

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE MEDICINA  
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MÉDICA  
LICENCIATURA EN SALUD AMBIENTAL**



**INFORME FINAL DE INVESTIGACION**

**EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE EFICIENCIA DE LOS PROCESOS UNITARIOS  
Y DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA PLANTA POTABILIZADORA TAMULASCO,  
EN EL MUNICIPIO DE CHALATENANGO, DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO,  
EN EL PERIODO DE ENERO 2015 A SEPTIEMBRE 2016.**

**PRESENTADO POR:**

Br. Hernández Canizalez Andrea Saraí

Br. Rauda Hernández Saúl Antonio

Br. Yanes Arriaza Jennifer Esther

**PARA OPTAR AL GRADO DE:**

Licenciada/do en Salud Ambiental

**ASESORA:**

Lic. Astrid Violeta Villalobos Velásquez

CIUDAD UNIVERSITARIA, 09 DE MARZO DE 2017

**RECTOR DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR:**

Maestro Roger Armando Arias

**VICERRECTOR ACADÉMICO:**

Dr. Manuel de Jesús Joya

**SECRETARIO GENERAL:**

Lic. Cristóbal Ríos

**DECANA DE LA FACULTAD DE MEDICINA:**

Dra. Maritza Mercedes Bonilla Dimas.

**VICEDECANA DE LA FACULTAD DE MEDICINA:**

Licda. Nora Elizabeth Abrego de Amado.

**DIRECTORA DE LA ESCUELA DE TECNOLOGIA MÉDICA:**

Licda. Dálide Ramos de Linares.

**DIRECTORA DE LA CARRERA LICENCIATURA EN SALUD AMBIENTAL:**

Licda. Astrid Violeta Villalobos Velásquez.

**COORDINADORA DEL PROCESO DE GRADUACION DE LA CARRERA  
LICENCIATURA EN SALUD AMBIENTAL:**

Licda. Audelia Rosa Hernández de González.

**ASESORA DE SEMINARIO DE GRADUACION:**

Licda. Astrid Violeta Villalobos Velásquez

**TRIBUNAL EVALUADOR:**

**Licda.** Astrid Violeta Villalobos Velásquez

**Licda.** Ada Ruth Membreño Nolasco

**Lic.** Rolando Sigifredo Nóchez Dimas

### AGRADECIMIENTOS:

- **A Dios:** Porque reconozco que El da la inteligencia y la sabiduría.
- **A mi Familia:** Por brindarme la oportunidad de superarme académicamente, creer en mí, y ayudarme a perseverar en cada prueba presentada a lo largo de esta hermosa carrera.
- **A mi equipo de seminario de graduación:** Agradezco a mis amigos Jennifer y Saúl por acompañarme en cada etapa de este proceso, y compartir los conocimientos adquiridos mutuamente, sin egoísmos sino con el ideal de crecer y fortalecer nuestra amada carrera.

**Andrea Saraí Hernández Canizález**

---

- **A Dios:** Por protegerme en mi camino, ser mi guía, darme la fuerza y fe para creer y completar lo que creía imposible terminar.
- **A mi Padre y mi Madre:** Por haberme forjado como la persona que soy, por el apoyo moral incondicional y el esfuerzo para ayudarme a lograr una de mis metas.
- **A mi Familia:** Silvia Alfaro y Claudia por siempre estar a mi lado en momentos difíciles, a Fátima, Boris e Irving por dedicarme el tiempo para darme aportes invaluable que usaré toda la vida.
- **A mis Amigos:** Andrea y Saúl, quienes compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas, por permanecer unidos a pesar de la adversidad.

**Jennifer Esther Yanes Arriaza**

---

- **Al ser supremo:** Por la oportunidad de vida y la sabiduría prestada, para poder crecer y superarnos.
- **A mi familia:** Mi padre y madre que pese a todo siempre creyeron en mí.
- **A mi hija:** Que es el motor de mi vida, la razón del porque he llegado hasta acá.

- **A mis compañeras:** Que a lo largo de este proceso y etapa siempre fueron un gran apoyo.

**Saúl Antonio Ruda Hernández**

---

- **A CENSALUD** (Centro de Investigación y desarrollo en Salud) de la Universidad de El Salvador, por apoyarnos con la realización de los análisis microbiológicos.
- **ANDA** (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados) por darnos la apertura de desarrollar esta investigación en una de sus Plantas Potabilizadoras.

**Equipo de Seminario de Graduación**

## INDICE.

### INTRODUCCION

#### Capítulo I.

##### Planteamiento del problema.

1.1.Situación problemática .....	11
1.2.Enunciado del problema .....	15
1.3.Justificación .....	16
1.4.Objetivos .....	18

#### Capítulo II.

##### Marco Teórico.

2.1. Antecedentes del Planta Potabilizadora Tamulasco .....	19
2.2. Base Teórica Científica.....	23
2.2.1. Importancia de la evaluación de la calidad del agua como suministro.....	23
2.2.2. Tipos de fuentes y tratamientos para la potabilización del agua .....	25
2.2.3. Procesos unitarios para aguas superficiales en plantas potabilizadoras. ....	26
2.3 Parámetros de la calidad de agua para consumo.....	56
2.3.1 Monitoreo de la calidad del agua .....	59
2.4 Importancia de los procesos unitarios en la Planta potabilizadora Tamulasco.....	60

#### Capítulo III.

##### Operacionalización de Variables.

3.1. Operacionalización de Variables. ....	64
--	----

## **Capítulo IV.**

### **Diseño Metodológico.**

4.1. Tipo de Estudio.....	65
4.2. Población y Muestra .....	66
4.3. Técnicas, Instrumentos y Procedimientos. ....	66
4.3.1 Determinaciones analíticas .....	71
4.4. Plan para el procesamiento, presentación y análisis de los Resultados.....	73
4.5. Presentación de los resultados .....	86
4.6. Análisis de los resultados.....	87
4.7 Control de Calidad de los datos .....	89

## **CAPITULO V**

### **Presentación y análisis de resultados**

5.1 Presentación y Análisis de resultados .....	91
5.1.1 Presentación de resultados de análisis de Afluente y Efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco año 2015 .....	91
5.1.2 Presentación de resultados de análisis realizados en la Planta Potabilizadora Tamulasco año 2016 .....	95
5.2 Evaluación e Interpretación de la Eficiencia del Afluente y Efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco para el año 2016 .....	105
5.2.1 Evaluación del porcentaje de eficiencia en la reducción de los parámetros físicos de los procesos unitarios de la Planta Potabilizadora Tamulasco año 2016 .....	110
5.2.2 Evaluación de la dosificación .....	117

## CAPITULO VI

### Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones .....	119
6.2 Recomendaciones .....	123
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	123
<b>ANEXOS</b> .....	125
Anexo 1: Instrumento de recolección de datos para la evaluación de la calidad del agua de los procesos unitarios, del afluente y efluente de la planta potabilizadora de Tamulasco, para análisis microbiológico y fisicoquímico .....	127
Anexo 2: Instrumento de recolección de datos para la evaluación de la calidad del agua de los procesos unitarios, del afluente y efluente de la planta potabilizadora de Tamulasco para coagulación (prueba de jarras).....	129
Anexo 3: Listado de morbilidad facilitado por SIBASI (Sistema Básico de Salud) de Chalatenango para el año 2015.....	130
Anexo 4: registro de primera visita de campo .....	131
Anexo 5: imagen de la entrada de la Planta Potabilizadora Tamulasco .....	131
Anexo 6: Registro de segunda visita de campo .....	132
Anexo 7: realización de Prueba de Jarras .....	133
Anexo 8: Registro de segunda visita de campo .....	133
Anexo 9: imagen de recolección de muestras.....	134
Anexo 10: imagen recolección de muestras en Sedimentador .....	134
Anexo 11: imagen recolección de muestras en Filtro.....	135
Anexo 12: Resultados de análisis químicos a muestras tomadas en Bocatoma .....	136
Anexo 13: Resultados de análisis químicos a muestras tomadas en Cisterna .....	137
Anexo 14: Resultados de análisis microbiológicos a muestras tomadas en Bocatoma	138
Anexo 15: Resultado de análisis microbiológico a muestras tomadas en Cisterna .....	139

## **Introducción.**

El Informe Final que se presenta a continuación plantea una investigación en la que se realizó la evaluación del porcentaje de eficiencia en la reducción de parámetros Microbiológicos, Físicos y químicos en el afluente y efluente de La Planta Potabilizadora Tamulasco; así mismo se evaluó la eficiencia en la reducción de parámetros físicos de los procesos unitarios que conforman la Planta ya mencionada, siendo estos procesos: Desarenador, Floculador 1 y 2, Sedimentador 1 y 2 y Filtro 1 y 2. Esta investigación se llevó a cabo en el periodo de Enero a Septiembre del 2016, dicha Planta se encuentra ubicada en el Municipio de Chalatenango, Departamento de Chalatenango.

La investigación plantea objetivos relacionados con la evaluación de la eficiencia de cada uno de los procesos unitarios, mediante la toma de muestras de sus efluentes y sus análisis respectivos, y de esta misma forma para el afluente y efluente (salida de Cisterna) de la Planta en estudio; identificando la calidad del agua tratada lo cual a su vez permitió evaluar la eficiencia en la reducción de los parámetros Microbiológicos, Físicos y Químicos, resultando con una evaluación de 6.16 es decir que el estado de la Planta Tamulasco en cuanto a la calidad del agua. Otro de los objetivos planteados en esta investigación fue sobre la evaluación de la eficiencia de la dosificación del coagulante empleado, lo cual a través de la técnica de prueba de Jarras que se presenta en este documento se logró obtener la dosificación que favorece la etapa de coagulación y floculación.

De igual forma este documento posee contenidos que van desde un Planteamiento del Problema, un Marco Teórico que sustenta la investigación, presentando la epidemiología del agua, la importancia del agua para el ser humano y posteriormente detallando los procesos establecidos para el tratamiento de aguas de fuentes superficiales, tomando en cuenta el funcionamiento de cada proceso unitario adaptado a la realidad nacional, ya que se han presentado estos procesos de acuerdo a las Plantas de Tratamiento de aguas superficiales que se diseñan y manejan en El Salvador.

Se construyó una metodología para llevar a cabo la evaluación. En la cual se ejecutó una propuesta de evaluación del porcentaje de eficiencia de reducción, debido a que no existe un instrumento específico ni una metodología a utilizar, para la realización de la evaluación que esté relacionada con la calidad del agua tanto del afluente como efluente general de las Plantas Potabilizadoras. Así como, de los efluentes de los procesos unitarios que conforman una planta potabilizadora de aguas superficiales; por lo que se establecieron niveles de calidad de agua tratada, facilitando una escala de calificación la cual va desde 1 hasta 10, categorizando por niveles que van de 1-3 deplorable, de 4-5 Malo, de 6-7 Bueno, 8-9 Muy Bueno y de 10 Excelente. Este apartado presenta una serie de instrumentos de recolección de datos, así como de tablas para la presentación y análisis de los resultados obtenidos, los cuales facilitaron el vaciado de estos, así como la comparación de los resultados entre parámetros por año.

Al finalizar este documento se encontraran las conclusiones y recomendaciones emitidas con base en los resultados obtenidos, donde se mencionan los hallazgos de la investigación y la evaluación obtenida, y recomendaciones dadas a los lectores de este documento y a las entidades que les competa.

## **CAPÍTULO I:**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

#### **1.1 Situación problemática**

En El Salvador uno de los grandes problemas es la alta insalubridad ambiental, provocado principalmente por la carencia de políticas y estrategias nacionales que repercuten a nivel local, marco normativo obsoleto y ausencia de institucionalidad debido sobre todo a multiplicidad de competencias tanto del sector hídrico como del subsector agua potable. Según el Ministerio de Salud (MINSAL), en el año 2014, una de las 5 primeras causas de morbilidad eran los problemas gastrointestinales provocadas por la contaminación de alimentos y fuentes de agua contaminada (ver anexo 3), que a su vez están asociadas a problemas de saneamiento básico tales como contaminación del aire, inadecuado manejo de desechos sólidos, y aguas residuales e inadecuado manejo y disposición final de excretas entre otras<sup>1</sup>.

La disponibilidad y el acceso de agua potable en El Salvador, se ve afectado principalmente, por su cantidad y calidad. Según el Informe de Calidad del Agua del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) para el año 2011, el 12% de los ríos del país cuentan con calidad “buena”, el 50% cuentan con calidad “regular”, el 31% calidad “mala” y un 7% calidad “pésima”; a nivel nacional solo el 26% de los ríos del país cumplen con la aptitud de uso para riego y solo el 17% cumple con aptitud para potabilización.<sup>2</sup>

Esto con lleva a tener una idea general del tipo de agua con el que cuenta el país, dificultando el acceso a agua de buena calidad. Por lo cual es necesario aplicar tratamiento al agua destinada a consumo humano, mediante plantas potabilizadoras de agua, superficiales o aguas subterráneas, competencia bajo la institución autónoma del Estado,

---

<sup>1</sup>Ministerio de Salud Pública (MINSAL) Reporte Estadístico Enero 2015. Página 6

<sup>2</sup>Ministerio de medio Ambiente y Recursos Naturales, Estrategia Nacional de Medio Ambiente 2013, Estrategia nacional de Recurso Hídricos.

como la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), que es el ente encargado de la producción y distribución de agua potable a nivel nacional contando con las siguientes Plantas Potabilizadoras:

#### Aguas Superficiales

1. Plantas Potabilizadora Las Pavas, en San Pablo Tacachico de La Libertad.
2. Planta Potabilizadora Guluchapa Ilopango, San Salvador
3. Planta Potabilizadora Tamulasco, Chalatenango.
4. Planta Potabilizadora Chilama, La Libertad
5. Planta Potabilizadora El Rosario, La Paz

#### Aguas Subterráneas

1. Joya Grande Ilopango, San Salvador<sup>3</sup>.

Es responsabilidad de ANDA además de la administración de las plantas de tratamiento anteriores también verificar que el agua cumpla con los parámetros establecidos en la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable (N.S.O:13.07:08.). Para lo cual dicha entidad cuenta con un Plan de Monitoreo, para las diferentes plantas y la red de distribución que se encuentran bajo su administración. Siendo las áreas de monitoreo infraestructura o instalaciones, calidad del agua y mantenimiento general el cual se operativiza según se detalla a continuación:

#### Plantas potabilizadoras (Producción):

- ✓ Infraestructura de la Planta Potabilizadora (Prevención de riesgos).
- ✓ Calidad del efluente de la Planta Potabilizadora (Análisis completos anuales).

#### Red de distribución:

---

<sup>3</sup> Gerencia de Hidrología. MARN. SNET. [Online]. 2011 [cited 2016 Febrero 2016. Available from: <http://www.snet.gob.sv/ver/hidrologia/monitoreo+hidrologico/calidad+de+agua/calidad+de+agua+2011/>.

- ✓ Toma de muestra de agua para análisis fisicoquímico y microbiológico mensuales, en puntos estratégicos en la red de distribución
- ✓ Mantenimiento general en la red de distribución.

A pesar de contar con un plan de monitoreo, este se realiza con mayor frecuencia en la red de distribución, mientras que en las plantas solamente se realiza una inspección anual y de forma general, la cual no incluye un monitoreo que facilite la determinación del grado de eficiencia de cada uno de los procesos unitarios de las plantas, debido a que no existe un plan de evaluación enfocado en la eficiencia de dichos procesos.

De acuerdo con la descripción de la situación anterior se presumen las siguientes condiciones que redundarían en deficiencias que afectarían el proceso de tratamiento relacionados con indicadores de eficiencia en los procesos unitarios y calidad del agua, entre estas condiciones se encuentran:

- Limitada gestión administrativa y técnica en la planta.
- Limitado monitoreo de la calidad microbiológica y fisicoquímica del afluente de la planta potabilizadora.
- Limitada capacitación del personal en cuanto al uso de equipo en la planta.
- No contar con datos periódico relacionados con el estado microbiológico de los efluentes de los procesos unitarios.

En consecuencia, se afectaría:

- El óptimo funcionamiento de los procesos unitarios al sobre cargarlos con afluentes con un grado alto de carga orgánica.
- Uso inadecuado de químicos empleados, provocando la saturación de los procesos.
- Calidad microbiológica y fisicoquímica del agua de la planta potabilizadora.

Una de las Plantas Administradas por ANDA es la Planta Potabilizadora Tamulasco del Municipio de Chalatenango, esta presenta algunas de las limitantes mencionadas anteriormente, entre otras desventajas falta de personal especializado y operadores por turno. Dicha Planta está ubicada en el Municipio de Chalatenango, y es abastecida por el río Tamulasco, el agua tratada procedente de esta planta, es posteriormente distribuida a la zona urbana de dicho municipio.

Tomando en cuenta las limitantes del programa de monitoreo operativizado por ANDA, y las consecuencias que este conlleva sobre la eficiencia de los procesos unitarios y la calidad del agua; como factor agregado, se estima que el riesgo a nivel de población podría estar relacionado con el mantenimiento y/o incremento de las tasas de morbilidad por enfermedades gastrointestinales y parasitarias que adolece la población del área urbana del municipio de Chalatenango, como impacto final generado por el consumo de agua inadecuadamente tratada.

## **1.2 Enunciado del problema.**

¿Cuál es el porcentaje de eficiencia de los procesos unitarios, y de la calidad del agua de la Planta Potabilizadora Tamulasco, en el Municipio de Chalatenango, Departamento de Chalatenango, en el periodo de Enero 2015 a Septiembre 2016?

### 1.3 Justificación

El agua es un recurso vital para el desarrollo del ser humano y representa un papel fundamental en el desarrollo de las comunidades, ya que con ella se ven mejorados aspectos económicos, ambientales, sociales y de salud de los habitantes. Por consiguiente el acceso a este recurso debe de ser una prioridad de los gobiernos locales y central del país, y no solamente el acceso, también se debe garantizar que el agua distribuida cumpla con los parámetros que se establecen en la Norma Salvadoreña para Agua Potable, para ser consumido por los habitantes y que esta no genere problemas a la salud.

En la Normativa Salvadoreña para Agua Potable actual, no existe un marco conceptual o norma que establezca la necesidad de evaluar la eficiencia de los procesos unitarios, sin embargo en documentación internacional, dada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (por sus siglas en inglés EPA), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Organización Panamericana de la Salud (OPS), y Organización Mundial Para la Salud (OMS), a través del aporte conjunto establecido en el “Manual del Inspector”, se brindan directrices a seguir para la realización de inspecciones sanitarias en sistemas de aguas potable, justificando el monitoreo y evaluación constante en términos de eficiencia y calidad de los diferentes procesos que conforman las plantas potabilizadoras, con el objeto de garantizar agua de calidad a los consumidores.<sup>4</sup>

Tomando en cuenta la información anterior es necesario realizar una evaluación periódica en términos de eficiencia en los procesos de la planta, la cual será determinada con base a los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, tomadas en las diferentes

---

<sup>4</sup>Manual del inspector 2001, Como realizar inspecciones sanitarias en pequeños sistemas de agua; Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), División de Salud y Ambiente, Organización panamericana de la Salud (OPS), Oficina Regional de La Organización Mundial de La Salud (OMS), Agencia de Protección Ambiental de los E.E.UU (EPA). Página I-5.

salidas o efluentes de los procesos unitarios, por lo cual será necesario contar con instrumentos que faciliten la recolección y análisis de datos para establecer el porcentaje de eficiencia de los procesos unitarios y de la planta en general. Teniendo claro que una planta potabilizadora de agua es la principal barrera contra el agua contaminada y cualquier deficiencia en el proceso de tratamiento en la calidad del agua.<sup>5</sup>

Por otro lado este documento servirá de apoyo a la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), facilitando instrumentos de evaluación de la eficiencia para la planta en estudio, permitiendo identificar los procesos que se puedan encontrar deficientes y que se necesite dar un seguimiento, así como los que se encuentran funcionando en condiciones óptimas, permitiendo que la administración tome medidas correctivas en el mejoramiento de los procesos, garantizando un adecuado funcionamiento y eficiencia de la Planta en general.

---

<sup>5</sup> Manual del Inspector 2001, Como realizar inspecciones sanitarias en pequeños sistemas de agua Cap. 6-1.

## **1.4 Objetivos**

### **Objetivo general.**

Evaluar el porcentaje de eficiencia de los procesos unitarios, y la calidad del agua de la planta potabilizadora Tamulasco.

### **Objetivos específicos.**

1. Identificar la calidad microbiológica y fisicoquímica, del afluente de la planta potabilizadora Tamulasco.
2. Evaluar la eficiencia de reducción de los parámetros físicos (Turbidez y sólidos totales) en su paso por los procesos unitarios (Desarenador, Floculador, Sedimentador y Filtro.).
3. Evaluar el porcentaje de eficiencia de reducciones de los parámetros microbiológicos, químicos y físicos del efluente de la planta potabilizadora Tamulasco.
4. Evaluar la eficiencia de la dosis del coagulante aplicado en la planta potabilizadora Tamulasco, mediante la Técnica de jarras

## CAPÍTULO II

### MARCO TEORICO

#### **2.1 Antecedentes de la Planta Potabilizadora Tamulasco.**

La principal fuente superficial de abastecimiento de agua potable en El Salvador es el Río Lempa, cuya agua es tratada en la Planta Potabilizadora Las Pavas, la cual está dirigida por La Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), que abastece la zona metropolitana de San Salvador, no obstante esta no puede abastecer con el vital líquido a toda la población, por tal razón fue necesario buscar nuevas fuentes de abastecimiento, así como el diseño y construcción de nuevas plantas potabilizadoras para abastecer a una cantidad mayor de población.

Una de las fuentes superficiales seleccionadas para su posterior tratamiento fue el Río Tamulasco efluente del Río Lempa que finaliza en el Cerrón grande, ubicado en el municipio de Chalatenango, Departamento de Chalatenango, para la cual se diseñó un sistema de tratamiento para abastecer a la población de la zona urbana del Municipio de Chalatenango.

El cual cuenta con una población de 192,788 habitantes, y una población de 128,640 habitantes equivalente a un 66.7 % en el área rural y una población 64,148 habitantes en la zona urbana equivaliendo a un 33% de la población total. Una extensión territorial de 131.80 km<sup>2</sup> está distribuida de tal manera que tiene un área rural de 131.05 km<sup>2</sup> aproximadamente y una área urbana de 0.75 km<sup>2</sup> aproximadamente<sup>6</sup>.

