Sujeto a cambio sin previo aviso.

Fuente. Acueducto de Bogotá

- BURETA DIGITAL TITRONIC

Características	TITRONIC® 500
Entrada de lectura en pH / mV con entrada de referencia	–
Reconocimiento inalámbrico del electrodo	–
Entrada de medición por parada de punto muerto (conector de 2 x 4 mm)	–
Entrada de medición de temperatura (conector de 2 x 4 mm)	–
Interfaces	(2) USB Host, (1) USB Slave (2) RS232
Conexión para balanza	RS232
Resolución de la bureta	10,000
Módulos inteligentes intercambiables	■
Titulación a puntos finales de mV y pH	–
Titulación dinámica y lineal a punto de inflexión (EQ), mV y pH	–
Particularmente bueno para titulaciones no acuosas	–
Titulación de paro por punto muerto	–
Titulación pH-stat	–
Titulación manual	■
Aplicaciones de dosificación	■

Fuente. Acueducto de Bogotá

ANEXO N.
RANGOS DE STROKES UTILIZADOS A NIVEL PLANTA PILOTO.

Strokes/min	IPDF				IPFDD	
	PQ-C2 mL/min	PQ-P2 mL/min	PQ-CAP2 mL/min	PQ-O2 mL/min	PQ-C4 mL/min	PQ-P4 mL/min
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	3,0	1,8	1,8	1,8	2,3	1,8
3	6,0	3,5	3,5	3,5	4,5	3,5
4	9,0	5,3	5,3	5,3	6,8	5,3
5	12,0	7,0	7,0	7,0	9,0	7,0
6	12,8	8,0	8,0	7,8	10,6	8,2
7	13,6	9,2	9,0	8,6	12,2	9,4
8	14,4	10,6	10,0	9,4	13,8	10,6
9	15,2	12,2	11,0	10,2	15,4	11,8
10	16,0	14,0	12,0	11,0	17,0	13,0
11	17,4	16,0	12,8	12,2	18,2	14,0
12	18,8	18,8	13,6	13,4	19,4	15,8
13	20,2	20,0	14,4	14,6	20,6	17,2
14	21,6	22,0	15,2	15,8	21,8	18,6
15	23,0	24,0	16,0	17,0	23,0	20,0
16	24,8	25,8	16,8	18,2	24,8	21,4
17	26,6	27,6	17,6	19,4	26,6	22,8
18	28,4	29,4	18,4	20,6	28,4	24,2
19	30,2	31,2	19,2	21,8	30,2	25,6
20	32,0	33,0	20,0	23,0	32,0	27,0
21	33,6	34,0	22,8	24,0	33,2	28,4
22	35,2	35,0	25,6	25,0	34,4	29,8
23	36,8	36,0	28,4	26,0	35,5	31,2
24	38,4	37,0	31,2	27,0	36,8	32,6
25	40,0	38,0	34,0	28,0	38,0	34,0
26	41,4	40,0	35,4	29,4	39,4	35,4
27	42,8	42,0	36,8	30,8	40,8	36,8
28	44,2	44,0	38,2	32,2	42,2	38,2
29	45,6	46,0	39,6	33,6	43,6	39,6
30	47,0	48,0	41,0	35,0	45,0	41,0
31	49,0	49,6	42,6	36,0	46,4	42,6
32	51,0	51,2	44,2	37,0	47,8	44,2
33	53,0	52,8	45,8	38,0	49,2	45,8
34	55,0	54,4	47,4	39,0	50,6	47,4
35	57,0	56,0	49,0	40,0	52,0	49,0

36	58,2	58,0	50,0	41,2	54,0	50,2
37	59,4	60,0	51,0	42,4	56,0	51,4
38	60,6	62,0	52,0	43,6	58,0	52,6
39	61,8	64,0	53,0	44,8	60,0	53,8
40	63,0	66,0	54,0	46,0	62,0	55,0
41	64,2	67,4	55,2	46,8	63,2	56,2
42	65,4	68,8	56,4	47,6	64,4	57,4
43	66,6	70,2	57,6	48,4	65,6	58,6
44	67,8	71,6	58,8	49,2	66,8	59,8
45	69,0	73,0	60,0	50,0	68,0	61,0
46	70,0	75,0	61,4	51,0	69,8	63,4
47	71,0	77,0	62,8	52,0	71,6	65,8
48	72,0	79,0	64,2	53,0	73,4	68,2
49	73,0	81,0	65,6	54,0	75,2	70,6
50	74,0	83,0	67,0	55,0	77,0	73,0
51	76,6	85,0	68,4	56,6	78,2	73,8
52	79,8	87,0	69,8	58,2	79,4	74,6
53	81,8	89,0	71,2	59,8	80,6	75,4
54	8,4	91,0	72,6	61,4	81,8	76,2
55	87,0	93,0	74,0	63,0	83,0	77,0
56	88,8	95,0	75,2	64,4	84,2	77,6
57	90,8	97,0	76,1	65,8	85,4	78,2
58	92,2	99,0	77,6	67,2	86,6	78,8
59	94,2	101,0	78,8	68,6	87,8	79,4
60	96,2	103,0	80,0	70,0	89,0	80,0
61	97,0	105,0	80,4	71,0	90,4	81,4
62	99,2	107,0	80,8	72,0	91,8	81,8
63	100,8	109,0	81,2	73,0	93,2	84,2
64	102,4	111,0	81,6	74,0	94,6	85,6
65	104,0	113,0	82,0	75,0	96,0	87,0
66	105,8	113,6	82,4	76,6	97,6	88,4
67	107,2	114,2	82,8	78,2	99,2	89,8
68	108,8	114,8	83,2	79,5	100,8	91,2
69	110,0	115,4	83,6	81,4	102,4	92,6
70	112,0	116,0	84,0	83,0	104,0	94,0
71	113,2	116,8	85,6	84,2	105,2	96,0
72	114,4	117,6	87,2	85,4	106,4	98,0
73	115,6	118,4	88,8	86,6	107,6	100,0
74	116,8	119,2	90,4	87,8	108,8	102,0
75	118,0	120,0	92,0	89,0	110,0	104,0
76	119,2	121,4	92,8	89,8	111,2	105,2