En el caso específico de La Planta Potabilizadora Tamulasco está clasificada como una planta de tratamiento de agua superficial, siendo su fuente principal el “Río Tamulasco”, la cual fue fundada en el año 1983, teniendo un caudal promedio de producción de 55 l/s en

---

<sup>6</sup>Sexto censo de población y Quinto de vivienda año 2007 Ministerio de Economía dirección de estadísticas y CENSOS EL SALVADOR (Cuadro N°1 Población Total y Distribución porcentual, extensión territorial y densidad de población).

estación seca y un caudal de 75 l/s en estación lluviosa, abasteciendo una población de 64,148 habitantes del área urbana.

A continuación se presentan los datos generales de la Planta Potabilizadora Tamulasco:

- Reducción de Sólidos gruesos (Bocatoma).

La bocatoma de donde se abastece la Planta Potabilizadora Tamulasco se encuentra sobre el cauce del Río Tamulasco, en caserío La Joya, cantón Chiapas, Municipio de Chalatenango.

El terreno donde está ubicada la bocatoma, junto con la cisterna y sistema de bombeo hacia la planta potabilizadora, es propiedad de ANDA, cuenta con una superficie de 2,161.15 m<sup>2</sup> y una elevación sobre el nivel del mar de 437 metros<sup>7</sup>. Debido a la diferencia de nivel entre la bocatoma, que es más bajo, y la planta potabilizadora, se hace necesario bombear el agua cruda captada en la bocatoma hacia la planta potabilizadora. (Las coordenadas geográficas del sitio donde se encuentra la bocatoma Ilustración N°1) son las siguientes:

- 14° 02' 35.02'' N
- 88° 55' 1.02'' W

---

<sup>7</sup> Manual de amenazas y riesgos para la Planta Potabilizadora Tamulasco, Departamento de Producción, Región Central.



*Figura N° 1. Ubicación de la Bocatoma de la Planta Potabilizadora Tamulasco.*

➤ Instalaciones de la Planta Potabilizadora Tamulasco.

La Planta Potabilizadora de Agua Tamulasco, se encuentra ubicada en Barrio El Calvario en el Municipio de Chalatenango, su acceso principal es a través de la calle que de Chalatenango conduce hacia la Comunidad Las Vueltas.

El terreno donde se encuentra es propiedad de ANDA y posee una superficie de 13,601.69 m<sup>2</sup>, con una elevación sobre el nivel del mar de 478 (msnm)<sup>8</sup>. Las coordenadas geográficas del sitio (Figura N°2) donde se encuentra la planta potabilizadora son:

<sup>8</sup> Manual de amenazas y riesgos para la Planta Potabilizadora Tamulasco, Departamento de Producción, Región Central.

- 14° 02' 36.31'' N
- 88° 55' 44.14'' W



*Figura N° 2. Ubicación de la Planta Potabilizadora Tamulasco*

Los colindantes de las instalaciones de la planta son:

- Al Sur Poniente, a Teresa de Peraza con Juan Trujillo y Manuel Mena;
- Al Norte, Amílcar Díaz y Carlos Estrada;
- Al Este, calle de por medio, a Mila González y Carlos Aparicio y
- Al Oeste, a Evangelina Rodríguez y Ovidio Urbina.

## **2.2 Base Teórica Científica**

### **2.2.1 Importancia de la Evaluación de la Calidad del Agua como suministro:**

La calidad del agua se puede ver comprometida por diferentes factores ya sea por el tipo de fuente, o por el tratamiento que se le dará en las plantas potabilizadoras por lo tanto se debe establecer un plan de evaluación de vigilancia y monitoreo constante de la carga microbiológica y fisicoquímico de la fuente y de la planta de potabilización, en el que se incluya:

- La evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua en la fuente.
- La evaluación de medidas de control de calidad en la planta potabilizadora.
- Los procedimientos rutinarios en el manejo, control y mantenimiento de la planta.
- La evaluación de parámetros físicos en el efluente de los procesos unitarios que conforman la planta.
- La evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del efluente de la planta potabilizadora.

Por lo que la gestión de un plan de evaluación integrado por la vigilancia y monitoreo será una medida preventiva, para brindar un servicio de buena calidad a la población, enfocado en la inspección sanitaria para el control de los factores que afecten la calidad del agua de la fuente y la planta potabilizadora, proporcionando un suministro de agua como uno de los elementos que garantice la salud pública.

➤ **Importancia Epidemiológica de la Calidad del Agua para el ser Humano**

El agua de consumo humano ha sido definida por la Organización Mundial para la Salud (OMS) como “*adecuada para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal*”<sup>9</sup>. Está implícito en esta definición el requerimiento de que el agua no debe presentar ningún tipo de riesgo que pueda causar irritación química, intoxicación o infección microbiológica que sea perjudicial a la salud humana.

La importancia del agua de bebida como vehículo de dispersión de enfermedades ha sido largamente reconocida. La mayor parte de las enfermedades prevalentes en los países en desarrollo, donde el abastecimiento de agua y el saneamiento son deficientes, son causadas por bacterias, amebas, virus y helmintos<sup>10</sup>. Estos organismos causan enfermedades que varían en severidad y van desde ligeras gastroenteritis a severas, y algunas veces, a fatales enfermedades de proporciones epidémicas.

**Tabla 1 Epidemiología del Agua.**

<b>Enfermedades transmitidas por el consumo de agua sin previo tratamiento.</b>	
<b>Agentes infecciosos</b>	<b>Enfermedades.</b>
Bacterias.	Cólera.
	Fiebre tifoidea y paratifoidea.
	Disentería bacilar.
	Enfermedad es diarreica.
Virus.	Hepatitis A y E.
	Enterovirus.
	Poliomielitis.
Parásitos.	Amibiasis intestinal.
	Giardiasis.
	Criptosporidiosis.
	Esquistosomiasis. (Fiebre de caracoles).
	Balantidiosis.
	Himenolepiasis.

*Fuente: Elaboración Propia.*

<sup>9,12</sup> Guía para la calidad del agua de la OMS Vol.1 Capítulo 2 Las Guías: Un Marco para la seguridad del agua de consumo.

Por lo tanto en países como El Salvador la identificación de las enfermedades transmitidas por el agua, es uno de los aspectos tomados en cuenta en el calendario epidemiológico del Ministerio de Salud (MINSAL), ya que la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua son los factores más importantes para el consumo del vital líquido, la vigilancia y el monitoreo constante de las plantas potabilizadoras permiten el aseguramiento de la calidad del agua que se produce en ellas.

### **2.2.2 Tipos de Fuentes y Tratamiento para la Potabilización de Agua.**

En el medio ambiente existen diversas fuentes de agua que se encuentran de manera natural, siendo las principales fuentes subterráneas y superficiales.

- **Aguas Subterráneas**

Las aguas subterráneas son la fuente principal para los sistemas pequeños. Por lo general, las aguas subterráneas tienen una calidad microbiológica mejor y más uniforme que las aguas superficiales por la purificación natural mediante el percolado y almacenamiento prolongados. Sin embargo, varios sistemas de agua subterránea se han visto afectados por el almacenamiento inadecuado de sustancias químicas y disposición de residuos. Por lo general, las aguas subterráneas requieren un tratamiento mínimo antes de su uso.

- **Aguas superficiales**

Debido a que las aguas superficiales están sujetas a la contaminación natural y artificial, la calidad puede variar considerablemente con el tiempo, se requiere un tratamiento intensivo

para garantizar su permanente seguridad. Por lo general, el tratamiento es más complejo que las aguas subterráneas y requiere operación y mantenimiento más diligente y costoso<sup>11</sup>.

➤ Tipos de tratamiento para potabilización de agua.

Los tratamientos para el agua potable consisten en una serie de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda con el fin de remover o reducir sus contaminantes y lograr que sus características microbiológicas y fisicoquímicas cumplan las especificaciones contenidas en las normas. Por lo tanto el agua debe ser tratada para evitar daños que repercutan a la salud de la población de las áreas abastecidas.

Algunos de los procesos de tratamientos más comunes para aguas superficiales y subterráneas son:

1. Pre tratamiento
2. Desarenador
3. Aireación
4. Coagulación y Floculación
5. Sedimentación y Clarificación
6. Filtración
7. Desinfección

### **2.2.3 Procesos Unitarios para Aguas Superficiales en Plantas Potabilizadoras.**

Las aguas procedentes de los ríos, necesitan un tratamiento complejo y caro antes de ser suministradas a los consumidores, debido a las cargas apreciables de contaminantes por su procedencia, la cual varía según la estación del año en que se encuentre ya sea seca o

---

<sup>11</sup> Manual del Inspector 2001, Como realizar inspecciones sanitarias en pequeños sistemas de agua, Cap.3-1

lluviosa, ya que las precipitaciones incrementan las cantidades de materia sólida como tierra, polvo, ramas, biocidas y microorganismos, en comparación a la estación seca. Las emisiones domésticas e industriales también influyen en la contaminación de las aguas superficiales. Los tratamientos para potabilizar el agua, se pueden clasificar de acuerdo con, a los componentes o impurezas a eliminar.<sup>12</sup>

En tal sentido, se puede realizar una lista de procesos unitarios necesarios para la potabilización del agua en función de sus componentes.

De esta forma, la clasificación sería la siguiente:

**Tabla 2 Tipo de Plantas Potabilizadoras para agua de consumo según el grado de tratamiento.**

Grado de Tratamiento	Composición del Tratamiento	Descripción del proceso
TIPO A1	Tratamiento Físico simple + Desinfección	Filtración rápida + Desinfección.
TIPO A2	Tratamiento Físico normal + Tratamiento Químico.	Precloración + Coagulación / Floculación + Decantación + Filtración + Desinfección.
TIPO A3	Tratamiento Físico y Químico intenso.	Cloración al Breakpoint + Coagulación / Floculación + Decantación + Filtración + Afino con Carbón activo + Desinfección.

*Fuente: Pre-Treatment Field Guide: American Water Works Association. 2007.*

Los procesos unitarios empleados en las plantas potabilizadoras de El Salvador para aguas superficiales, se ubican en el grado de tratamiento TIPO A2, debido a la calidad microbiológica y fisicoquímica de las fuentes seleccionadas.

<sup>12</sup> Tratamiento Utilizados en Plantas Potabilizadoras, Ing. Mynor Romero

La planta seleccionada para la investigación, es una planta potabilizadora para aguas superficiales cuya fuente de abastecimiento es el Río Tamulasco, por lo anterior se hará énfasis en los procesos unitarios para plantas potabilizadoras de aguas superficiales.

- **Etapas en el proceso de tratamiento aplicado en plantas potabilizadoras para aguas superficiales.**

### **Etapa I: Reducción de Sólidos Gruesos:**

Los procesos de tratamiento más comunes para aguas superficiales, son proceso físico, o mecánico que remueve sólidos de mayor tamaño, para evitar la saturación de cada uno de los procesos unitarios que componen las plantas potabilizadoras.

- **Reducción de Sólidos de mayor tamaño**

El agua es captada de un curso superficial mediante estructuras acopladas a un canal de derivación, el cual se conoce como bocatoma,<sup>13</sup> durante el proceso de captación se utilizan rejas para proteger equipos delicados, como bombas hidráulicas.

- **Rejas**

De acuerdo con el tipo de agua que llega, y del contenido de materiales gruesos que se quieren retener fuera de las instalaciones, las rejas pueden ser: de limpieza manual; o, de limpieza mecánica.

La operación de desbaste puede ser más o menos eficaz, según la separación entre los barrotes de la reja:

- Desbaste fino, con una separación de los barrotes de 3 a 10 mm.
- Desbaste medio, con una separación de 10 a 25 mm entre los barrotes.
- Pre desbaste, con una separación de 50 a 100 mm.

---

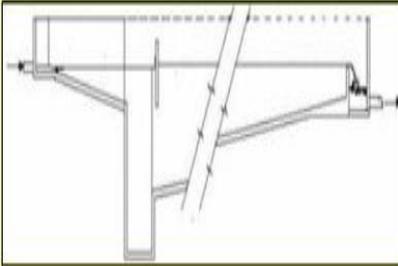
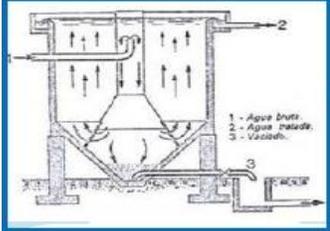
<sup>13</sup> Manual de hidráulica de fluidos capítulo 9.

Es aconsejable, en función de la cantidad de material que trae la corriente, colocar más de una reja, para ir reteniendo sucesivamente el material cada vez más fino<sup>14</sup>.

### ➤ Desarenador

El Desarenador es una estructura hidráulica que tiene como función remover las partículas de cierto tamaño que la captación desde una fuente superficial permite pasar. Su objetivo principal es separar del agua cruda la arena y partículas en suspensión gruesa, con el fin de evitar que se produzcan depósitos en los procesos posteriores de tratamiento. El desarenado se refiere normalmente a la remoción de las partículas superiores a 0,2 mm<sup>15</sup>.

**Tabla 3 Clasificación de los desarenadores según su tipo.**

Tipo	Descripción	Forma
Convencional	Es de flujo horizontal, el más utilizado en las plantas de tratamiento. Las partículas se sedimentan al reducirse la velocidad con que son transportadas por el agua. Son generalmente de forma rectangular y alargada, dependiendo en gran parte de la disponibilidad de espacio y de las características geográficas. La parte esencial de estos es el volumen útil donde ocurre la sedimentación.	 <p data-bbox="1027 1360 1458 1388">Figura N° 3 Desarenador Convencional.</p>
Desarenador de flujo vertical	El flujo se efectúa desde la parte inferior hacia arriba. Las partículas se sedimentan mientras el agua sube.	 <p data-bbox="1036 1724 1487 1751">Figura N° 4 Desarenador de flujo vertical.</p>

<sup>14</sup> Manual de hidráulica Capítulo 9.

<sup>15</sup> Manual del Agua Su naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones. Tomo 2 .1993. NALCO.

<p>Tipo Vórtice:</p>	<p>Los sistemas de desarenación de tipo vórtice se basan en la formación de un vórtice (remolino) inducido mecánicamente, que captura los sólidos en la tolva central de un tanque circular.</p>	 <p>Figura N° 5 Desarenador tipo Vórtice.</p>
----------------------	--	--

*Fuente: Elaboración Propia.*

## **Etapas II: Coagulación y Floculación.**

Es el proceso fisicoquímico para mejorar la eficiencia de reducción de material particulado y de coloides de los siguientes procesos de sedimentación o filtración. La coagulación incluye la dosificación de sustancias químicas para desestabilizar las partículas suspendidas con cargas similares. Esto permite que se unan y que se inicie la formación de flóculos. La floculación, que en parte se superpone al proceso de coagulación, requiere la mezcla suave de las partículas desestabilizadas para formar flóculos sedimentables<sup>16</sup>.

La aplicación del coagulante en el agua bruta se emplea para la sedimentación de sólidos suspendidos y proporcione una clarificación efectiva<sup>17</sup>, para que la precipitación del floculo sea efectiva en las plantas potabilizadoras idealmente deberían contar con los siguientes componentes Canaleta Parshall, Distribuidor, Floculadores, Sedimentadores, y Filtros.

### **➤ Canaleta Parshall**

La canaleta Parshall es una estructura hidráulica que cumple un doble propósito en las plantas potabilizadora de agua, de servir como medidor de caudales y en la turbulencia que se genera en la garganta de la misma servir de punto de aplicación de coagulantes.<sup>18</sup>

<sup>16</sup> Manual del Inspector 2001, Como realizar inspecciones sanitarias en pequeños sistemas de agua, Cap.6-3

<sup>17</sup> Tratamientos de agua utilizados en plantas potabilizadoras, Ing. Mynor Romero

<sup>18</sup> Manual de Mecánica de Fluidos

Consta de cuatro partes principales:

- Transición de entrada.
- Sección convergente
- Garganta.
- Sección divergente.

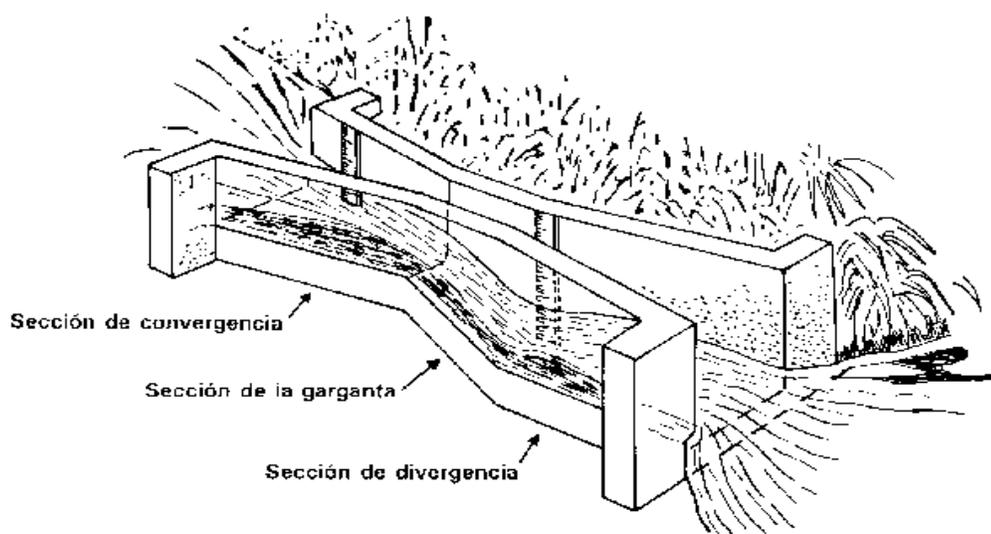


Figura N° 6 Canaleta Parshall

En la transición de entrada, el piso se eleva sobre el fondo original del canal con una pendiente suave y las paredes se van cerrando, ya sea en línea recta o circular. En la sección convergente, el fondo es horizontal y el ancho va disminuyendo, en la garganta el piso vuelve a bajar para terminar con otra pendiente ascendente en la sección divergente. En cualquier parte del aforador, desde el inicio de la transición de entrada hasta la salida, el aforador tiene una sección rectangular<sup>19</sup>.

<sup>19</sup> Canal Parshall, Edmundo Pedroza González, en coordinación con especialistas en hidráulica del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), y de la Subdirección General de Administración del Agua de la Comisión Nacional del Agua (CNA).

En relación al proceso de coagulación es importante señalar que:

La neutralización de la carga eléctrica del coloide, objeto de la coagulación se realiza aplicando al agua determinadas sales de aluminio o hierro (coagulantes); generalmente se aplica Sulfato de Aluminio o Poli cloruro de Aluminio, de forma que los cationes trivalentes de aluminio o hierro neutralizan las cargas eléctricas negativas que suelen rodear a las partículas coloidales dispersas en el agua. Las reacciones de coagulación son muy rápidas duran fracciones de segundo desde que se ponen en contacto las partículas con el coagulante.

Un factor que interviene mucho, es la temperatura del medio y del agua, el pH que generalmente en plantas potabilizadoras que tratan aguas superficial oscila entre niveles de 5 a 8.

El movimiento contribuye a la estabilidad, y al aglutinamiento de las partículas en agregados mayores formando “Coloides”<sup>20</sup>. Para posibilitar las colisiones entre partículas es necesario establecer gradientes hidráulicos, recurriendo a la mezcla y agitación que generalmente se da en este componente.

### ➤ **Coagulación**

Una de las fases principales en el tratamiento del agua es la eliminación de suspensiones coloidales. Las operaciones mediante las cuales se facilita la sedimentación de estas suspensiones y partículas para su posterior eliminación se conocen con el nombre de coagulación y floculación. El control de estos en una planta de potabilización de agua, es una de las fases más importantes y difíciles del proceso general<sup>21</sup>.

Las aguas naturales contienen sustancias tanto disueltas como en suspensión, ambas pueden ser orgánicas e inorgánicas. Las materias en suspensión pueden tener un tamaño y densidad

---

<sup>20</sup> Manual del Agua Su naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones. Tomo 2 .1993. NALCO.

<sup>21</sup> Manual de Mecánica de Fluidos

tal que pueden eliminarse del agua por simple sedimentación, pero algunas partículas son de un tamaño tan pequeño y tienen una carga eléctrica superficial que las hace repelerse continuamente impidiendo su aglomeración y formación de una partícula más pesada y poder así sedimentar. Estas partículas, con una dimensión que suele estar comprendida entre  $0,2\mu\text{m}$  y  $1\mu\text{m}$ , son verdaderas partículas coloidales.

Los coloides se clasifican en hidrofóbicos (adversos al agua) e hidrofílicos (afines al agua). Los coloides hidrofóbicos no reaccionan con el agua este es el caso de la cerámica natural, los hidrofílicos reaccionan con el agua este es el caso de las sustancias que producen el color, la importancia de estos en el tratamiento del agua es que reaccionan químicamente con el agua y los hidrofóbicos no reaccionan con el coagulante<sup>22</sup>.

- Factores que afecta la coagulación

Para hablar de la floculación se deben conocer los principales factores que afecta la etapa anterior que es la coagulación la cual se describió brevemente, ya que si la aplicación y homogenización del coagulante no se realiza bien el resto de los procesos unitarios no cumplirán con sus objetivos específicos y correrán el riesgo de colapsar por lo que la calidad del agua no estará cumpliendo con los parámetros de la Norma Salvadoreña Obligatoria para el Agua Potable (NSO 13.07.01:08).

- Influencia del pH

El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua<sup>23</sup>.

Si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo de 6 a 8 entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; Por lo tanto la dosis requerida de coagulante es mayor

---

<sup>22</sup> Manual del Agua Su naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones. Tomo 2 .1993. NALCO.

<sup>23</sup> Tratamiento de agua utilizada en plantas potabilizadoras, Ing. Mynor Romero.

lo que implica un punto más a ser atendido por el técnico y los operadores de la planta para evitar que se dé acumulación superficial del coagulante.

- Influencia de la Temperatura del Agua.

La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta; temperaturas en un grado de 24°C a 31°C favorecen la activación del coagulante<sup>24</sup>.

Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de los flóculos.

- Influencia de la Dosis del Coagulante

La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así:

- ✓ Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microfloculos es muy escaso, por lo tanto la turbiedad residual es elevada ya que se aumentarían los sólidos suspendidos en las etapas siguientes y no cumplirían el objetivo de la coagulación.
- ✓ Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas, por lo tanto provoca una capa fina y densa de coagulante en la superficie del agua. Esta capa solo es retirada manualmente por lo que la cantidad óptima de aplicación se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra<sup>25</sup>.

---

<sup>24</sup> Manual del Agua Su naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones. Tomo 2 .1993. NALCO.

<sup>25</sup> Tratamiento del Agua Coagulación y Floculación Ing. Yolanda Andía Cárdenas.

- Técnicas para determinar la dosis del coagulante.

La prueba de jarras es un procedimiento de laboratorio para determinar la cantidad óptima en la aplicación del coagulante en agua potable. Este método permite realizar ajustes en el pH, las variaciones de las dosificaciones del coagulante se verán alterados por la velocidad del mezclado, la turbidez del agua bruta, temperaturas y pH. Una prueba de jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor.

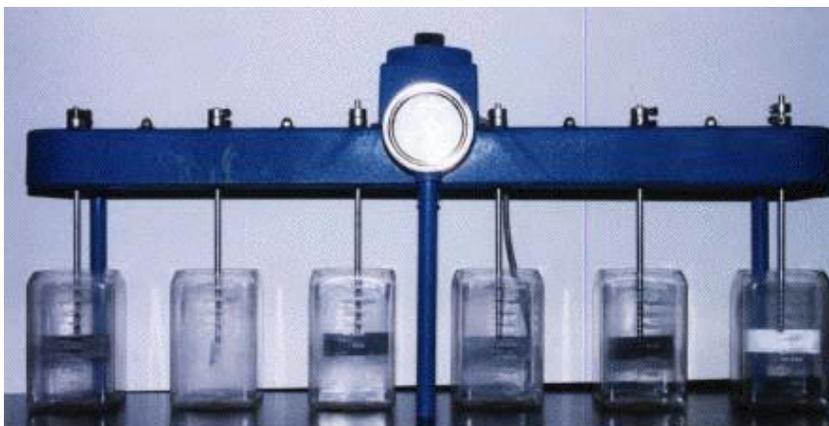


Figura N° 3 Equipo de prueba de Jarras

El aparato de prueba de jarra (Figura N°10) contiene seis remos para remover el contenido de seis envases de 1 litro. Un envase actúa como un control, mientras las condiciones de funcionamiento puede variar entre los restantes cinco contenedores. Un medidor de RPM en la parte superior central del dispositivo permite el control uniforme de la velocidad de mezclado en todos los contenedores.

---

- Influencia de la Mezcla

El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecho y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente. Al homogenizar bien el coagulante en el agua mejorara la formación del floculo evitando sobre cargar las etapas de sedimentación y filtración, para que la desinfección sea efectiva y tenga efecto residual<sup>26</sup>.

- Influencia de la Turbiedad

Es una forma indirecta de medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido; mide el efecto de la dispersión que estas partículas presentan al paso de la luz; y es función del número, tamaño y forma de partículas. La turbiedad del agua superficial es gran parte debido a partículas de lodos de sílice de diámetros que varían entre 0.2 a 5µm. La coagulación de estas partículas es muy fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo 5 a 8.

La variación de la concentración de las partículas permite hacer las siguientes predicciones:

- ✓ Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad más baja, que corresponde a la dosis óptima.
- ✓ Cuando la turbiedad aumenta se debe adicionar la cantidad de coagulante no es mucho debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario

---

<sup>26</sup> Tratamiento del Agua Coagulación y Floculación Ing. Yolanda Andía Cárdenas

cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta.

- ✓ Cuando la turbiedad es muy alta, conviene realizar un pre sedimentación natural o forzada (incluir el desarenador), en este caso con el empleo de un polímero aniónico<sup>27</sup>.



Figura N° 4 Sedimentación del Flóculo en una Jarra.

### ➤ **Floculación**

La segunda etapa es la floculación esta somete a los microflóculos (coloides) a una agitación lenta la cual se da en el Floculador está permite la unión de estos agregados mayores, la cual requiere una menor gradiente de agitación y evitar los cortos circuitos a lo largo del proceso impidiendo así la rotura y disgregación de los flóculos, si la estructura del floculo se rompe es muy difícil que retornen a su estado inicial<sup>28</sup>.

La floculación se ve mejorada con el empleo de coadyuvantes de esta, conocidos como Poli electrólitos, estos suelen se macromoléculas de polímeros orgánicos (tipo poliacrilamidas).

---

<sup>27</sup> Tratamiento del Agua Coagulación y Floculación Ing. Yolanda Andía Cárdenas

<sup>28</sup> Manual del Agua Su naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones 1993. NALCO Tomo.2.

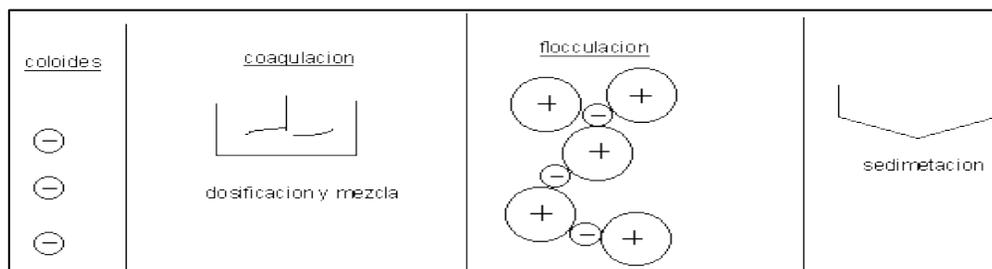


Figura N° 5 Proceso de formación de un floculo.

La formación y descripción del floculo a lo largo del proceso es muy importante ya que de esto dependerá la efectividad de las etapas siguiente (sedimentación, Clarificación y Filtración).

**Tabla 4 Clasificación de los floculos por Willcomb.**

INDICE	DESCRIPCION DEL INDICE DE WILLCOMB
0	Flóculo coloidal. Sin ninguna señal de aglutinación
2	Visible. Flóculo muy pequeño, casi imperceptible.
4	Disperso. Flóculo bien formado, pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lento).
6	Claro. Flóculo de tamaño relativamente grande, pero que precipita con lentitud
8	Bueno. Flóculo que se deposita fácil, pero no completamente.
10	Excelente. Flóculo que se deposita completamente, dejando el agua cristalina.

Fuente: Association, American water Works Pre-Treatment Field Guide.

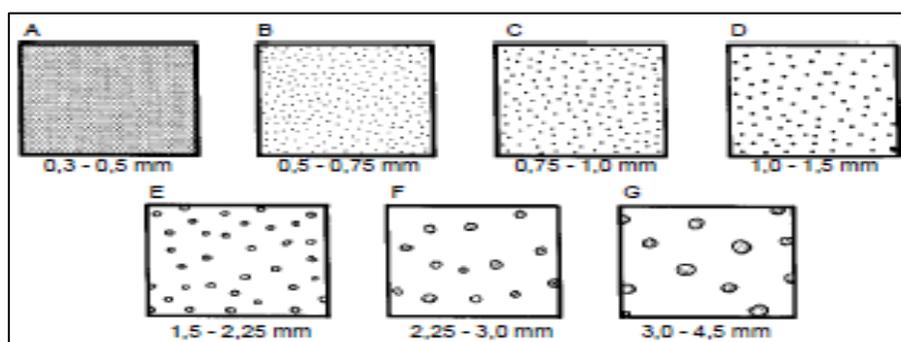
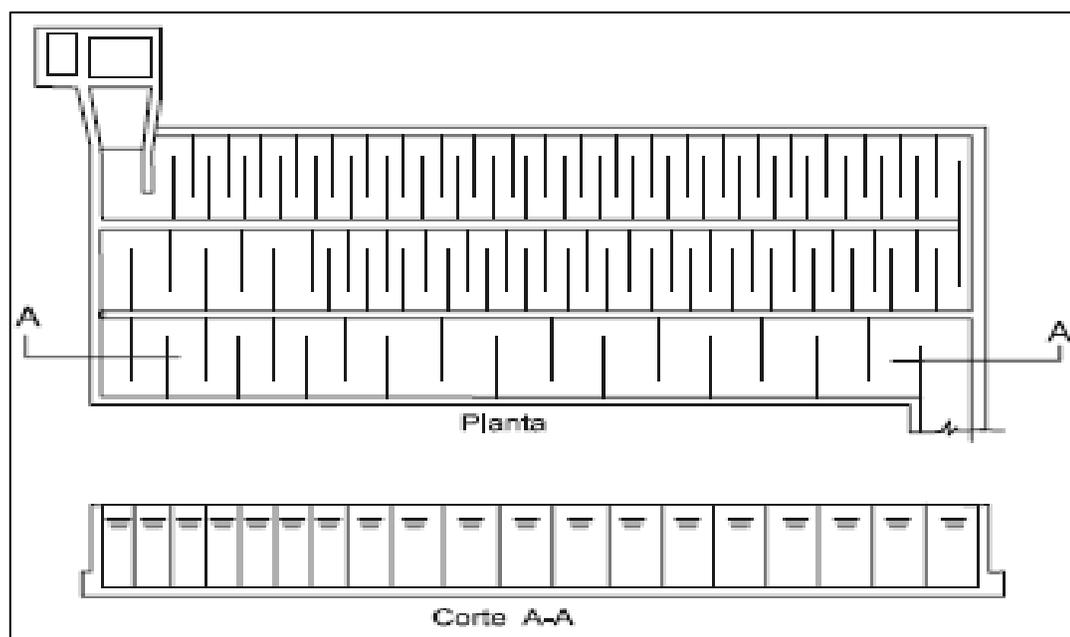


Figura N° 6 Índices de Willcob para determinar el tamaño del floculo.

En cuanto al color del agua suele ser de naturaleza orgánica pudiendo ser coloidal y también formando soluciones verdaderas, las principales sustancias causantes del color en el agua son las sustancias húmicas formadas principalmente por los ácidos fúlvicos y húmicos, también puede ser originado por diversas sustancias orgánicas más complejas. El color también puede deberse a hidróxidos metálicos tales como los de hierro y los de manganeso<sup>29</sup>.



*Figura N° 7 Floculadores de pantallas.*

### ➤ Factores que afectan la floculación

- Gradiente de velocidad, Cortos circuitos o espacios muertos

El gradiente de velocidad se produce exclusivamente en los puntos de paso, los cuales están localizados en el fondo de la unidad, esta se ve afectada por diferentes factores de la estructura misma (Floculadores). Los principales elementos que constituyen el Floculador son las mamparas las cuales reducen la velocidad del agua, por lo tanto de la

<sup>29</sup> Association, American Water Works Pre-Treatment Field Guide

distancia entre estas dependerá la existencia de corto circuito o espacios muertos, los cuales provocaran dos situaciones:

1. Gradiente de velocidad baja y corto circuitos: Provocara el aumento de floculos, estancamiento y sedimentación de floculos dentro de la estructura.
2. Gradiente de velocidad alta y corto circuitos: Provocaran el choque del floculo ya formado entre mamparas a lo largo de la estructura, permitiendo la ruptura del aglomerado el cual no volverá a retornar a su estado inicial provocando el aumento de microflóculos y sobre carga del sedimentador.

Por lo tanto la eficiencia del Floculador dependerá estrictamente del diseño y construcción de la estructura y de la adecuada dosis de coagulante que se aplique para tratar el agua, el cual deberá cumplir con su función para evitar la saturación o colapso del sedimentador y filtro.

### **Etapa III: Sedimentación**

#### **➤ Sedimentación**

La misión de la sedimentación es eliminar partículas, ya sea por decantación o flotación, partículas que en el caso del tratamiento del agua pueden proceder de sustancias disueltas, que por la vía de la oxidación han pasado a insolubles ( es el caso del hierro y manganeso disueltos, que por oxidación pasan a su estado oxidado insoluble ) o por las propias partículas coloidales en suspensión existentes en el agua bruta, la mayoría de las cuales por coagulación -floculación han pasado a ser sedimentables. Otras sustancias disueltas pueden quedar adheridas o adsorbidas por los coágulos-floculos y son eliminadas de esta forma.

Siguiendo la ley de Stokes para la sedimentación, el tiempo necesario para la sedimentación de una partícula de arena de 1 mm. De diámetro, sería de 10 segundos, para una partícula de arena fina de 0,1 mm, sería de 2 minutos y para una partícula de arcilla de 10  $\mu\text{m}$ , el

tiempo sería 2 horas. Para una bacteria ( $1\mu\text{m}$ ), el tiempo sería unos 8 días y para las partículas coloidales de tamaños entre 100 nm y 1 nm, el tiempo en sedimentar estaría entre 2 y 200 años. De ahí la necesidad de una agregación de las partículas de forma que aumente el tamaño y la velocidad de sedimentación, que es lo que se consigue con la coagulación y floculación.

Si la concentración del floculo es pequeña, estos en su caída y sedimentación, no se comportan como una partícula granular independiente, sino que, debido al coagulante empleado su sedimentación está afectada en parte por la naturaleza de éste, considerándose por tanto, como una "sedimentación difusa". Cuando la concentración es más elevada (del orden de 0,5 gr/l), la sedimentación de los flóculos en conjunto se ve frenada, distinguiéndose más fácilmente la separación entre la masa de flóculos y el líquido. A este tipo de sedimentación se le denomina como "sedimentación en bloque o pistón".

Las partículas en suspensión en un líquido en reposo están sometidas a dos fuerzas contrarias:

- El peso de la partícula
- Las fuerzas de arrastre que la desplazan en el líquido
- Sedimentación o Decantación de flujo horizontal:

Un decantador de flujo horizontal no es otra cosa que una galería horizontal, siendo la forma más simple un paralelepípedo rectangular.

Procesos de sedimentación en flujo Horizontal:

- a) La sedimentación ocurre tal como lo haría en un recipiente con líquido en reposo y de la misma profundidad.
- b) El flujo es estable y entrando en la zona de sedimentación, la concentración de las partículas en suspensión de cada tamaño es uniforme en toda la sección transversal perpendicular al flujo.

- c) La velocidad horizontal del agua es constante lo mismo que la velocidad de sedimentación de cada partícula, por lo que la trayectoria de las partículas en el decantador es una línea recta.
- d) La velocidad horizontal del agua en el decantador será inferior a la velocidad de arrastre de los lodos, considerando por tanto que las partículas que alcancen el fondo quedaran allí retenidas.

Los sedimentadores de flujo horizontal están dentro del tipo de sedimentador conocidos como estáticos, siendo muy empleados los rectangulares horizontales.

Los lodos depositados en el fondo de los sedimentadores, son arrastrados por un sistema de rasquetas a las zonas de evacuación o bien se extraen directamente a través de un sistema de fosas de recogida repartido por toda la superficie del fondo del sedimentador. El agua es decantada por canaletas o vertederos situados en el extremo opuesto a la entrada del agua floculada.

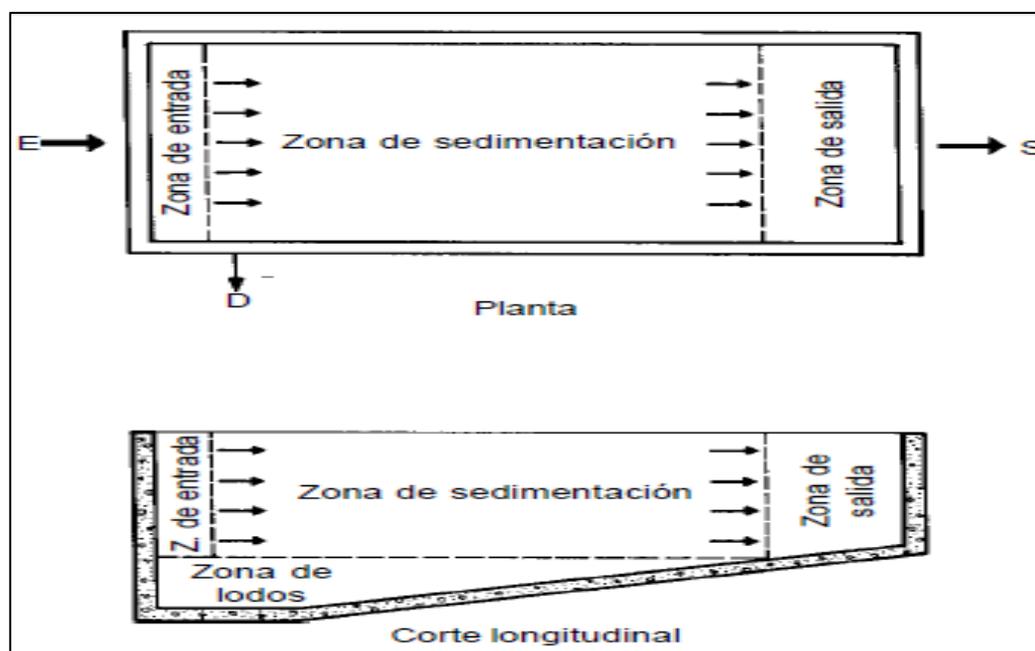


Figura N° 8 Flujo de un Sedimentador.

La clarificación propiamente dicho ocurre en el final del sedimentador que recibe la suspensión proveniente de la zona de contacto y tiene por objetivo separar la fase flotante y efluente tratado (agua).

#### ➤ **Clarificadores**

Los sistemas de descarga del agua tratada en el sedimentador pasan por mecanismos especiales, como canaletas provistas de ranuras que las atraviesan longitudinalmente por su parte superior minimizando la formación de corrientes de agua. El parámetro más importante que debe ser considerado en el diseño de esta etapa, es el "flujo superficial" que es una medida del tiempo de residencia medio del fluido dentro del estanque, el componente donde se da todo este proceso se denomina Clarificadores localizándose al final de los sedimentadores.

### **Etapa IV Filtración**

#### ➤ **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 potabilizadora de agua y por consiguiente, es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente con los estándares de potabilidad<sup>30</sup>.

El objetivo básico de la filtración es separar las partículas y microorganismos objetables, que no han quedado retenidos en los procesos coagulación, floculación y sedimentación. En consecuencia el trabajo que los filtros desempeñan, dependen directamente de la mayor o menor eficiencia de los procesos preparatorios.

---

<sup>30</sup>Manual de Plantas de Tratamiento para Agua Potable, *Ing. Víctor Maldonado Yactayo. Cap. 9 Filtración.*

La filtración puede efectuarse en muchas formas: Con baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos), en medios porosos (pastas arcillosas, papel de filtro) o en medios granulares (arena, antracita, granate o combinados), con flujo ascendente de abajo hacia arriba o descendente de arriba hacia abajo y mixto (parte ascendente y parte descendente). Por último el filtro puede trabajar a presión o por gravedad, según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante. A continuación se describirán los filtros lentos y rápidos ya que son los más utilizados en el país (ver tabla 5)<sup>31</sup>.

**Tabla 5 Clasificación de los filtros<sup>32</sup>.**

Según la velocidad de filtración.	Según el medio filtrante usado.	Según el sentido del flujo.	Según la carga sobre el lecho.
Rápidos 120-360 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día	1. Arena (h=60-75 cm)	Ascendentes	Por gravedad
	2. Antracita(h=60-75 cm)		
	3. Mixto: Antracita (35-50 cm)	Descendentes	Por presión
	4. Mixtos: Arena Antracita, Granate.	Flujo Mixto	
Lentos 7-14 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día	Arena (h=60-100cm)	Descendente Ascendente Horizontal	Por gravedad

*Fuente: Teoría y Práctica de la purificación del Agua.*

- Mecanismos responsables de la filtración.

El agua ya sea sedimentada o no que entra a un filtro contiene una variedad muy grande de partículas en suspensión. Su tamaño puede variar desde flóculos relativamente grandes de 1 mm de diámetro hasta coloides, bacterias y virus de tamaños inferiores a 1  $\mu$ m. Dentro de esta gama, se pueden encontrar partículas electropositivas, electronegativas y neutras, o

<sup>31</sup> Teoría y Práctica de la Purificación del Agua, Jorge Arboleda Valencia. Tomo 2<sup>3</sup> Edición. Cap.8

<sup>32</sup>

microflóculos con polímeros absorbidos. Todo este conjunto queda en mayor o menor proporción retenidos en el lecho filtrante, preferentemente adherido a la superficie de sus granos formando una película alrededor de ellos, cuya resistencia al esfuerzo cortante producido por la fuerza de arrastre del flujo es función de la magnitud de las fuerzas que mantienen pegadas las partículas a cada elemento del medio granular. Si estas fuerzas son débiles, el floculo será arrastrado por el flujo y penetrará cada vez más hondo hasta que eventualmente aparecerá en el efluente. Si son en cambio fuertes, el floculo quedará obstaculizando temporalmente el paso del agua.

El floculo grande, cuyo volumen es menor que el de los poros del medio granular, queda retenido por simple cernido en los intersticios del lecho; en cambio, el material finamente dividido cuyo orden de magnitud es varias veces menor que el de los poros (las bacterias son hasta 100 veces menores que ellos) queda removido a una variedad de fenómenos.

Las partículas de menor diámetro que los poros del medio filtrante, entran libremente en el material granular, y tienen que atravesar una distancia relativamente grande antes de poder adherirse a los granos que forman dichos poros. El proceso de filtración por tanto se puede considerar que ocurre en dos etapas distintas pero complementarias:

1. La de transporte de las partículas dentro de los poros.
2. La de la adherencia a los granos del medio.

EL transporte de partículas es debido a fenómenos físicos e hidráulicos, influenciados por los factores que gobiernan la transferencia de masa. La adherencia es debido a los fenómenos de acción superficial que son influenciados por parámetros físicos y químicos<sup>33</sup>. Los mecanismos que pueden realizar el transporte son:

---

<sup>33</sup> Teoría y Práctica de la Purificación del Agua, Jorge Arboleda Valencia. Tomo 2<sup>3</sup> Edición. Cap.8

- a. Cernido.
- b. Sedimentación.
- c. Intercepción.
- d. Difusión.
- e. Impacto Inercial.
- f. Acción hidrodinámica.

Los que pueden realizar la adherencia son:

- a. Fuerza de Van der Waals.
- b. Fuerza electroquímica.
- c. Puente químico.

Cuál de ellos es el que controla el proceso de filtración ha sido asunto de largos debates. Es indudable que no todos necesariamente tienen que actuar al mismo tiempo y que, en algunos casos, la contribución que uno o varios de ellos pueden hacer para retener el material suspendido, es quizás despreciable.