77	120,4	122,8	93,6	90,6	112,4	106,4
78	121,6	124,2	94,4	91,4	113,6	107,6
79	122,8	125,6	95,2	92,2	114,8	108,8
80	124,0	127,0	96,0	93,0	116,0	110,0
81	126,4	129,4	98,4	93,6	118,0	113,0
82	128,8	131,8	100,8	94,2	120,0	116,0
83	131,2	134,2	103,2	94,8	122,0	119,0
84	133,6	136,6	105,6	95,4	124,0	122,0
85	136,0	139,0	108,0	96,0	126,0	125,0
86	137,2	140,8	109,2	96,8	130,0	123,4
87	138,4	142,6	110,4	97,6	134,0	127,8
88	139,8	143,4	111,6	98,4	138,0	129,2
89	140,8	146,2	112,8	99,2	142,0	130,6
90	142,0	148,0	114,0	100,0	146,0	132,0
91	143,6	149,4	114,4	100,4	146,4	132,4
92	145,2	150,8	114,8	100,8	146,8	132,8
93	146,8	152,2	115,2	101,2	147,2	133,2
94	148,4	153,6	115,6	101,6	147,6	133,6
95	150,0	155,0	116,0	102,0	148,0	134,0
96	151,8	157,8	116,8	102,8	148,4	134,8
97	153,6	160,6	117,6	103,6	148,8	135,6
98	155,4	163,4	118,4	104,4	149,2	136,4
99	257,1	166,2	119,2	105,2	149,6	137,2
100	159,0	169,0	120,0	106,0	150,0	138,0
101	160,2	170,8	120,4	106,8	150,8	138,4
102	161,4	172,6	120,8	107,6	151,6	138,8
103	162,6	174,4	121,2	108,4	152,4	139,2
104	163,8	176,2	121,6	109,2	153,2	139,6
105	165,0	178,0	122,0	110,0	154,0	140,0
106	165,6	182,4	122,4	111,2	154,8	140,8
107	166,2	186,8	122,8	112,4	155,6	141,6
108	166,8	191,2	123,2	113,6	156,4	142,4
109	167,4	195,6	123,6	114,8	157,2	143,2
110	168,0	200,0	124,0	116,0	158,0	144,0
111	168,6	202,0	124,4	116,8	158,4	146,0
112	169,2	204,0	124,8	117,6	158,8	148,0
113	169,8	206,0	125,2	118,4	159,2	150,0
114	170,4	208,0	125,6	119,2	159,6	152,0
115	171,0	210,0	126,0	120,0	160,0	154,0
116	171,6	212,0	126,4	120,8	161,6	155,6
117	172,2	214,0	126,8	121,6	163,2	157,2

118	172,8	216,0	127,2	122,4	164,8	158,8
119	173,4	218,0	127,6	123,2	166,4	160,4

Fuente. Acueducto de Bogotá.

ANEXO O.
CARACTERÍSTICAS DEL AGUA CRUDA SEGÚN LA CORRIDA REALIZADA

FECHA	HIERRO TOTAL	COLIFORMES TOTALES	TURBIEDAD
04-ene-16	0,01	1	0,34
06-ene-16	0,01	27	0,27
08-ene-16	0,02	50	0,3
11-ene-16	0,04	47	0,33
16-ene-16	0,01	3	0,41
21-ene-16	0,05	46	0,26
25-ene-16	0,04	19	0,27
04-feb-16	0,06	18	0,37
07-feb-16	0,02	10	0,24
09-feb-16	0,01	19	0,33
11-feb-16	0,03	3	0,3
13-feb-16	0,04	9	0,26
15-feb-16	0,01	26	0,17
17-feb-16	0,05	8	0,24