Pero hay que tener en cuenta que dada la complejidad del fenómeno, más de un mecanismo deberá entrar en acción para transportar y adherir los diferentes tamaños de partículas al medio granular<sup>34</sup>.

Los filtros se pueden dividir en dos tipos:

- Filtros Lentos Biológicos

Están contruidos de tal forma que el agua fluye muy despacio a través de un lecho de arena fina, quedando retenidas en la superficie del filtro las partículas de mayor tamaño,

---

<sup>34</sup> Teoría y Práctica de la Purificación del Agua, Jorge Arboleda Valencia. Tomo 2<sup>3</sup> Edición. Cap.8.

donde forman una capa biológica (Schmutzdecke) porosa muy delgada, pero con una gran superficie de contacto en sus poros, que favorece la adsorción de impurezas en sí misma o en la arena subyacente<sup>35</sup>. Estos filtros requieren una superficie muy extensa de filtración y una velocidad de circulación muy reducida, que suele oscilar entre 1,3 y 6,6 /m<sup>3</sup> · min. Una de las ventajas de este tipo de filtros es que pueden operar eficientemente sin pre desestabilización de las partículas del agua.

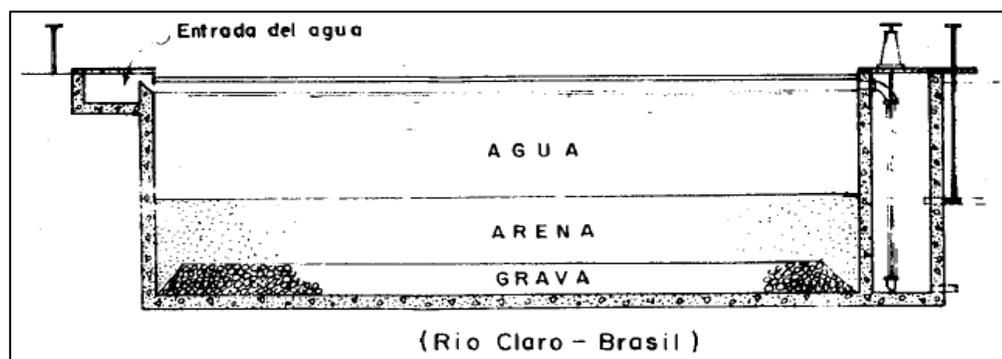
Cuando se pone en funcionamiento uno de estos filtros, el agua debe circular a su través a una velocidad muy baja, basta que se forme la película biológica en la capa superficial de la arena. Proceso que suele demorarse de 4 a 7 días, y es en este momento cuando el filtro puede comenzar a ser operativo. Con el tiempo, la acumulación de sustancias filtradas en la arena produce una pérdida de carga, que cuando es importante se hace necesaria la limpieza del filtro, la cual se realiza interrumpiendo su funcionamiento y procediendo al descabezado del mismo, operación que suele hacerse de forma manual escarbando y eliminando la capa superficial de arena hasta una profundidad que oscila entre 5 y 7 cm, en función de la colmatación que se haya producido, para posteriormente proceder a reponer la arena desechada. Una vez realizada esta operación, se vuelve a poner en funcionamiento el filtro teniendo en cuenta que no será efectivo hasta que se vuelva a formar la película biológica en su superficie.

Los principales inconvenientes de este tipo de filtros estriban, de una parte en la gran superficie de terreno necesaria para su instalación, teniendo en cuenta el escaso caudal de agua filtrada que proporcionan, y en que el precio de los terrenos aumenta el coste global del tratamiento del agua, y de otra, de la complejidad del mecanismo de limpieza. Asimismo proporcionan peores rendimientos en la eliminación de algas y color que otros tipos de filtros. Por contra, como ventajas hay que señalar que el mecanismo biológico de filtración es muy efectivo para la eliminación de micro contaminante, uno de los problemas más importantes de algunas aguas brutas con inestabilidad biológica, y que la reducción de

---

<sup>35</sup> Estudio sanitario del agua. Cap. Filtración Universidad de Granada. José Antonio López, Miguel Espingares García.

la turbidez inicial del agua y de los Coliformes llega a ser de hasta el 90 % y 99 % respectivamente. Pese a ello, la utilización de filtros lentos de arena, antaño muy usual, es poco frecuente hoy día<sup>36</sup>.



*Figura N° 9 Filtros Lentos.*

- Filtros rápidos de arena

Suelen estar diseñados como construcciones o pozos abiertos, rellenos de arena, en los que el agua pasa a su través por gravedad, estando calculados para operar con caudales de 80 a 160 l/m<sup>3</sup>. Los revestimientos del filtro pueden ser de cualquier material que resulte adecuado para el uso al que está destinado, fabricándose generalmente de hormigón o acero. El agua filtrada drena por conductos que se encuentran bajo un falso fondo perforado, conductos que están provistos de compuertas o válvulas que permiten, cuando la pérdida de carga es importante, el lavado de los filtros con agua ya depurada. Para ello, se inyecta a contracorriente, además del agua, aire comprimido, que rompe la estructura y compactación del filtro. En la parte superior del filtro se disponen unos canales de drenaje para facilitar la evacuación del agua sucia procedente de la limpieza.

<sup>36</sup> Estudio sanitario del agua. Cap. Filtración Universidad de Granada. José Antonio López, Miguel Espingares García.

La arena que actúa como medio filtrante suele reposar sobre un lecho de grava que impide que el material más fino pase al fondo del filtro, a la vez que actúa como distribuidor y compensador de corrientes durante las operaciones de lavado. El tamaño efectivo de la arena de la capa filtrante oscila entre 0,5 y 1,5 mm de diámetro, mientras que el tamaño de la grava de la base puede oscilar entre 35 y 130 mm, dispuesta en capas de menor a mayor grosor, siendo esta última la que reposa sobre el falso fondo. El espesor de las capas es variable en función del agua a tratar y del rendimiento que se quiera obtener de cada filtro en concreto. El espesor de la capa de arena puede oscilar entre 40 y 70 cm y el de las capas de grava entre 30 y 60 cm<sup>37</sup>.

En ocasiones pueden aparecer grietas y bolas de lodo en el seno de la arena que reducen la eficacia de la filtración, lo que indicaría que el lavado ha sido insuficiente. Se pueden eliminar descabezando la superficie de la capa filtrante o bien mediante el empleo de un cedazo que permita separarlas de la arena. Si la presencia de bolas de lodo pasa inadvertida, pueden formarse aglomerados de mayor tamaño que durante el lavado podrían llegar a penetrar en la arena y depositarse sobre la capa de grava<sup>38</sup>.

---

<sup>37</sup> Estudio sanitario del agua. Cap. Filtración Universidad de Granada. José Antonio López, Miguel Espingares García.

<sup>38</sup> Estudio sanitario del agua. Cap. Filtración Universidad de Granada. José Antonio López, Miguel Espingares García.

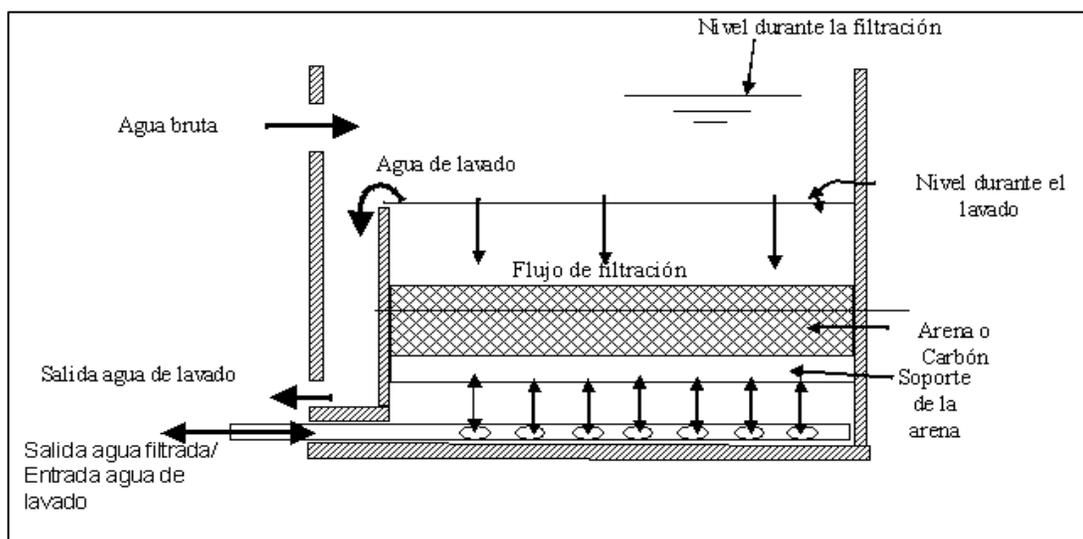


Figura N° 10 Movimiento de la masa de agua a presión en un filtro rápido.

## Etapa V Desinfección

La desinfección es una operación de importancia incuestionable para el suministro de agua potable. La destrucción de microorganismos patógenos es una operación fundamental que muy frecuentemente se realiza mediante productos químicos reactivos como el cloro.

La desinfección constituye una barrera eficaz para eliminar numerosos patógenos (especialmente las bacterias) durante el tratamiento del agua de consumo y debe utilizarse tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas expuestas a la contaminación fecal.

La desinfección química de un sistema de abastecimiento de agua de consumo que presenta contaminación fecal reducirá el riesgo general de enfermedades, pero no garantizará necesariamente la seguridad del suministro. La eficacia de la desinfección puede también ser ineficaz si los procesos anteriores no cumplieron con el objetivo de formación y sedimentación del flóculo e igual en la filtración ya que una turbidez elevada puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y genera un consumo significativo de cloro.

El uso de productos químicos desinfectantes en el tratamiento del agua genera habitualmente subproductos. No obstante, los riesgos para la salud que ocasionan estos subproductos son extremadamente pequeños en comparación con los asociados a una desinfección insuficiente, y es importante que el intento de controlar la concentración de estos subproductos no limite la eficacia de la desinfección.

Criterios a considerar para valorar el desinfectante más adecuado:

1. Aptitud del desinfectante para destruir las diversas clases de organismos en función de la temperatura y naturaleza del agua.
2. Capacidad del desinfectante para que en las concentraciones empleadas pueda conseguir la desinfección, no comuniquen al agua características tóxicas o desagradables estéticamente.
3. Facilidad de aplicación técnica y económica.
4. Capacidad del desinfectante para permanecer en concentraciones residuales tales que eviten cualquier recontaminación, como pudiera ocurrir en la red de distribución.
5. Adaptabilidad de técnicas de valoración prácticas, rápidas y exactas, que nos permitan conocer la concentración del desinfectante residual.

Todos los productos empleados en el tratamiento del agua, como oxidantes/desinfectantes, presentan ventajas y desventajas en su empleo, que de forma resumida se presentan en el siguiente cuadro:

**Tabla 6 Ventajas y desventajas del químico empleado**

<b>VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DISTINTOS PRODUCTOS EMPLEADOS EN LA OXIDACIÓN/DESINFECCION</b>		
<b>PRODUCTO</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>

Cloro	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Es el método más utilizado y conocido</li> <li>✓ Oxida fácilmente al hierro, sulfuros y algo más limitado al manganeso.</li> <li>✓ Mejora generalmente la reducción del color, olor y sabor</li> <li>✓ Es muy efectivo como biocida</li> <li>✓ Proporciona un residual en el sistema de abastecimiento</li> <li>✓ Mejora los procesos de coagulación y filtración</li> <li>✓ Elimina el amonio, previa transformación en cloraminas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Forma subproductos halogenados, tanto con precursores procedentes del agua bruta como en la propia red.</li> <li>✓ En algunos casos puede provocar problemas de olor y sabor, dependiendo fundamentalmente de la calidad del agua</li> <li>✓ Requiere instalaciones para neutralizar las fugas de gas</li> <li>✓ El cloro gas es peligroso y corrosivo</li> <li>✓ En el caso de emplear uno de sus principales derivados como es el hipoclorito sódico, este se degrada en el tiempo y al estar sometido a la luz.</li> <li>✓ Es menos efectivo a pH alto</li> </ul>
Dióxido de cloro	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mejora los procesos de coagulación y filtración</li> <li>✓ Elimina bien muchos de los olores y sabores procedentes de algas y compuestos fenólicos</li> <li>✓ Su efectividad está poco influenciada por el pH</li> <li>✓ Proporciona un residual en el sistema de abastecimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ No reacciona con el amoníaco, no eliminándolo por tanto del agua bruta.</li> <li>✓ Tiene que ser generado in situ</li> </ul>
Cloraminas	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ No forman (como hace el cloro) subproductos clorados</li> <li>✓ Son más estables como residual (especialmente la monocloramina) y de mayor duración en el tiempo que el cloro y el dióxido de cloro</li> <li>✓ No reaccionan con la mayor parte de compuestos orgánicos que suelen causar olores y sabores</li> <li>✓ Protegen la red en abastecimientos extensos contra recrecimientos bacterianos</li> <li>✓ Son fáciles de preparar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ No oxidan al hierro, manganeso y sulfuros</li> <li>✓ Tienen menor poder de desinfección que el cloro, dióxido de cloro u ozono</li> <li>✓ El exceso de amoníaco puede originar en la red problemas de nitrificación</li> <li>✓ Las monocloramina es menos efectiva como desinfectante a pH alto</li> <li>✓ Tienen que ser, generalmente, generadas in situ.</li> </ul>

*Fuente: Elaboración Propia..*

### ➤ Dióxido de Cloro

Se describirá el dióxido de cloro ya que es el que se utiliza en la planta en investigación por ser potencialmente bactericida. El dióxido de cloro es un gas amarillo verdoso, muy soluble

en el agua (20 gr/l), similar en aspecto y color al cloro, es bastante inestable y no puede ser comprimido ni licuado sin peligro de explosión, por lo que debe ser generado in situ, en el lugar y en el momento de su empleo. Es potencialmente explosivo en contacto con el aire, a una concentración del 10% en volumen a la presión atmosférica, si hay una fuente de ignición. Es unas 2,4 veces más denso que el aire, muy soluble en agua, unas cinco veces mayor que el cloro, y tiene un poder de oxidación de 2,5 veces mayor que el cloro. Su poder bactericida, y su potencial redox, está poco afectado por el pH a valores de entre 6 y 10, al contrario de lo que ocurre al cloro<sup>39</sup>.

El poder oxidante del dióxido de cloro es mayor que el del cloro. Su acción bactericida es muy rápida, siendo su nivel más alto de desinfección antes de los dos primeros minutos de contacto. Oxida y reacciona con el hierro y manganeso a velocidades de reacción mayores que con el cloro. En la reacción de oxidación del hierro y manganeso, el dióxido de cloro se reduce a clorito e inmediatamente este clorito reacciona con el hierro (+2), para pasar a hierro (+3), como hidróxido férrico y con el manganeso (+2), para pasar a manganeso (+4), como  $MnO_2$  :  $ClO_2 + 5Fe(HCO_3)_2 + 3H_2O = 5Fe(OH)_2 + 10CO_2 + Cl^- + H^+$   
 $2ClO_2 + 5Mn^{2+} + 6H_2O = 5MnO_2 + 12H^+ + 2Cl^-$  - No forma clorofenoles. No reacciona con el amoníaco; por tanto no forma cloraminas.

El dióxido de cloro reacciona con la materia orgánica natural del agua, entre ellas los ácidos húmicos y fúlvicos, formando compuestos orgánicos oxidados en muy baja concentración como aldehídos y ácidos carboxílicos, pero no forma subproductos orgánicos clorados, a no ser que junto al dióxido de cloro hubiese presente cloro libre. Los principales subproductos generados son el clorito y más difícilmente el clorato. El clorito es generalmente el subproducto inorgánico más predominante en el tratamiento del agua con dióxido de cloro, si bien no suele estar presente cuando hay exceso de cloro. Es frecuente que se forme una cantidad de clorito del orden del 50% del dióxido que ha reaccionado con los compuestos

<sup>39</sup> Association., American Water Works Pre-Treatment Field Guide

del agua, es decir, si por ejemplo se está dosificando 1,3 mg/l de dióxido de cloro y tras un tiempo de contacto de 10 minutos queda una cantidad libre de dióxido de 0,7 mg/l, habrá reaccionado 0,6 mg/l y por tanto puede calcularse que se habrá formado (0,6x50%) unos 0,3 mg/l de clorito. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (por sus siglas en inglés EPA), fija un nivel máximo de clorito, como subproducto de la desinfección, de 1 mg/l.

- Factores que influyen en la cloración:

Entre los principales factores que influyen en el proceso de desinfección y tratamiento del agua con cloro, figuran los siguientes:

- Naturaleza, concentración y distribución de los organismos que se van a destruir, así como de la concentración y distribución de la sustancia desinfectante y de los productos de su reacción con el agua, así como de las sustancias disueltas o en suspensión presentes en el agua.
- Naturaleza y temperatura del agua objeto del tratamiento.
- Tiempo de contacto entre el cloro y el agua.
- pH del agua.
- Temperatura del agua.
- La mezcla, dispersión y grado de agitación del agua.

Para que la cloración resulte eficaz es necesaria una distribución homogénea del cloro en el agua y que la dosis sea adecuada, para obtener un agua tratada inocua. A partir de 0,1 a 0,2 ppm. De cloro libre residual en el agua, ya se percibe sabor, percibiéndose antes cuanto mayor sea la dureza y temperatura del agua. Puede procederse a la eliminación del cloro en el agua, mediante el empleo de sustancias reductoras, tales como el anhídrido sulfuroso, el hiposulfito sódico, etc. Utilizando cantidades apropiadas de estos productos se puede eliminar la cantidad de cloro deseada. También se puede eliminar el cloro filtrando el agua a través de carbón activo.

Entre las múltiples sustancias que pueden contener las aguas naturales, algunas influyen en gran medida en la eficacia de la cloración. Por ejemplo, en presencia de sustancias orgánicas, la acción desinfectante del cloro es menor.

Respecto a la temperatura, la eficacia de cloración aumenta al aumentar aquélla, naturalmente siempre que las demás condiciones permanezcan invariables. A pesar de esto, ocurre que como en el agua a baja temperatura el cloro permanece más tiempo, puede llegar a compensarse la mayor lentitud de la desinfección con la mayor duración del cloro en el agua.

El tiempo de contacto es otro factor importante a tener en cuenta, ya que durante este tiempo tienen lugar las reacciones entre el cloro y el agua y las sustancias en ella presentes. El tiempo de contacto mínimo suficiente para una cloración eficaz es, a su vez, en función de la temperatura, pH, concentración y naturaleza de los organismos y sustancias presentes en el agua, así como de la concentración y estado en que se halle el cloro. Como mínimo, el tiempo de contacto deber de ser de diez a quince minutos.

➤ **Control de trihalometanos:**

La cloración de aguas superficiales que contienen ácidos húmicos que provienen de fenómenos naturales como la descomposición de vegetales y animales, genera la formación de trihalometanos (THMs). Los más comunes son el cloroformo y el bromodiclorometano. Hay altas probabilidades de que estos compuestos sean cancerígenos en concentraciones por arriba de 0.1 mg/l.

Los trihalometanos se generan fácilmente cuando hay materia orgánica y se practica en la cloración para eliminar nitrógeno, se efectúa el control de olor y sabor con cloro, o se opera para tener contenidos altos de cloro libre residual en el agua potabilizada

### Determinación del cloro residual mediante el uso del reactivo DPD

Las distintas sustancias empleadas como oxidantes y desinfectantes en el tratamiento del agua y presentes como residuales en ella, pueden ser determinados operando en diferentes condiciones de pH, empleando yoduro potásico y usando los adecuados en más carentes que nos permitan una oxidación selectiva del dietil-pfenilen-diamina (DPD) por parte de las distintas especies oxidantes que podemos encontrar en el agua. Podemos diferenciar el cloro libre, el dióxido de cloro, el clorito y las cloraminas. El rango de concentración de 0 a 5 mg/l le hace muy apropiado para su empleo en el agua potable<sup>40</sup>.

Todos estos compuestos dan con el DPD una coloración rosa en su forma oxidada (el clorito y las cloraminas sólo lo dan en presencia de iones yoduro) que puede ser medida colorimétricamente o valorada a punto final incoloro con sulfato ferroso amónico o con sal. Las valoraciones se hacen a pH comprendido entre 6,2 y 6,5, un pH superior daría lugar a que el oxígeno disuelto dé coloración rosa y un pH inferior podría originar que parte de las cloraminas se valorasen como cloro. El dióxido de cloro a ese pH pasa a clorito consumiendo solo 1/5 de su capacidad de oxidación (la correspondiente a la reducción de  $\text{ClO}_2$  a ion clorito). Al acidificar la solución en presencia de ion yoduro, el clorito presente colorea la solución de DPD. En las condiciones de la valoración, el cloro colorea instantáneamente la solución de DPD, para diferenciarlo del dióxido de cloro es necesario suprimir el cloro libre, añadiendo glicina o ácido malónico, antes de que la muestra reaccione con el DPD, de manera que la glicina convierta instantáneamente el cloro libre en ácido cloroaminoacético, pero esto no afecta a la determinación del  $\text{ClO}_2$ . Si se adiciona tioacetamida después de la reacción del DPD y el  $\text{ClO}_2$  se eliminará el clorito inmediatamente, y se previene el retroceso del punto final. Las cloraminas necesitan para su determinación la presencia de iones yoduro en el medio para colorear la solución de DPD; la diferencia en la determinación del clorito es que, para la determinación de éste, el pH debe ser menor de 4 para oxidar el DPD.

---

<sup>40</sup> Tratamiento Utilizados en Plantas Potabilizadoras, Ing. Mynor Romero

### 2.3 Parámetros de la calidad del agua para consumo

La calidad del agua de consumo humano se refiere a que el agua se encuentre libre de elementos que la contaminen y conviertan en un vehículo para la transmisión de enfermedades. Por su importancia para la salud pública, la calidad del agua merece especial atención. El acceso a los servicios de agua potable debería ser garantía de que se está consumiendo agua segura, sin embargo, en muchos casos no es así porque el agua es de mala calidad y no cumple las normas de potabilidad, aunque se distribuya a través de redes entubadas y conexiones domiciliarias.

La Norma Salvadoreña obligatoria 13.07.01:08 presenta requisitos en el área:

- Microbiológica
- Físico- Químico

#### REQUISITOS DE CALIDAD MICROBIOLÓGICOS.

Tabla 7 Límites Máximos Permisibles para la calidad microbiológica NSO 13.07.01:08

Parámetro	Límite Máximo Permissible		
	Técnicas		
	Filtración por membranas.	Tubos Múltiples.	Placa vertida.
Bacterias Coliformes totales	0 UFC/100 ml	<1.1 NMP/100 ml	....
Parámetro	Límite Máximo Permissible		
	Técnicas		
	Filtración por membranas	Tubos múltiples	Placa Vertida.
Bacterias Coliformes fecales o termotolerantes	0 UFC/100 ml	<1.1 NMP/100 ml	....
Escherichia Coli	0 UFC/100 ml	<1.1 NMP/100 ml	....
Conteo de bacterias heterótrofas y aerobias mesófilas	100 UFC/ ml	....	100 UFC/ ml
Organismos patógenos	Ausencia		

Fuente: Norma Salvadoreña de Agua Potable (NSO 13.07.01:08).

Cuando en una muestra se presentan organismos Coliformes totales fuera de la Norma, se deberá aplicar medidas correctivas y se deben tomar inmediatamente muestras diarias del

mismo punto de muestreo y se les debe examinar hasta que los resultados que se obtengan, cuando menos en dos muestras consecutivas demuestren que el agua es de una calidad que reúne los requisitos exigidos por la Norma Salvadoreña de agua potable.

Un número mayor de 100 microorganismos por mililitro en el recuento total de bacterias heterotróficas, es señal de que deben tomarse medidas correctivas e indica la necesidad de una inspección sanitaria completa del sistema de abastecimiento para determinar cualquier fuente de contaminación.

### REQUISITOS DE CALIDAD FÍSICO-QUÍMICOS

**Tabla 8 Límites Máximo Permisibles de características físicas y organolépticas.**

Parámetros	Unidad	Límite Máximo Permisible
Color verdadero	(Pt-Co)	15
Olor	-	No Rechazable
pH	-	8.5
Sabor	-	No Rechazable
Sólidos totales disueltos	Mg/l	1000
Turbidez	UNT	5
Temperatura	°C	No Rechazable

*Fuente: Norma Salvadoreña de Agua Potable (NSO 13.07.01:08).*

**Tabla 9 Valores para Sustancias Químicas.**

Parámetro	Límite Máximo Permisible(mg/l)
Aluminio	0.2
Dureza Total como (CaCO <sub>3</sub> )	500
Hierro Total	0.30

*Fuente: Norma Salvadoreña de Agua Potable (NSO 13.07.01:08).*

**Tabla 10 Valores para sustancias químicas de tipo inorgánico de alto riesgo para la salud.**

Parámetro	Límite Máximo Permisible(mg/l)
-----------	--------------------------------

Arsénico	0.01
Cromo (Cr+6)	0.05
Nitrato (NO3)	45.00
Nitrito (Medido como Nitrógeno)	1.00
Plomo	0.01

*Fuente: Norma Salvadoreña de Agua Potable (NSO 13.07.01:08).*

**Tabla 11 Valor para cloro Residual.**

Parámetro	Límite Máximo Permisible(mg/l)
Cloro residual libre	1.1

*Fuente: Norma Salvadoreña de Agua Potable (NSO 13.07.01:08).*

El límite recomendado seguro y deseable de cloro residual libre en la primera vivienda más próxima al punto de inyección al sistema de abastecimiento de agua con cloro es de 1.1 mg/l y en los puntos más alejados del sistema de distribución es de 0.3 mg/l, después de 30 minutos de contacto, con el propósito principal de reducir al 99.99% de patógenos entéricos.

### 2.3.1 Monitoreo de la Calidad del Agua

El término calidad de agua, se refiere a las propiedades, químicas, biológicas y organolépticas del agua para satisfacer los requerimientos de un determinado uso, de ahí que el término monitoreo del agua se refiere a la verificación de dichas características en el tiempo y el espacio, ya sea para evaluar el cumplimiento de normas, analizar tendencias o caracterizar la situación en un determinado momento y tramo o sección del curso del agua en el proceso de tratamiento y distribución de esta<sup>41</sup>.

- Según el Código de Salud sección Ocho:

<sup>41</sup> Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Monitoreo 2011.

Art. 63.-El agua destinada para el consumo humano deberá tener la calidad sanitaria que el Ministerio conceptúa como buena y exigirá el cumplimiento de las normas de calidad en todos los abastecimientos de agua utilizadas para el consumo humano.

Art. 65.- Un reglamento determinará las condiciones técnicas y legales de los servicios de agua potable así como los servicios de la misma.

➤ La calidad del agua potable según la OMS y OPS:

El control de la calidad microbiológica y química del agua de consumo requiere el desarrollo de planes de gestión cuya aplicación constituya la base para la protección del sistema y el control de los procesos con el fin de garantizar que las concentraciones de agentes patógenos y sustancias químicas existentes ocasionen riesgos para la salud pública insignificantes y que el agua sea aceptable para los consumidores.<sup>42</sup>

➤ Aspectos Microbiológicos:

La garantía de la inocuidad microbiana del abastecimiento de agua de consumo se basa en la aplicación, desde la captación al consumidor, las barreras múltiples ayuda a evitar la contaminación del agua de consumo o para reducirla a niveles que no sean perjudiciales para la salud. La seguridad del agua se mejora mediante la implantación de barreras múltiples, como la protección de los recursos hídricos, la selección y aplicación correctas de una serie de operaciones de tratamiento en las plantas, y la gestión de los sistemas de distribución (por tuberías o de otro tipo) para mantener y proteger la calidad del agua tratada.

## **2.4 Importancia de los procesos unitarios en la Planta de Potabilización Tamulasco.**

---

<sup>42</sup>Guía para la calidad del agua potable de la OMS Vol.1, capítulo 2 Las Guías: un marco para la seguridad del agua de consumo

La Planta Potabilizadora Tamulasco está conformada por los procesos unitarios descritos en la Tabla 12 en lo que se presenta la aplicabilidad de estos en la planta potabilizadora Tamulasco, los cuales son de vital importancia para la potabilización del agua.

**Tabla 12 Descripción de los Componentes de la Planta Potabilizadora Tamulasco.**

Etapas	Componentes	Descripción Aplicable
Etapa I Separación de Sólidos Gruesos.	Desarenador	La separación de sólidos gruesos inicia en la bocatoma de la planta potabilizadora Tamulasco, en la cual por medio del cribado se remueven materia orgánica e inorgánica de tamaño considerable, con el objeto de no comprometer el funcionamiento de los procesos posteriores. Debido a la topografía de la zona en que se encuentra ubicada la bocatoma (nivel bajo) esta es bombeada hacia el desarenador de la planta potabilizadora, donde se separa del agua cruda la arena y las partículas en suspensión gruesas.
Etapa II Coagulación y Floculación	Canaleta Parshall	El caudal de agua cruda pasa por la garganta de la canaleta parshall la cual desempeña un papel fundamental en la planta, ya que es en donde se aplica el coagulante Policloruro de Aluminio (PAC), permitiendo la formación de floculos. Al homogenizar la mezcla en la canaleta parshall esta pasa al distribuidor el cual tiene como función distribuir el agua con el químico a los dos Floculadores con los que cuenta la planta, en este someten a los microfloculos a una agitación lenta, lo cual requiere un gradiente de velocidad menor, el cual es proporcionado a lo largo de las mamparas que conforman el floculador, evitando los cortos circuitos a lo largo del proceso impidiendo así la rotura del floculo, y sobrecargar los sedimentadores.
	Distribuidor	
	Floculador	

Etapa III Sedimentación	Sedimentador	La unión de microflóculos permite la formación de agregados con mayor peso lo cual facilita su precipitación, proceso llevado a cabo en los dos sedimentadores que conforman la planta potabilizadora Tamulasco. El cual se da mediante un flujo estable que permite la concentración de las partículas en suspensión en toda la sección horizontal del flujo constante, por lo tanto las partículas que alcancen el fondo quedaran allí retenidas. Al final de la estructura pasa por la fase final de clarificación donde es dividido el efluente flotante ya tratado, de este último dependerá el funcionamiento eficaz del filtro.
Etapa IV Filtro	Filtro	Existen dos filtros rápidos abiertos, donde el agua pasa a través de un medio poroso conformado por 20 cm de piedra, 70 cm grava y 45 cm de arena, en el cual se retiene la carga microbiana y las partículas de menor tamaño que no pudieron ser removidas en los procesos unitarios anteriores.
Etapa V Desinfección	Cisterna	La etapa de desinfección que es el último eslabón del proceso de potabilización de la planta Tamulasco, procedimiento en el cual se aplica el desinfectante dióxido de cloro, proceso llevado a cabo en la cisterna mediante un sistema de dosificación.

*Fuente: Elaboración Propia.*

COMPONENTES DE LA PLANTA POTABILIZADORA TAMULASCO:

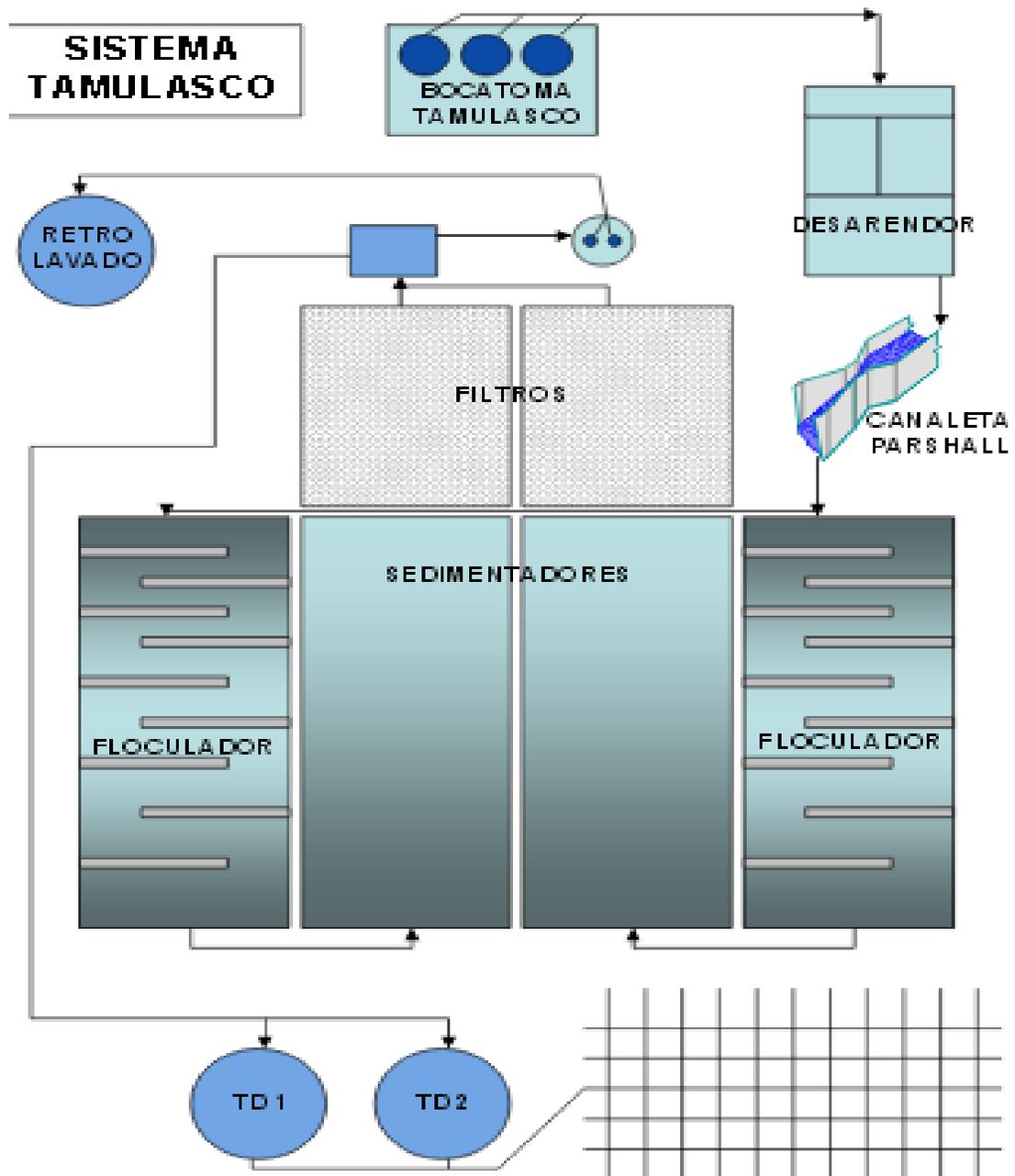


Figura N° 1 5 Componentes de la Planta Potabilizadora.

### CAPITULO III: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.1 Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operativa	Dimensión de las variables	Indicadores
Calidad microbiológica y fisicoquímica del afluente y efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco.	La calidad del agua se refiere, a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características microbiológicas y fisicoquímicas, en su estado natural o después de ser tratadas en plantas potabilizadoras para su posterior consumo.	Serán análisis para la calidad del agua desde el punto de vista microbiológico y fisicoquímico. Del afluente y el efluente de la planta potabilizadora.	Calidad física del afluente y efluente de la planta potabilizadora Tamulasco	Turbidez UNT
				T° muestra °C
				Sólidos totales mg/l
				Color (Pt-Co)
				Sabor
				Olor
			Calidad Microbiológica del efluente y afluente de la planta potabilizadora Tamulasco.	Coliformes Totales <1.1 NMP 7100 ml
				Bacterias Coliformes fecales < 1.1 NMP/100 ml
				E. Coli <1.1 NMP/100 ml
				Bacterias Heterótrofas
				Organismos Patógenos
			Calidad Química del efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco.	pH
				Aluminio mg/l
				Hierro mg/l
				Arsénico mg/l
Manganeso mg/l				
Porcentaje de eficiencia de los procesos unitarios de la Planta Potabilizadora Tamulasco.	Se entiende la eficiencia como: La capacidad de que cada uno de los procesos unitarios cumpla con su función, en la remoción de contaminantes, contribuyendo al proceso de potabilización.	La efectividad de la dosis del coagulante aplicado en la planta potabilizadora mediante la prueba de jarras y la capacidad de reducción de parámetros físicos expresados en porcentajes de cada uno de los efluentes de los procesos unitarios de la planta.	La capacidad de reducción de los parámetros físicos, de los efluentes de los procesos unitarios de la planta potabilizadora Tamulasco.	Porcentaje de Reducción
				Nivel de Eficiencia de la Planta Potabilizadora.
				Dosis de coagulante (ppm)

## CAPÍTULO IV

### DISEÑO METODOLÓGICO.

#### 4.1 Tipo de estudio:

El tipo de estudio será descriptivo, transversal y evaluativo debido a las siguientes consideraciones:

Descriptivo: En la investigación se describieron las variables microbiológicas y físico químicas del agua como características que indican la calidad del agua para consumo humano y el grado de reducción de contaminantes al someter el agua a los procesos unitarios que conforman la planta potabilizadora en estudio.

Transversal: El presente estudio es transversal porque se llevó a cabo en un espacio de tiempo ya determinado, el cual fue comprendido entre Enero a Septiembre del año 2016, haciendo una sola medición de las variables, por lo tanto se tomó en cuenta datos existentes del año 2015 facilitados por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) correspondientes a las variables en estudio, esto para fines comparativos sobre el comportamiento de los parámetros evaluados en cada uno de procesos unitarios de la Planta Potabilizadora Tamulasco.

Evaluativo: Se cualifico en términos evaluativos el porcentaje de eficiencia de la Planta Potabilizadora Tamulasco, utilizando los resultados de análisis microbiológicos y fisicoquímicos del efluente del año 2016, por lo tanto se utilizaron los resultados físicos de los efluentes de cada uno de los procesos unitarios, para evaluar el porcentaje de eficiencia en la reducción de los parámetros evaluados con los instrumentos diseñados por el equipo investigador.

Unidades de análisis: De acuerdo con la naturaleza de este estudio se trabajó con las siguientes unidades de análisis:

- a) Afluente de la bocatoma de la planta potabilizadora.
- b) Efluente del desarenador.
- c) Efluente del Floculador 1 y 2.

- d) Efluente del sedimentador 1 y 2.
- e) Efluente de filtros 1 y 2.
- f) Efluente de la planta potabilizadora.

#### **4.2 Población y muestra.**

Tomando en cuenta el objetivo general de esta investigación no se aplicaron los conceptos de población y muestra. Ya que el estudio se llevó a cabo en una planta de tratamiento de agua potable “Planta Potabilizadora de Tamulasco”, constituyéndose ésta en el objeto de investigación.

#### **4.3 Técnicas, instrumentos y procedimientos:**

Las técnicas que se emplearon para la recolección de datos pueden resumirse en toma de muestras de agua para análisis microbiológico y fisicoquímico, con las determinaciones analíticas correspondientes a la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua. También se incluyó la prueba de jarras para la determinación de la dosificación del Policloruro de Aluminio como agente coagulante del agua.

Parámetros para la determinación de la calidad del agua:

- Calidad microbiológica del agua: A través de este tipo de análisis se determinaron los valores de Bacterias Coliformes totales, bacterias Coliformes fecales o termotolerantes, *Escherichia Coli*, conteo de bacterias heterótrofas y aerobias mesófilas, y organismos patógenos que posea el agua verificando si cumple o no con la Norma Salvadoreña Obligatoria para agua potable (NSO 13.07.01:08.)
- Características físicas y organolépticas del agua: Con este análisis se obtuvieron los valores de color verdadero, olor, sabor, pH, sólidos disueltos, turbidez, y temperatura del agua corroborando su cumplimiento con lo establecido en la Norma Salvadoreña Obligatoria para agua potable (NSO 13.07.01:08.)

- Características químicas del agua: A través de este análisis se obtuvieron los valores de sustancias químicas presentes en el agua potable tales como Aluminio, Hierro, Manganeso, Arsénico y Cromo Hexavalente para constatar si cumple o no con los parámetros establecidos en la Norma Salvadoreña Obligatoria para agua potable (NSO 13.07.01:08.)

Los instrumentos utilizados para la toma de muestras y realización de mediciones se describen en la tabla 13 donde se proporciona la técnica aplicada según el instrumento a utilizar.

**Tabla 13 Instrumentos y procedimientos para toma de muestras de agua.**

Instrumentos	Técnica
Kit comparador de Cloro	Lectura de cloro residual
Medidor de pH	Lectura de pH
Termómetro	Medición de la temperatura del agua y del ambiente en grados centígrados (°C)
Turbidímetro	Determinación del grado de turbidez en agua en unidades nefelométricas de turbidez (UNT).
Aparato de prueba de Jarras	Prueba de Jarras.
Equipo, instrumentos y medios de cultivo, con los que cuenta el Centro de Investigación y Desarrollo en Salud, en el Laboratorio de Control de Calidad Microbiológico (CENSALUD) para la determinación de análisis microbiológicos en agua.	Determinación de organismos patógenos, bacterias y E. Coli en agua a través de la técnica número más probable y placa vertida.
Equipo, instrumentos y reactivos del Laboratorio Físicoquímico de Aguas, de la Facultad de Química y Farmacia y del Laboratorio físicoquímico de la Planta Potabilizadora Tamulasco, para la determinación de los análisis físicoquímicos de la muestra.	Determinación del estado físicoquímico del agua a través de: Técnica Colorímetro y el fotométrico.

*Fuente: Elaboración Propia.*

Los procedimientos que se utilizaron a lo largo de la investigación para la obtención de resultados de análisis microbiológicos, físicos y químicos de los efluentes de cada uno de los procesos unitarios y de la Planta Potabilizadora Tamulasco en general se describen a continuación:

a) Lectura de Cloro residual:

El procedimiento para la lectura de cloro residual, utilizando el kit de campo de disco con reactivo DPD fue el siguiente<sup>43</sup>:

1. Seleccionar el punto de muestreo según convenga, tomando en cuenta que el grifo debe ser metálico.
2. Abrir el grifo y dejar correr el agua durante 10 segundos, con el objetivo de homogenizar el flujo de agua.
3. Utilizar el tubo de observación ubicado al lado izquierdo del kit comparador, para tomar la muestra de agua, enjuagar 3 veces asegurando que este tubo se encuentra limpio y libre de impurezas que pueda contener al haber realizado lecturas de cloro con anterioridad.
4. Verter agua limpia en el tubo de observación antes extraído, la cantidad de agua a verter en el tubo debe ser de 5 mililitros y colocarlo en el lugar de donde se extrajo.
5. Luego se extrae el otro tubo de observación, ubicado al lado derecho del kit y se lava 3 veces con agua limpia del mismo grifo para eliminar impurezas.
6. Depositar agua limpia en el tubo que fue extraído hasta la marca de 5 mililitros.
7. Agregar una pastilla de DPD y agitar el contenido del tubo hasta disolver completamente el reactivo aplicado, verificar la fecha de vencimiento del reactivo.

---

<sup>43</sup> Manual de procedimientos técnicos para la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano. "Procedimiento para la lectura de cloro residual" Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Dirección de Regulación, Dirección General de Salud, Febrero 2008.

8. Agitar el contenido del tubo, hasta disolver completamente el reactivo aplicado y esperar un minuto para realizar la lectura, se debe asegurar que el tubo se encuentre tapado.
9. Colocar el tubo en el kit que contiene el disco comparador y proceder a realizar la lectura por comparación de color ubicando el kit hacia una fuente de luz clara o anteponiendo una superficie de color blanco.

El resultado de la lectura debe estar comprendida en un rango de 0.3 a 1.1 miligramos por litro de cloro.

b) Toma de muestras para Análisis Microbiológico:

El procedimiento que se llevó a cabo para la toma de muestras se presenta a continuación<sup>44</sup>:

1. Principalmente se deben tomar en cuenta medidas higiénicas como realizar el lavado correcto de manos, seleccionar el punto de muestreo de interés, la persona encargada de tomar la muestra debe evitar estornudar, hablar, escupir, fumar u otra acción que pueda contaminar el agua.
2. En el caso de tomar la muestra desde un grifo este debe ser metálico luego proceder a limpiarlo con una torunda con alcohol frotando la boquilla del mismo para remover cualquier suciedad.
3. Abrir el grifo al máximo de su capacidad y dejar fluir el agua durante 1 minuto y cerrar nuevamente.
4. Realizar una lectura de cloro residual.
5. Flamear el grifo utilizando una pinza con torundas de gasas y algodón remojadas con alcohol, realizar esta actividad durante 1 minuto.

---

<sup>44</sup> Manual de procedimientos técnicos para la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano. "Procedimiento para toma de muestra para análisis bacteriológico" Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Dirección de Regulación, Dirección General de Salud, Febrero 2008.

6. Abrir nuevamente el grifo y dejar fluir hasta que alcance un flujo uniforme dejar fluir durante 1 minuto, tomar la muestra en un frasco de vidrio color ámbar y flamear los alrededores del grifo con el fin de crear un ambiente estéril.
7. El frasco debe ser llenado hasta los hombros dejando un espacio de aire dentro del frasco.
8. Rotular el frasco, con hora, fecha, lugar de muestreo, responsable de la toma de muestra.
9. Colocar en una hielera para mantener la cadena de frío, y realizar el llenado de la hoja de datos para el laboratorio.

c) Toma de muestras para análisis fisicoquímico:

El procedimiento que se realizó para la toma de muestra fue el siguiente<sup>45</sup>:

1. Utilizar un frasco de vidrio o plástico con capacidad de 1 galón, que estén limpios y de preferencia que sean proporcionados por el laboratorio.
2. Enjuagar el frasco por lo menos 3 veces con el agua a muestrear y luego verterla.
3. Proceder a llenar el frasco con el agua a analizar y taparlo inmediatamente.
4. Rotular el frasco con hora, fecha, punto de muestreo, responsable de la muestra.
5. Conservarla a temperatura ambiente, y trasladarla al laboratorio.

d) Prueba de Jarras:

El procedimiento para la realización del test se describe a continuación<sup>46</sup>:

---

<sup>45</sup> Manual de procedimientos técnicos para la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano. "Procedimiento para toma de muestra para análisis fisicoquímico" Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Dirección de Regulación, Dirección General de Salud, Febrero 2008.

<sup>46</sup> Manual para operadores de plantas de tratamiento de agua potable. Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados. Junio 2010.

1. Llene los recipientes de prueba frasco aparato con la muestra de agua. Un contenedor se utilizará como control mientras que los otros cinco contenedores se puede ajustar dependiendo de qué condiciones se encuentran en evaluación. Por ejemplo, el pH de los frascos se puede ajustar o variaciones de las dosis de coagulante se puede agregar a determinar las condiciones óptimas de funcionamiento.
2. Añadir el coagulante a cada contenedor y agitar a aproximadamente 300 rpm por 1 minuto. La etapa de mezcla rápida ayuda a dispersar el coagulante a través de cada contenedor. Coagulantes son aditivos químicos, tales como sales metálicas, que ayudan a producir más pequeños agregados para formar partículas más grandes.
3. Reducir la velocidad de agitación durante la prueba esto se hará cada 5 minutos continúe batiendo por 15 a 20 minutos. Esta velocidad más lenta de mezcla ayuda a promover la formación de floculos mediante la mejora de las colisiones de partículas que dan lugar a grandes floculos. Estas velocidades son lo suficientemente lento como para evitar romper el floculo debido a la turbulencia causada por la agitación.
4. Apague los mezcladores y permitir que los contenedores que conformarse con 30 a 45 minutos. A continuación, medir la turbidez final en cada contenedor. La turbidez final se puede evaluar más o menos a simple vista o con más precisión usando un nefelómetro.

#### **4.3.1 Determinaciones Analíticas**

Para la obtención de los resultados a partir de las muestras recolectadas para los análisis microbiológicos, físicos y químicos se llevaron a cabo diferentes técnicas (ver tabla 14), con el apoyo de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), se obtuvieron resultados de análisis físicos y químicos, ya que facilitaron equipos del Laboratorio Físicoquímico de Aguas de la Planta Potabilizadora Tamulasco; para los resultados de análisis químicos que no se realizaron en el laboratorio físicoquímico de

ANDA, se llevaron muestras de agua del efluente y afluente de la planta al Laboratorio Fisicoquímico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador, para la obtención de resultados de análisis microbiológicos se solicitó al Centro de Investigación y desarrollo en salud (CENSALUD) el análisis de los parámetros microbiológicos evaluados en la investigación, las muestras fueron tomadas de acuerdo al Manual de procedimientos técnicos para la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano y los análisis fueron comparados de acuerdo a lo establecido en la Norma Salvadoreña Obligatoria para agua potable (NSO 13.07.01:08) los métodos analíticos empleados son:

**Tabla 14 Determinaciones Analíticas a implementar según la Norma Salvadoreña Obligatoria para agua potable (NSO 13.07.01:08)**

Análisis	Parámetros	Unidades de análisis
Físicos	Sólidos totales disueltos	Gravimétrico Conductivimétrico
	Turbidez	Nefelométrico
	Temperatura	Análisis <i>In situ</i> con una muestra mínima de 500 mL.
Microbiológicos	<i>Escherichia Coli</i>	Tubos múltiples
	Bacterias heterótrofas y aerobias mesófilas	Placa vertida
	Coliformes fecales	Tubos múltiples
	Coliformes totales	Tubos múltiples
Químicos	p H	pH metro
	Aluminio	Colorimétrico
	Manganeso	Colorimétrico
	Hierro	Colorimétrico
	Arsénico	Colorimétrico
	Cromo hexavalente	Colorimétrico

Fuente: NSO 13.07.01:08; (1) P/A método presencia ausencia; (2) El método analítico colorimétrico se refiere a metodologías espectrofotométricas y/o de comparación visual.

#### 4.4. Plan de Procesamiento, Presentación y Análisis de los Resultados.

El presente apartado contiene la metodología empleada denominada: Evaluación del porcentaje de eficiencia en la reducción de los parámetros físicos de los efluentes de los procesos unitarios y la Evaluación global de la Planta Potabilizadora Tamulasco, el proceso metodológico consta de cuatro fases:

- **Fase 1:** Determinación del porcentaje de eficiencia en la reducción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco.
- **Fase 2:** Determinación y análisis del porcentaje de eficiencia en la reducción de los parámetros físicos del efluente de cada uno de los procesos unitarios de la Planta Potabilizadora Tamulasco.
- **Fase 3:** Evaluación del porcentaje de eficiencia del afluente y efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco.
- **Fase 4:** Evaluación del porcentaje de eficiencia del efluente de los procesos unitarios de la Planta Potabilizadora Tamulasco.
- **Fase 5:** Evaluación de la efectividad de la dosis del coagulante aplicada en la Planta Potabilizadora Tamulasco.

Estas fases facilitaran la comprensión del lector, en la identificación de cada uno de los procedimientos a seguir, para la obtención de porcentajes de reducción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente de la planta potabilizadora, obtención de porcentajes de reducción de parámetros físicos de los efluentes de cada uno de los procesos unitarios y la Evaluación Global de la Planta Potabilizadora Tamulasco, así como la Evaluación de la dosis del químico empleado para favorecer la coagulación en la planta misma.

➤ **Fase 1:** Determinación del porcentaje de eficiencia en la reducción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco.

- Matriz de resultados obtenidos mediante las pruebas de laboratorio

Esta matriz fue diseñada para el vaciado de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, conteniendo la fecha, características, parámetro según Norma Obligatoria Salvadoreña NSO 13.07.01:08 (ver tabla 15), y en esta se presentaran los resultados obtenidos en el análisis realizado (ver Capítulo V).

**Tabla 15 Matriz de resultado de Análisis Microbiológicos, físicos y químicos del  
afluente y efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco, Septiembre 2016.**

MATRIZ DE RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICOS Y FÍSICO-QUÍMICOS DEL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LA PLANTA POTABILIZADORA TAMULASCO							
FECHA							
Características	Unidades	Parámetros según NSO 13.07.01:08	Resultados de análisis del afluente de la planta.		Resultados de análisis del efluente de la planta		Porcentaje de eficiencia:
Coliformes totales	NMP/100 ml	<1.1					
Bacterias Coliformes fecales	NMP/100 ml	<1.1					
E. Coli	NMP/100 ml	<1.1					
Bacterias heterótrofas y aerobias mesófilas	UFC/100ml	<100					
Organismos patógenos		Ausencia					
p H		6 - 8,5					
Turbidez	UNT	5					
Temperatura mx del agua	°C	No rechazable					
Solidos totales	mg/l	1,000					
Color	(Pt-Co)	15					
Olor		No rechazable					
Sabor		No rechazable					
Cloro Residual	mg/l	1.1					
Aluminio	mg/l	0.2					
Hierro	mg/l	0.3					
Arsénico	mg/l	0.01					
Manganeso	mg/l	0.1					
Cromo Hexavalente	mg/l	0.05					

Fuente: Elaboración Propia.

- **Fase 2:** Determinación y análisis del porcentaje de eficiencia en la reducción de los parámetros físicos del efluente de cada uno de los procesos unitarios de la Planta Potabilizadora Tamulasco.
- Matriz de presentación de resultados

Estas matrices fueron utilizadas para presentar cada uno de los resultados de análisis microbiológicos y fisicoquímicos del afluente y efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco en el año 2015 y 2016 analizados por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) y por el grupo investigador.

**Tabla 16 Matriz de resultados de los análisis físicos de los procesos unitarios de la Planta Tamulasco.**

RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ANALISIS FISICOS DE LOS PROCESOS UNITARIOS DE LA PLANTA POTABILIZADORA TAMULASCO.												
FECHA												
Características	Unidades	Parámetros según NSO 13.07.01:08	Resultado de análisis de Afluente	Desarenador	Floculador		Sedimentador		Filtros		Resultado de Análisis de efluente	Eficiencia de la Planta
					F1	F2	S1	S2	Ft.1	Ft.2		
pH		6 - 8,5										
Turbidez	UNT	5										
Temperatura mx del agua	°C	No rechazable										
Sólidos totales	mg/l	1,000										
color	(Pt-Co)	15										
Olor		No rechazable										
Sabor		No rechazable										

Fuente: Elaboración Propia.

En estas se presentaron las variaciones de los parámetros físicos de interés para el equipo investigador , en los diferentes procesos unitarios que conforman la Planta Tamulasco, mediante estas variaciones se determinó el porcentaje de eficiencia en cuanto a la reducción de los parámetros físicos en su paso por cada proceso unitario.

**Tabla 17 Matriz del porcentaje de eficiencia de los procesos Unitarios de la Planta Potabilizadora Tamulasco.**

Características	Unidades	Eficiencia Desarenador	Eficiencia Floculadores		Eficiencia Sedimentadores		Eficiencia Filtros	
			F1	F2	S1	S2	Ft.1	Ft.2
Turbidez	UNT							
Solidos totales	mg/l							

*Fuente: Elaboración Propia.*

- La Obtención del porcentaje de eficiencia de los efluente de cada uno de los procesos unitarios y del afluente y efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco se dio de la siguiente manera:

El procedimiento que se utilizó para la evaluación del porcentaje de eficiencia de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el afluente y efluente y los parámetros físicos de los efluentes de los procesos unitarios, fue el siguiente:

1. Los resultados de los análisis fueron vaciados en las columnas dependiendo del proceso unitario al que pertenecían (ver tabla 15).
2. Los datos que se tomaron como referencia para determinar el antes y el después de la calidad del agua tratada fueron los resultados de los análisis microbiológicos y fisicoquímicos del afluente de la planta potabilizadora.
3. Para verificar la variación de cada uno de los parámetros y así determinar su porcentaje de eficiencia se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% E.P.U = \left( \frac{vi - vf}{vi} \right) * 100$$

*Figura N° 11 Formula para el porcentaje de eficiencia.*

% E.P.U = Porcentaje de Eficiencia de Proceso Unitario.

vi= Valor inicial del parámetro.

vf: Valor final del parámetro.

4. Para emplear la formula anterior se hizo de la siguiente manera, ya que los procesos en una planta potabilizadora siguen un orden específico, Bocatoma, Desarenador, Floculador, Sedimentador, Filtros y Efluente de la planta, en ese orden, el valor inicial fue el resultado del análisis realizado al efluente del proceso unitario previo al que se evaluó, y el valor final fue el resultado de los análisis del efluente del proceso a evaluar.

Ejemplo:

$$\% \text{ Eficiencia Sólidos Totales} = \frac{\text{Sólidos T (afluente)} - \text{Sólidos T (efluente)}}{\text{Sólidos T (afluente)}} * 100$$

**Tabla 18 Ejemplo del Porcentaje de Eficiencia de los Procesos Unitarios.**

Características	Unidades	Parámetros según N.S.O (13.07.01:08)	Resultados de análisis de bocatoma de la planta		Resultados de análisis a efluente de desarenador	% E.P.U
Sólidos totales	mg/l	1000		177.4	172.3	2.87%
color	(Pt-Co)	15		8.5	7.5	11.76%

*Fuente: Elaboración Propia.*

5. Para el ejemplo de la tabla 17, se observó que el valor inicial (vi) para evaluar la eficiencia del desarenador con respecto a la remoción de sólidos totales es 177.4 mg/l, que son los resultados de los análisis realizados al afluente de la bocatoma, y el valor final (vf) fue el resultado de los análisis realizados al efluente del desarenador, en este caso son 172.3 mg/l. ya teniendo estos dos valores aplicamos la fórmula para determinar el % E.P.U. Con lo cual podemos ver que el porcentaje de eficiencia es de 2.87%.

- **Fase 3:** Evaluación del porcentaje de eficiencia del afluente y efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco.
- Evaluación del porcentaje de eficiencia global de la Planta Potabilizadora.

El procedimiento que se utilizó para la evaluación del porcentaje de eficiencia global de la Planta Potabilizadora Tamulasco fue el siguiente:

1. Los resultados de análisis y porcentaje obtenido fueron vaciados en las columnas de la tabla de evaluación de porcentajes global de la planta potabilizadora (ver tabla 19), basados en los parámetros evaluados en la tabla 15.

2. Para evaluar el porcentaje de eficiencia para cada uno de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, y establecer un puntaje en la tabla 19 se utilizó la siguiente fórmula:

$$E.P.E = 10/18 * P.E$$

*Figura N° 12 Formula evaluación de la eficiencia.*

*E.P.E= Evaluación del Porcentaje de Eficiencia*

*10= puntaje máximo ganado*

*18= parámetros evaluados para afluente y efluente*

*P-E= Porcentaje de Eficiencia*

3. Para emplear la formula anterior se utilizó el siguiente proceso: El puntaje máximo para todos los parámetros evaluados fue de 10 puntos, este se dividió entre los 18 parámetros de interés constituidos por parámetros físicos, químicos y microbiológicos del afluente y efluente. Cada uno multiplicado por los porcentajes de reducción obtenidos en la tabla 15. Con el fin de presentar la puntuación de la evaluación en cifras enteras y categorizar el resultado de acuerdo a la escala definida en la tabla 21.

- Matriz de evaluación del afluente y efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco

Esta matriz fue diseñada para presentar el porcentaje de eficiencia y la evaluación obtenido a partir de este, extraído de los resultados completos del afluente y efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco, a partir de ellos se presentó el correspondiente análisis de resultados.

**Tabla 19 Evaluación Global de la Planta Potabilizadora Tamulasco**

Parámetros	Unidades	Parámetros según NSO 13.07.01:08	Afluente de la planta potabilizadora		Efluente de la planta potabilizadora		Porcentaje de reducción.	Evaluación del porcentaje de eficiencia.
Coliformes totales	<i>NMP/100 ml</i>	<1.1						
Bacterias termotolerantes	<i>NMP/100 ml</i>	<1.1						
E. coli	<i>NMP/100 ml</i>	<1.1						
Bacterias heterótrofas y aerobias mesófilas	<i>UFC/100ml</i>	<100						
Organismos patógenos		Ausencia						
p H		6 - 8,5						
Turbidez	<i>UNT</i>	5						
Temperatura mx del agua	<i>°C</i>	No rechazable						
Sólidos totales	<i>mg/l</i>	1,000						
Color	<i>(Pt-Co)</i>	15						
Olor		No rechazable						
Sabor		No rechazable						
Cloro residual	<i>mg/l</i>	1.1						
Aluminio	<i>mg/l</i>	0.2						
Hierro	<i>mg/l</i>	0.3						
Arsénico	<i>mg/l</i>	0.01						
Manganeso	<i>mg/l</i>	0.1						
Cromo Hexavalente	<i>mg/l</i>	0.05						
<b>Total obtenido por la planta</b>								

*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 20 Matriz de análisis de la evaluación del porcentaje de eficiencia del afluente y efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco del año 2016.**

<b>Resultados de Análisis Microbiológicos</b>		
<b>Características</b>	<b>Porcentaje de eficiencia 2016</b>	<b>Evaluación de la eficiencia.</b>
Coliformes totales		
Coliformes fecales		
E. Coli		
Bacterias heterótrofas y aerobias mesófilas		
Organismos patógenos Pseudomonas		
Puntaje ganado para el área Microbiológica		
<b>Análisis de Resultados</b>		
<b>Resultados de Análisis Físico</b>		
<b>Características</b>	<b>Porcentaje de eficiencia 2016</b>	<b>Evaluación de la eficiencia.</b>
p H		
Turbidez		
Temperatura mx del agua		
Solidos totales		
Color		
Olor		
Sabor		
Puntaje ganado para el área Física.		
<b>Análisis de Resultados</b>		
<b>Resultados de Análisis Químicos</b>		
<b>Características</b>	<b>Porcentaje de eficiencia 2016</b>	<b>Evaluación de la eficiencia.</b>
Cloro Residual		
Aluminio		
Hierro		
Arsénico		
Manganeso		
Cromo Hexavalente		
Puntaje ganado para el área química		
<b>Análisis de Resultados</b>		

*Fuente: Elaboración Propia.*

- **Fase 4:** Evaluación del porcentaje de eficiencia de los parámetros físicos (turbidez y Sólidos totales) de los efluentes de los procesos unitarios de la Planta Potabilizadora Tamulasco.

El procedimiento que se utilizó para la evaluación del porcentaje de eficiencia de los parámetros de los procesos unitarios fue el siguiente:

1. Los resultados de análisis y porcentaje obtenido fueron vaciados en las columnas de la tabla de evaluación de porcentajes de los procesos unitarios de la planta potabilizadora (ver tabla 21), basados en los parámetros evaluados en la tabla 17.
2. Para evaluar el porcentaje de eficiencia para cada uno de los parámetros físicos y establecer un puntaje en la tabla 21 se utilizó la siguiente fórmula:

$$E.P.E = 10 / 4 * P.E.PU1$$

$$E.P.E = 10 / 4 * P.E.PU2$$

*Figura N° 13 Formula evaluación de la eficiencia.*

*E.P.E= Evaluación del Porcentaje de Eficiencia*

*10 = puntaje máximo ganado*

*4 = Componentes en las que se dividen los procesos unitarios*

*P.E.PU= Porcentaje de Eficiencia (turbidez o Sólidos totales) de cada proceso unitario (ej.*

*Floculador 1 o floculador 2, según sea el caso)*

3. Para emplear la fórmula anterior se utilizó el siguiente proceso: El puntaje máximo para todos los procesos evaluados fue de 10 puntos, este se dividió entre los 4 componentes de los procesos unitarios de la Planta Potabilizadora (Desarenador, Floculador 1 o floculador 2, Sedimentador 1 o sedimentador 2, Filtro 1 o filtro 2). Cada uno multiplicado individualmente por los porcentajes de reducción ya sea del parámetro turbidez o el de sólidos totales obtenidos según sea la línea de

componentes evaluada, ya sea los componentes número 1 o los componentes número 2 basados en la tabla 17. Al final se presentaran las puntuaciones de la evaluación en cifras enteras y para categorizar el resultado de acuerdo a la escala definida en la tabla 22.

- Matriz de evaluación de eficiencia de los efluentes de los procesos unitarios de la Planta Potabilizadora Tamulasco

Esta matriz fue diseñada para presentar el porcentaje de eficiencia y la evaluación obtenida de los efluentes de los procesos unitarios.

**Tabla 21 Evaluación del porcentaje de eficiencia de parámetros físicos en los efluentes de la Planta Potabilizadora Tamulasco.**

Procesos	Porcentaje de eficiencia		Evaluación del porcentaje de eficiencia de la Turbidez	Evaluación del porcentaje de eficiencia de los Solidos Totales
	Turbidez*	Solidos Totales*		
Desarenador				
Floculador 1				
Floculador 2				
Sedimentador 1				
Sedimentador 2				
Filtro 1				
Filtro 2				
*Parámetros según N.S.O. 13.07.01:08 : Turbidez 5 UNT Máximo Permisible Solidos Totales 1,000 mg/l Máximo Permisible				

Fuente *Elaboración propia*

Después de haber colocado los datos en la tabla anterior se diseñó una más, este se utilizó para categorizar el nivel de eficiencia de los procesos unitarios, y a partir de ella se calificara cada proceso unitario.

**Tabla 22 Evaluación del porcentaje de eficiencia de procesos unitarios de la Planta Potabilizadora Tamulasco**

<b>Evaluación del porcentaje de eficiencia de reducción de parámetros físicos de los Efluentes de los Procesos unitarios</b>	
<b>Escala Numérica</b>	<b>Nivel de Eficiencia</b>
1 a 5	Nivel de eficiencia malo
6 a 10	Nivel de eficiencia bueno

*Fuente Elaboración Propia*

- **Fase 5:** Evaluación de la efectividad de la dosis del coagulante aplicada en la Planta Potabilizadora Tamulasco.

El procedimiento que se utilizó para la evaluación de la dosis del químico (coagulante) aplicada en la Planta Potabilizadora Tamulasco, que favorece la floculación y permitirá la posterior sedimentación fue el siguiente:

1. Indicar la época del año en que se encuentra.
2. Conocer el químico para coagulación que se utiliza en la planta de estudio.
3. Identificar la dosis de coagulante aplicada en la planta potabilizadora.
4. Estandarizar la turbidez inicial del afluente de la planta potabilizadora.
5. De acuerdo a la dosis empleada se establecerán las dosis experimentales.
6. Se usara la técnica de jarras para conocer la eficiencia en la reducción de turbidez con la dosis propia de la Planta Potabilizadora Tamulasco y las dosis experimentales.
7. Se dejara una jarra con agua cruda para tomar de referencia.
8. Se procederá a llenar la tabla de eficiencia en la reducción de la turbidez.
9. Para sacar el porcentaje de remoción de turbidez se usara la fórmula utilizada para sacar el porcentaje de reducción de parámetros de los efluentes de los procesos unitarios (ver figura 11).
10. El porcentaje de turbidez se presentara en graficas lineales.

Tabla 23 Eficiencia de reducción de turbidez

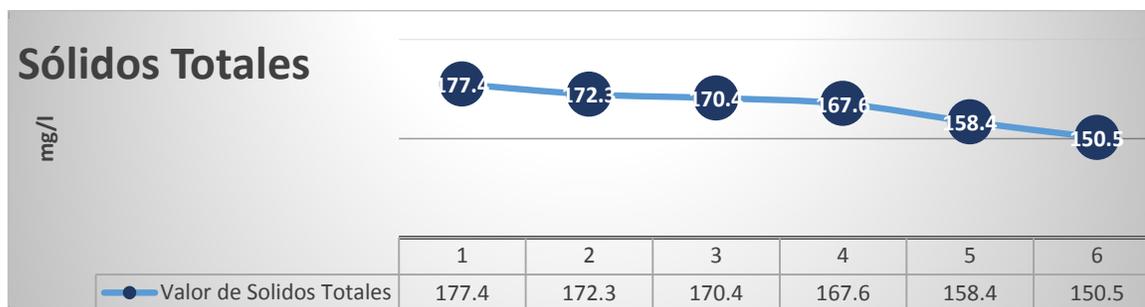
DETERMINACION DE DOSIFICACION DEL COAGULANTE				
RESULTADO DE PRUEBAS DE JARRAS.				
COAGULANTE APLICADO: Policloruro de Aluminio				
DOSIS DE COAGULANTE APLICADO EN LA PLANTA:				
MUESTRA	DOSIS (ppm)	TURBIDEZ INICIAL (NTU)	TRUBIDEZ FINAL (NTU)	PORCENTAJE DE REMOCION
1				
2				
3				
Agua Cruda				

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.5 Presentación de los resultados.

Para la presentación de los resultados se empleó una serie de gráficos, en los cuales fueron presentadas las variaciones de los parámetros durante su recorrido por la planta. (Ver Gráfico N°1).

Grafica 1 Ejemplo de la variación de los sólidos totales, en los procesos unitarios de la planta potabilizadora.



La presentación del porcentaje de eficiencia en cuanto a la reducción de los parámetros Microbiológicos y Físicoquímicos en los procesos unitarios de la planta potabilizadora así

como el porcentaje de eficiencia de la planta en general fueron presentadas mediante gráficos lineales. (Ver Gráfico N°2)

Grafica 2 Porcentaje de Eficiencia de los procesos unitarios y de la planta potabilizadora con respecto al parámetro sólidos totales.



#### 4.6 Análisis de Resultados

El análisis de resultados consistió en la evaluación de la eficiencia general de la planta potabilizadora, por lo tanto se estableció un porcentaje para cada parámetro evaluado ya sea físico, microbiológico y químico, por lo cual se diseñó una tabla con niveles de calificación que determinó la eficiencia final de la planta (ver tabla 19).

**Tabla 24 Nivel de eficiencia de la Planta Potabilizadora Tamulasco.**

Nivel de eficiencia de la planta Tamulasco.	Escala Numérica por niveles	Puntaje planta.
Deplorable	1 – 3	1
Malo	4 – 5	
Bueno	6 – 7	
Muy Bueno	8 – 9	
Excelente	10	

*Fuente: Elaboración Propia.*

Los porcentajes de eficiencia se compararon mediante el sistema de puntuación, el cual se estableció por niveles de eficiencia en escala numérica del 1 al 10:

**Deplorable:** La planta potabilizadora se encuentra en condiciones deplorables cuando su puntaje esté en los rangos que van desde el 1 al 3, ya que el tratamiento físico y químico no es adecuado para el tipo de afluente que entra a la planta por lo que se debe evaluar la calidad del agua a potabilizar ya que ésta se convertirá en un vehículo de transporte de enfermedades que afectaran la salud pública.

**Malos:** La planta potabilizadora tiene déficit ya que se encuentra en rangos de 4 – 5, este puede ser determinado por mal funcionamiento de la estructura en general de la planta (corto circuitos a lo largo del proceso) afectando la coagulación y floculación.

**Buenos:** La planta potabilizadora está en un nivel bueno colocándolo en rangos de 6 - 7 posiblemente por la inadecuada dosificación y mezcla del químico utilizado para la coagulación, por lo que parámetros como turbidez y sólidos totales representaran un problema a lo largo de los procesos, poniendo en riesgo la calidad de agua a distribuir.

**Muy buenos:** La planta potabilizadora se encuentra en condiciones muy buenas ya que su puntaje esta entre los rangos de 8 – 9 cumpliendo con lo establecido en la Norma Obligatoria Salvadoreña de Agua, la cual se debe monitorear para mejorar la eficiencia de la planta.

**Excelentes:** La planta potabilizadora presenta excelentes resultados en cuanto al porcentaje de eficiencia obteniendo un puntaje de 10, en la reducción de los parámetros físicos,

químicos y microbiológicos, cumpliendo así con lo establecido en la Norma Obligatoria Salvadoreña por lo que no representa un riesgo para la salud de la población abastecida.

#### **4.7 Control de calidad de los datos**

Para la validación de los instrumentos utilizados en la recolección de los datos, se gestionó con ANDA, los resultados de los análisis realizados en la planta de tratamiento de agua potable “Chilamas”, ubicada en el Municipio de La Libertad, Departamento de La Libertad, tomados en el mes de diciembre del año 2015; ya que ésta planta cuenta con características similares a la planta en estudio.

El proceso de validación consistió en introducir los resultados obtenidos al conjunto de instrumentos contruidos desde la etapa de procesamiento, presentación y evaluación de los datos; el proceso llevado a cabo fue el siguiente:

Se vaciaron los resultados de los análisis proporcionados, en las matrices diseñadas para la tabulación y evaluación de los datos, luego se confrontaron con la Norma Salvadoreña Obligatoria para agua potable, verificando que los parámetros obtenidos en los análisis se encontraron dentro de los rangos establecidos, con lo cual se garantizaría la calidad óptima del agua para consumo humano; así mismo se comprobó y verificó si los instrumentos cuentan con los lineamientos requeridos que nos permitan recolectar datos los cuales nos darán respuesta a los objetivos planteados.

Los instrumentos utilizados en la validación de la Planta Potabilizadora Chilama, llenaron las expectativas ya que cumplieron con el objetivo para determinar el nivel de eficiencia en

el funcionamiento de los procesos unitarios para dicha planta, únicamente se tuvo que modificar de acuerdo a los componentes que hay en la Planta Potabilizadora Tamulasco, (ej.: Floculador1, Floculador2 Sedimentador1 y sedimentador 2), siendo la única deficiencia encontrada al momento de vaciar los datos obtenidos.

## CAPITULO V:

### PRESENTACIÓN, ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1 Presentación y Análisis de Resultados

##### 5.1.1 Presentación de resultados de análisis de afluente y efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco año 2015.

Para la obtención de resultados confiables y datos que generen un mayor aporte a la investigación se tomaron los resultados de análisis microbiológicos, físicos y químicos de la Planta Potabilizadora Tamulasco realizados y facilitados por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados ANDA correspondientes al año 2015, esto permitió al grupo investigador conocer y evaluar los parámetros realizados rutinariamente por la autónoma y de esta manera observar el comportamiento de resultados de los parámetros medidos.

En los resultados presentados del año 2015 solo se obtuvo el porcentaje de reducción de la eficiencia de algunos parámetros lo cual impidió presentar una evaluación del porcentaje de eficiencia en general.

**Tabla 25 Resultado de análisis completo del afluente y efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco.**

<b>MATRIZ DE RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICOS Y FÍSICO-QUÍMICOS DEL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LA PLANTA POTABILIZADORA TAMULASCO AÑO 2015</b>						
<b>FECHA</b>	<b>23 de Noviembre de 2015</b>					
<b>Características</b>	<b>Unidades</b>	<b>Parámetros según N.S.O. 13.07.01:08</b>	<b>Resultados de análisis del afluente de la planta.</b>		<b>Resultados de análisis del efluente de la planta</b>	<b>Porcentaje de eficiencia.</b>
<b>Coliformes totales</b>	<i>NMP/100 ml</i>	<1.1	4900		6.9	99.85 %
<b>Bacterias Coliformes fecales</b>	<i>NMP/100 ml</i>	<1.1				
<b>E. Coli</b>	<i>NMP/100 ml</i>	<1.1	790	<	1.1	99.86 %
<b>Bacterias heterótrofas y aerobias mesófilas</b>	<i>UFC/100 ml</i>	<100			47	
<b>Organismos patógenos</b>		Ausencia				
<b>p H</b>		6 - 8,5	8.13		7.43	8.61 %
<b>Turbidez</b>	<i>UNT</i>	5	12		0.48	96 %
<b>Temperatura mx del agua</b>	<i>°C</i>	No rechazable	24.3		24.7	-1.64 %
<b>Sólidos totales</b>	<i>mg/l</i>	1,000	72.90		86.20	-18.24 %
<b>color</b>	<i>(Pt-Co)</i>	15	10		0	
<b>Olor</b>		No rechazable	Ninguno		CLORO-4	
<b>Sabor</b>		No rechazable				
<b>Cloro Residual</b>	<i>mg/l</i>	1.1	Cruda		2.2	
<b>Aluminio</b>	<i>mg/l</i>	0.2				
<b>Hierro</b>	<i>mg/l</i>	0.3	0.502	<	0.035	93 %
<b>Arsénico</b>	<i>mg/l</i>	0.01		<	0.002	
<b>Manganeso</b>	<i>mg/l</i>	0.1		<	0.014	
<b>Cromo Hexavalente</b>	<i>mg/l</i>	0.05	< 0.014			

*Fuente: Elaboración Propia.*

En la tabla anterior se presentaron los resultados de análisis microbiológicos, físicos y químicos del afluente y efluente de la “Planta Potabilizadora Tamulasco” facilitados por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANANDA) los cuales corresponden al mes de noviembre del año 2015 en esta se puede observar que algunos parámetros microbiológicos y químicos no fueron analizados.

**Tabla 26 Resultado de análisis físicos de los procesos unitarios de Planta Potabilizadora Tamulasco año 2015.**

MATRIZ PARA EL VASIAO DE DATOS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ANALISIS FISICOS DE LOS PROCESOS UNITARIOS DE LA PLANTA TAMULASCO.												
FECHA	Noviembre 2015											
Características	Unidades	Parámetros según N.S.O. 13.07.01:08	Resultado de análisis de Afluente	Desarenador	Floculador		Sedimentador		Filtros		Resultado de Análisis de efluente	Eficiencia de los proceso unitarios
					F1	F2	S1	S2	Ft.1	Ft.2		
pH		6 - 8,5	8.13	8.13	7.73		7.89		8		7.43	
Turbidez	UNT	5	12	12	15		1.9		12		24.7	96.40%
Temperatura mx del agua	°C	No rechazable	24.3	24.3	24.3		24.3		24.8		86.2	
Solidos totales	mg/l	1,000	72.9	72.9	83.1		81.5		81.3		0	-18.24%
color	(Pt-Co)	15	10	100	0		0		0		COLORO-4	COLORO-4
Olor		No rechazable	No rechazable	No rechazable	No Rechazable		No Rechazable		No Rechazable		Cloro-3	Cloro-3
Sabor		No rechazable	No Rechazable	No Rechazable	No Rechazable		No Rechazable		No Rechazable		No Rechazable	No Rechazable

*Fuente: Tabla de presentación de resultados de análisis de la Planta Potabilizadora Tamulasco año 2015.*

En la tabla N° 26 se presentan los parámetros físicos evaluados en los efluentes de los procesos unitarios de la Planta Potabilizadora Tamulasco, facilitados por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) en Noviembre del año 2015, en la tabla se observa que no se realizó el muestreo para cada uno de los procesos unitarios nombrados como componentes numero 2 (ej.: Floculador 1 Floculador 2), por lo que si no se hace muestreo y análisis general de todos los procesos los resultados de los análisis de la planta pueden verse comprometidos ya que los efluentes de los filtros se unen y pueden afectar los parámetros evaluados al final de este.

**Tabla 27: Porcentaje de eficiencia en la reducción de parámetros físicos en los procesos unitarios de la Planta Potabilizadora Tamulasco año 2015.**

Características	Unidades	Eficiencia Desarenador	Eficiencia Floculadores		Eficiencia Sedimentadores		Eficiencia Filtros	
			F1	F2	S1	S2	Ft.1	Ft.2
Turbidez	UNT	0.00 %	-25.00 %		84.17 %		90.00 %	
Solidos totales	mg/l	0 %	-13.99 %		-11.80 %		-11.52 %	

*Fuente: Elaboración a partir de la tabla 21.*

En la tabla N° 27 se presenta el porcentaje de eficiencia en la reducción de los parámetros físicos en cada uno de los procesos unitarios para el año 2015, a partir de los resultados de la tabla N° 22 de donde se tomó el resultado de la eficiencia obtenida por proceso unitario y en la cual solo se obtuvieron porcentajes para los componentes número 1, con los parámetros de interés para el estudio.

### 5.1.2 Presentación de resultados de análisis realizados en la Planta Potabilizadora Tamulasco año 2016.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de análisis completos del afluente y efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco en el año 2016.

**Tabla 28 Resultados de Análisis Completos en el afluente y efluente de la "Planta Potabilizadora Tamulasco".**

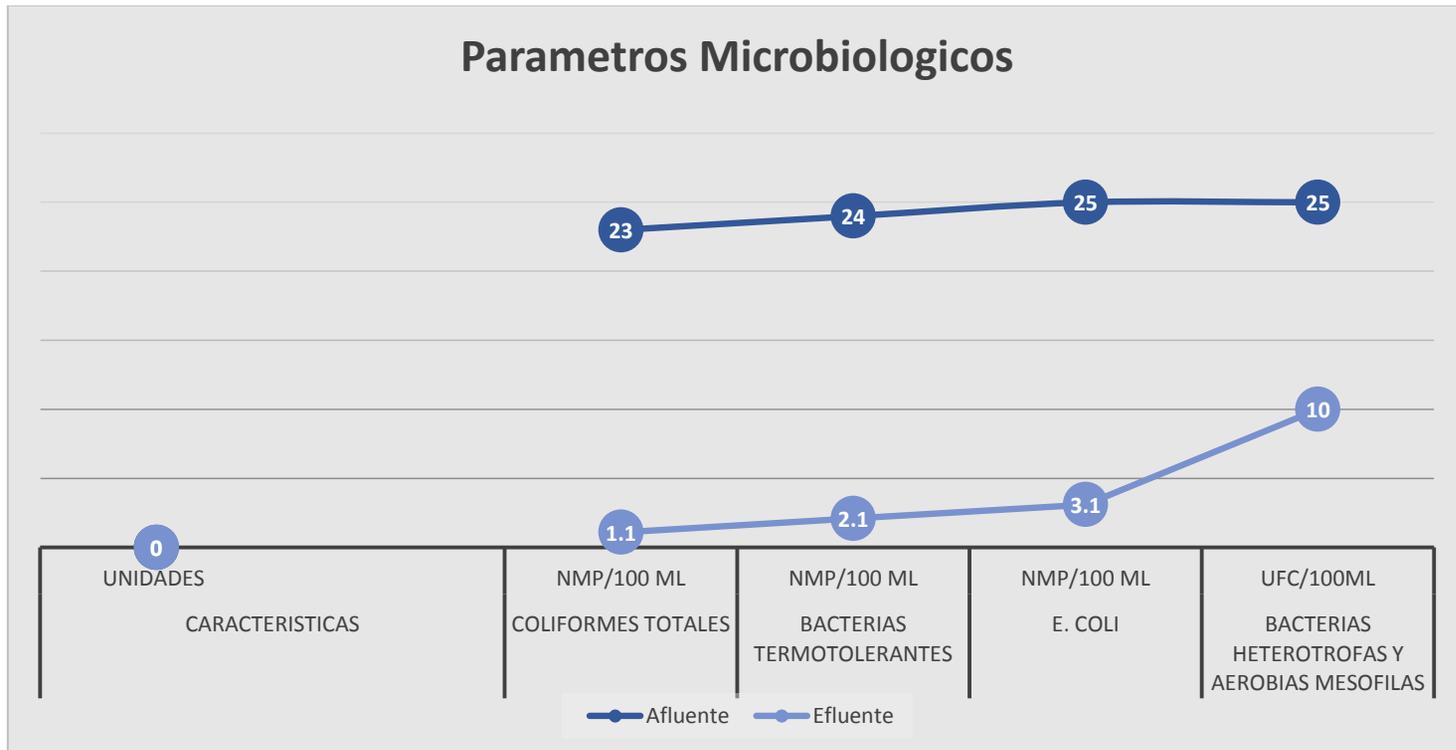
MATRIZ DE RESULTADOS DE LOS ANLISIS MICROBIOLÓGICOS Y FÍSICO-QUÍMICOS DEL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LA PLANTA POTABILIZADORA TAMULASCO AÑO 2016							
FECHA	18 de Agosto (Físicos y químicos) / 9 de Septiembre (Microbiológicos y Químicos) 2016.						
Características	Unidades	Parámetros según N.S.O. 13.07.01:08	Resultados de análisis del afluente de la planta.		Resultados de análisis del efluente de la planta	Porcentaje de eficiencia:	
Coliformes totales	NMP/100 ml	<1.1	<	23	>	1.1	95.2 %
Bacterias Coliformes fecales	NMP/100 ml	<1.1	<	23	>	1.1	95.2%
E. Coli	NMP/100 ml	<1.1	<	23	>	1.1	95.2 %
Bacterias heterótrofas y aerobias mesófilas	UFC/100 ml	<100		25	<	10	60.0 %
Organismos patógenos		Ausencia		Presencia		Ausencia	Ausencia
p H		6 - 8,5		7.2		6.8	N/A
Turbidez	UNT	5		25.6		0.7	97.2 %
Temperatura mx del agua	°C	No rechazable		21.2		20	5.66%
Solidos totales	mg/l	1,000		95.7		107.9	-12.74%
color	(Pt-Co)	15		0		0	N/A
Olor		No rechazable		Ninguno		Cloro-3	N/A
Sabor		No rechazable		No Rechazable		No Rechazable	N/A
Cloro Residual	mg/l	1.1		Cruda		1.1	N/A
Aluminio	mg/l	0.2		0.05		0.04	20.0 %
Hierro	mg/l	0.3		0.04		0.02	50.0 %
Arsénico	mg/l	0.01		No Detectado		No Detectado	
Manganeso	mg/l	0.1	<	0.013	<	0.04	-207.7%
Cromo Hexavalente	mg/l	0.05	<	0.04		0.03	25.0 %

Fuente: Datos Obtenidos con la colaboración de CENSALUD, Laboratorio de Aguas de la facultad de química y farmacia y el laboratorio fisicoquímico de la Planta Potabilizadora Tamulasco de ANDA (Anexo) 2016.

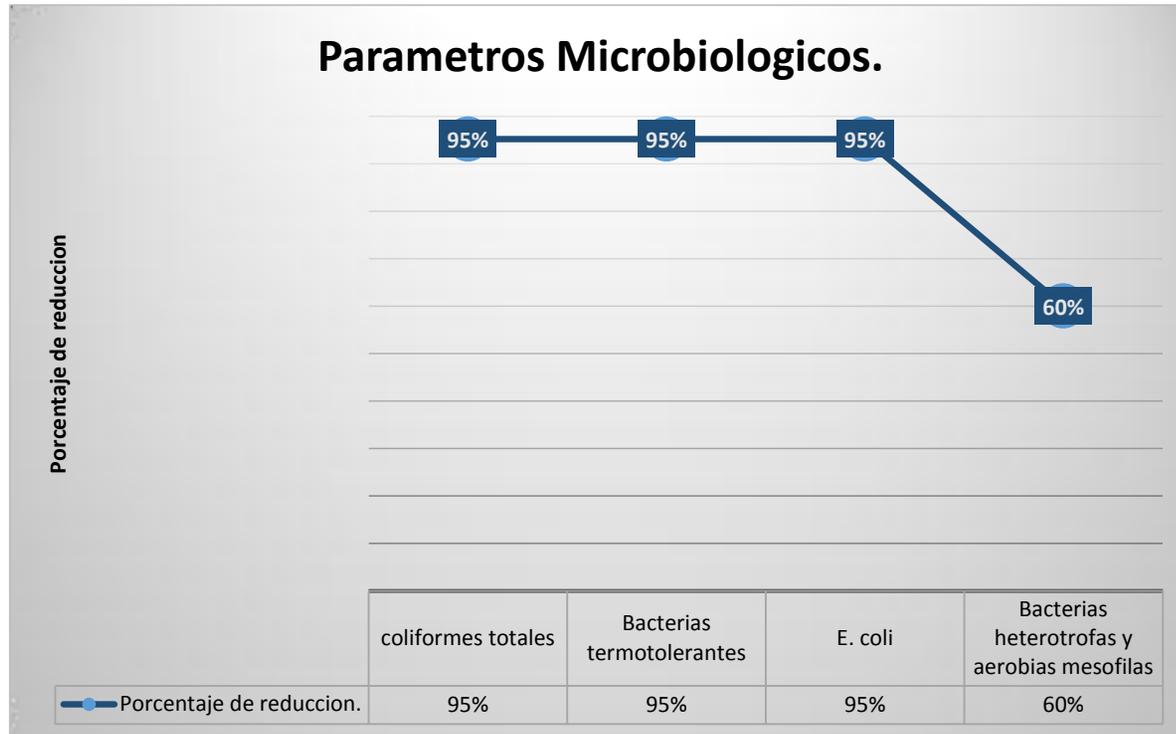
En la tabla anterior se presentaron los resultados de análisis microbiológicos, físicos y químicos del afluente y efluente de la “Planta Potabilizadora Tamulasco” muestreados, por el grupo investigador, las muestras fueron tomadas en los meses de agosto y septiembre del año 2016 época de invierno; a diferencia de los análisis facilitados por ANDA se puede observar que en este caso se han podido obtener resultados de todos los parámetros requeridos para la evaluación, de esta forma se pudo obtener la eficiencia de reducción para cada parámetro evaluado.

Se pudo constatar que parámetros físicos como sólidos totales ha presentado un déficit así como el parámetro químico manganeso, los parámetros microbiológicos presentaron un alto grado de eficiencia en la reducción, lo cual indica que la dosis del desinfectante aplicado en la planta potabilizadora es efectiva.

Grafica 3 Resultado de parámetros microbiológicos del afluente y efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco.



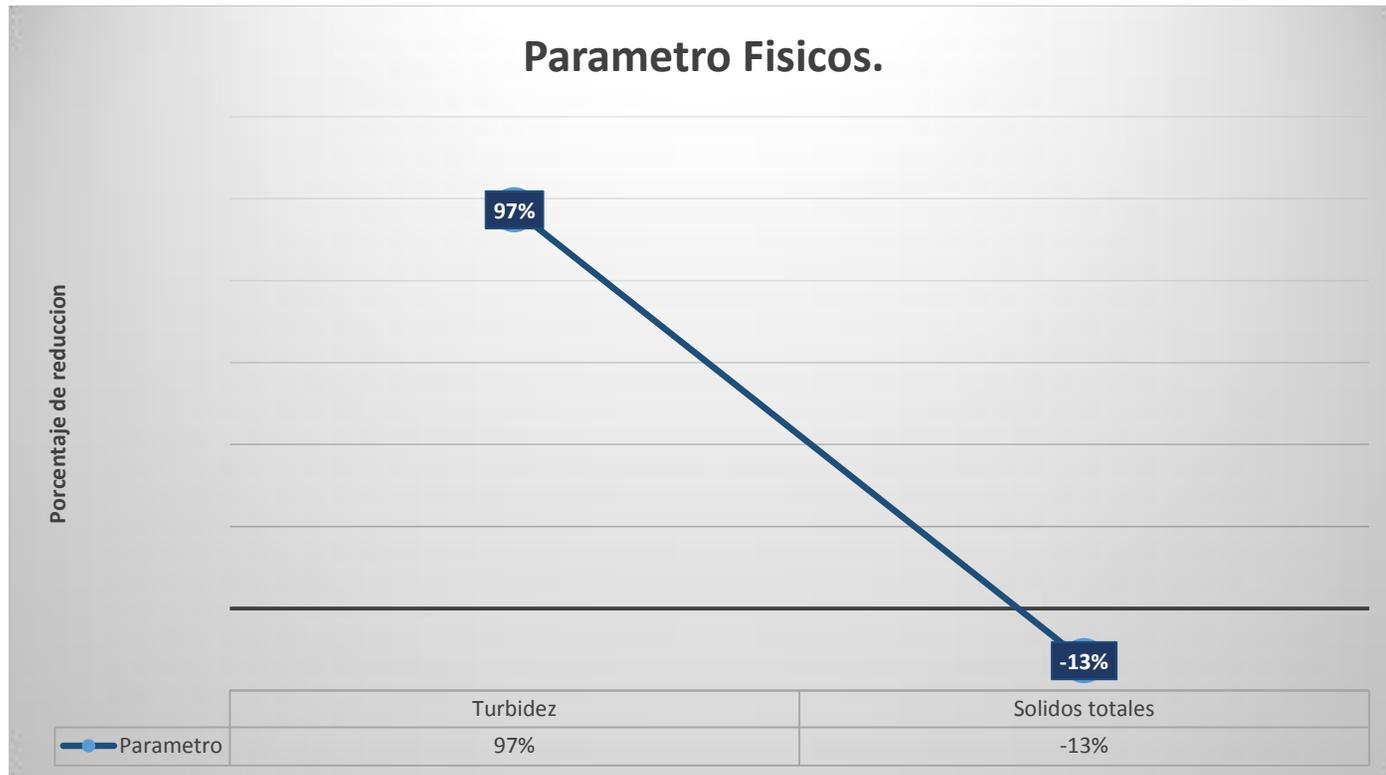
Grafica 4 Porcentaje de Reducción de parámetros microbiológicos del afluente y efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco.



Grafica 5 Resultado de reducción de parámetros físicos del afluente y efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco.



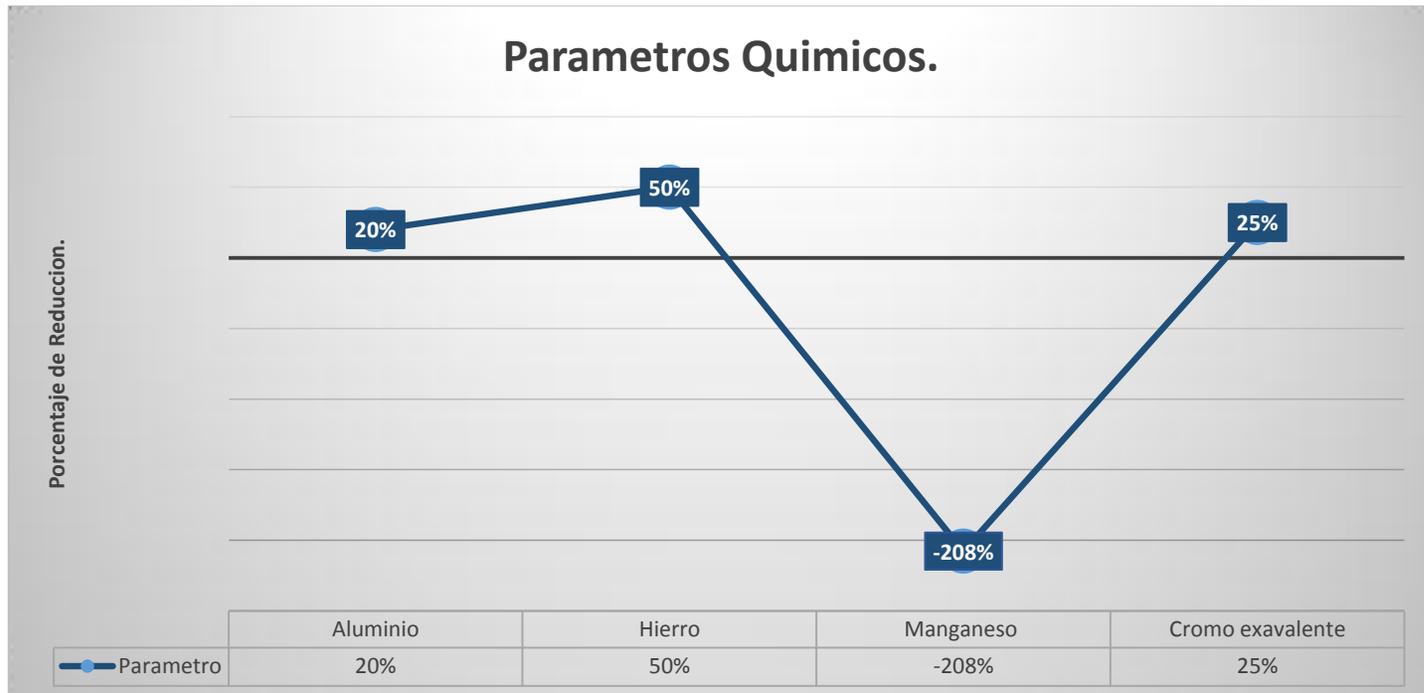
**Grafica 6 Porcentaje de reducción de parámetros físicos del afluente y efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco.**



**Grafica 7 Resultado de Parámetros químicos del afluente y efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco.**



Grafica 8 Porcentaje de reducción de parámetros químicos del afluente y efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco.



**Tabla 29 Resultados de la eficiencia de parámetros físicos de los Procesos Unitarios de la Planta Potabilizadora Tamulasco año 2016.**

MATRIZ DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EFICIENCIA DE REDUCCION DE PARAMETROS FISICOS DE LOS PROCESOS UNITARIOS DE LA PLANTA TAMULASCO AÑO 2016												
FECHA	18 de Agosto 2016											
Características	Unidades	Parámetros según N.S.O. 13.07.01:08	Resultado de análisis de Afluente	Desarenador	Floculador		Sedimentador		Filtros		Resultado de Análisis de efluente	Eficiencia de los procesos unitarios
					F1	F2	S1	S2	Ft.1	Ft.2		
pH		6 - 8,5	7.4	7.4	7.2	7.2	7.4	7.4	7.2	7.8	6.8	6.8
Turbidez	UNT	5	29.6	20.6	7.8	8.3	2.4	3.7	0.9	1.1	0.7	97.64%
Temperatura mx del agua	°C	No rechazable	21	21.2	25	25.2	24	25	23	23.2	20	20
Sólidos totales	mg/l	1,000	95.7	90	105.3	106.1	81.5	81.9	107.5	107.6	107.9	-12.75%
color	(Pt-Co)	15	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0
Olor		No rechazable	No rechazable	No rechazable	No Rechazable		No Rechazable		No Rechazable		Cloro-3	Cloro-3
Sabor		No rechazable	No Rechazable	No Rechazable	No Rechazable		No Rechazable		No Rechazable		No Rechazable	No Rechazable

*Fuente: 1 Datos Obtenidos con ayuda del laboratorio fisicoquímico de la Planta Potabilizadora Tamulasco 2016.*

En la tabla N° 29 se presentan los parámetros físicos evaluados en los efluentes de los procesos unitarios de la Planta Potabilizadora Tamulasco, muestreados y analizados por el equipo investigador, en el laboratorio fisicoquímico de la misma planta, en el mes de agosto del año 2016, en estos análisis se evaluaron todos los componentes de la planta en estudio.

**Tabla 30 Porcentaje de la eficiencia de reducción de parámetros físicos de cada proceso unitario de la Planta Potabilizadora Tamulasco año 2016.**

Características	Unidades	Eficiencia Desarenador	Eficiencia Floculadores		Eficiencia Sedimentadores		Eficiencia Filtros	
			F1	F2	S1	S2	Ft.1	Ft.2
Turbidez	UNT	30.41 %	73.65 %	71.96%	91.89%	87.5%	96.96%	96.28%
Solidos totales	mg/l	5.96%	-17.00%	-17.89%	22.60%	23.66%	-31.90%	-32.96%

*Fuente: Porcentajes obtenidos con los datos del año 2016 tomadas de la tabla 25.*

En la tabla 30 se presenta el porcentaje de eficiencia de cada uno de los procesos unitarios en la reducción de parámetros físicos para el año 2016, a partir de los resultados de la tabla N° 25, los cuales fueron tomados como base para obtener el porcentaje de reducción.

## 5.2 Evaluación e interpretación de la eficiencia del Afluente y Efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco para los años 2016.

En relación a los resultados obtenidos de los análisis: Físicos, Químicos y Microbiológicos se colocan los siguientes datos, los cuales presentan los resultados obtenidos para afluente y efluente en el años 2016, se tiene el porcentaje de reducción para cada parámetro y el puntaje obtenido para cada uno lo cual suma el puntaje de evaluación de la eficiencia de reducción.

**6. Tabla 31 Evaluación global de la Planta Potabilizadora Tamulasco año 2016.**

<b>Características</b>	<b>Unidades</b>	<b>Parámetros según N.S.O. 13.07.01:08</b>	<b>Afluente de la planta potabilizadora</b>	<b>Efluente de la planta potabilizadora.</b>	<b>Porcentaje de Reducción.</b>	<b>Puntaje</b>
<b>Coliformes totales</b>	<i>NMP/100 ml</i>	<1.1	23	1.1	95.2%	0.53
<b>Bacterias Termotolerantes</b>	<i>NMP/100 ml</i>	<1.1	23	1.1	95.2%	0.53
<b>E. Coli</b>	<i>NMP/100 ml</i>	<1.1	23	1.1	95.2%	0.53
<b>Bacterias heterótrofas y aerobias mesófilas</b>	<i>UFC/100ml</i>	<100	25	10	60.0%	0.33
<b>Organismos patógenos</b>		Ausencia	Presencia	Ausencia		0.55
<b>p H</b>		6 - 8,5	7.2	6.8		0.55
<b>Turbidez</b>	<i>UNT</i>	5	25.6	0.7	97.2%	0.54
<b>Temperatura mx del agua</b>	<i>°C</i>	No rechazable	21.2	20		0.55
<b>Solidos totales</b>	<i>mg/l</i>	1,000	95.7	107.9	-12.74%	-0.07
<b>color</b>	<i>(Pt-Co)</i>	15	0	0		0.55
<b>Olor</b>		No rechazable	Ninguno	Cloro 3		0.55
<b>Sabor</b>		No rechazable	No rechazable	No rechazable		0.55

<b>Cloro residual</b>	<i>mg/l</i>	<b>1.1</b>	cruda	1.1		0.55
<b>Aluminio</b>	<i>mg/l</i>	<b>0.2</b>	0.05	0.04	20%	0.11
<b>Hierro</b>	<i>mg/l</i>	<b>0.3</b>	0.04	0.02	50%	0.28
<b>Arsénico</b>	<i>mg/l</i>	<b>0.01</b>	No detectado.	No detectado.		0.55
<b>Manganeso</b>	<i>mg/l</i>	<b>0.1</b>	0.013	0.04	-207.7%	-1.15
<b>Cromo Hexavalente</b>	<i>mg/l</i>	<b>0.05</b>	0.04	0.03	25.0%	0.14
<b>EVALUACIÓN TOTAL OBTENIDO POR LA PLANTA</b>						<b>6.16</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

La tabla anterior presenta la evaluación del porcentaje de eficiencia de reducción de la Planta Potabilizadora Tamulasco para el año 2016, obteniendo un nivel de evaluación de 6.16 calificación que indica que la Planta en estudio se encuentra en la categoría de: bueno, debido a que algunos parámetros han presentado un déficit en su evaluación debido a que no se ha administrado correctamente el químico empleado en la coagulación por lo que se presentan problemas de turbidez y sólidos totales altos en el efluente de la Planta, motivo por el cual estos parámetros han obtenido una calificación negativa.

Los parámetros pH, temperatura, sabor, olor y cloro fueron evaluados de diferente forma por lo que se les dio una ponderación según la calificación máxima que puede obtener un parámetro en el sistema de evaluación diseñado.

Ya que estos cumplen con lo establecido en la N.O.S 13.01.07:08 se les asigno la calificación máxima que es 0.55 correspondiente al puntaje máximo asignado dentro de la evaluación global.

**Tabla 32 Análisis de Resultados de la Evaluación del porcentaje de eficiencia del Afluente y Efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco.**

Resultados de Análisis Microbiológicos		
Parámetro	Porcentaje de eficiencia	Evaluación del porcentaje de eficiencia
Coliformes totales	95.2 %	0.53
Coliformes fecales	95.2%	0.53
E. Coli	95.2%	0.53
Bacterias heterótrofas y aerobias mesófilas	60.0%	0.33
Organismos patógenos Pseudomonas	100% (Ausencia)	0.55
Puntaje ganado para el área Microbiológica		2.47
Análisis de Resultados		
<p>Los datos presentados anteriormente reflejan el porcentaje de eficiencia en la reducción de los parámetros microbiológicos del afluente y efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco; de la misma forma se completó la evaluación obtenida de cada parámetro.</p> <p>Para los parámetros Coliformes totales, Coliformes fecales y E. Coli se observa que ha existido un alto porcentaje de remoción, ya que en el efluente han tenido un porcentaje de reducción del 95.2%. Al ser evaluado cada porcentaje, obtienen un grado de evaluación de 0.53 por cada parámetro.</p> <p>Los parámetros microbiológicos Bacterias heterótrofas y aerobias mesófilas obtuvieron un porcentaje de eficiencia de reducción del 60.0% ya que se redujo considerablemente, no sobrepasando los niveles máximos exigidos por la NSO 13.07.01:08, sin embargo no se logró reducir por completo, debido a esto la evaluación del porcentaje de eficiencia fue de 0.33.</p> <p>En el caso de organismos patógenos (Pseudomonas) se pudo confirmar la ausencia total en el efluente de la Planta, por lo cual se obtuvo un 100% en la eficiencia de la reducción de dicho parámetro, resultando en una evaluación de 0.55, puntuación máxima que puede sumar un solo parámetro evaluado.</p> <p>Al sumar las evaluaciones de cada parámetro microbiológico se ha obtenido un puntaje de 2.47, el cual será sumado con los puntajes obtenidos en los demás parámetros evaluados del afluente y efluente de la Planta en estudio. Esto servirá para obtener la evaluación global de la Planta y poder ubicar el nivel de eficiencia de reducción de los parámetros en la Planta Potabilizadora Tamulasco.</p>		
Resultados de Análisis Físico		
Parámetro	Porcentaje de Eficiencia	Evaluación del porcentaje de eficiencia
Turbidez	97.2%	0.54
*Temperatura mx del agua	5.66%	0.55
Solidos totales	-12.74%	-0.07
*Color	0	0.55
*Olor	Cloro 3	0.55
*Sabor	No rechazable	0.55
Puntaje ganado para el área Física.		2.67

### Análisis de Resultados

Los parámetros evaluados en este apartado corresponden a los aspectos Físicos del Afluyente y Efluente de la Planta Tamulasco.

Se obtuvo un porcentaje de eficiencia en el parámetro turbidez de 97.2 % reduciendo de 25 hasta 0.7 UNT. Obteniendo una evaluación del porcentaje de eficiencia de 0.54.

Algunos parámetros como Temperatura del agua, Color, Olor y Sabor no pudieron ser evaluados con la fórmula establecida ya que sus unidades valorativas no lo permitieron, pero estos cumplían totalmente con la norma obligatoria y no representaban riesgo para la salud del consumidor, por lo que se les otorgo la evaluación de 0.55.

Finalmente observamos el porcentaje de eficiencia en la reducción de sólidos totales la cual ha sido de -12.74% resultando con una evaluación negativa de -0.07; esto se debe a que en el efluente este parámetro se encontró en cantidades mucho mayores que en el afluyente de la planta, observando que no existe una reducción del mismo sino un aumento al final de todos los procesos, elevándose hasta 107.9 mg/l.

El puntaje ganado para los parámetros físicos evaluados en la Plata Potabilizadora Tamulasco a partir de la sumatoria de la evaluación de cada parámetro fue de 2.67.

### Resultados de Análisis Químicos

Parámetros	Porcentaje de Eficiencia	Evaluación del porcentaje de eficiencia
pH*	6.8	0.55
Cloro Residual	1.1	0.55
Aluminio	20.0%	0.11
Hierro	50.0%	0.28
Arsénico	No detectado	0.55
Manganeso	-204.7%	-1.15
Cromo Hexavalente	25.0%	0.14
Puntaje ganado para el área química		1.03

### Análisis de Resultados

\*En este apartado se analizaran los resultados de la evaluación de los parámetros químicos:

Para el parámetro Cloro residual se presenta solamente el dato encontrado en el efluente de la planta debido a que no existe una pre cloración en el afluyente, sin embargo cumple con la NSO 13.07.01:08. Por lo tanto se le otorgó el puntaje máximo que fue de 0.55.

Para el Aluminio se puede observar un porcentaje de eficiencia del 20.0% obteniendo una evaluación de 0.11 ya que la reducción ha sido mínima pasando de 0.05 a 0.04. El parámetro del Hierro obtuvo un porcentaje de eficiencia en su reducción del 50.0% obteniendo una evaluación de 0.28, ya que fue reducido pero no en grandes cantidades.

En el caso del parámetro Arsénico, no se detectó en el afluyente ni en el efluente de la Planta, por lo tanto obtuvo el puntaje máximo de 0.55.

El manganeso obtuvo un porcentaje de eficiencia de reducción de -204.7% resultando en una evaluación de -1.15 ya que se observó que en el efluente de la planta registró valores mucho más altos que en el afluyente, a

pesar de que el dato registrado en el efluente de la planta se encuentra bajo lo establecido en el NSO 13.07.01:08 no ha existido una eficiencia en la reducción de este parámetro, sino el aumento del valor al final de todos los procesos unitarios.

Finalmente para el parámetro Cromo Hexavalente se tuvo un porcentaje de eficiencia en su reducción del 25.0% obteniendo una evaluación de 0.14, ya que fue mínimamente reducido en comparación al dato registrado en el afluente de la Planta.

\* El parámetro pH está establecido en unidades logarítmicas por lo que la evaluación fue directamente comparación con los rangos de la norma quien establece que el pH deberá estar a un límite máximo de 8.5 por lo que obtuvo el puntaje final de 0.55.

Para los parámetros Químicos se obtuvo un puntaje final de -0.07.

*Fuente Elaboración propia*

### 5.2.1 Evaluación del porcentaje de eficiencia en la reducción de los parámetros físicos de los procesos unitarios de la Planta Potabilizadora Tamulasco del año 2016.

Tabla 33 Evaluación del porcentaje de eficiencia de parámetros físicos en los efluentes de la Planta Potabilizadora Tamulasco.

Procesos	Porcentaje de eficiencia		Evaluación del porcentaje de eficiencia de la Turbidez	Evaluación del porcentaje de eficiencia de los Sólidos Totales
	Turbidez *	Sólidos Totales*		
Desarenador	30.41%	5.96%	0.76	0.15
Floculador 1	73.65%	-17.00%	1.84	-0.43
Sedimentador 1	91.89%	22.60%	2.30	0.57
Filtro 1	96.96%	-31.90%	2.42	0.80
PUNTAJE GLOBAL			7.32	-0.51
*Parámetros según N.S.O. 13.07.01:08 :			Turbidez 5 UNT	Máximo
Permisible			Sólidos Totales 1,000 mg/l	Máximo
Permisible				

Fuente Elaboración propia

De acuerdo a lo planteado en la tabla de evaluación del porcentaje de eficiencia de los procesos unitarios, se tiene que los componentes número 1 de la Planta potabilizadora Tamulasco en la reducción de la turbidez, obtuvo una calificación de 7.32, contando con un nivel de eficiencia bueno, ya que se ha logrado reducir este parámetro a su paso por cada proceso unitario. En cuanto a los sólidos totales se tiene una calificación negativa de -0.51 ya que este parámetro no ha sido reducido en su paso por los procesos unitarios, contrariamente este ha elevado su nivel, debido a esto se tiene que en cuanto a la reducción de sólidos totales los procesos unitarios se encuentran en un nivel malo.

Procesos	Porcentaje de eficiencia		Evaluación del porcentaje de eficiencia de la Turbidez	Evaluación del porcentaje de eficiencia de los Sólidos Totales
	Turbidez *	Sólidos Totales*		
Desarenador	30.41%	5.96%	0.76	0.15
Floculador 2	71.96%	-17.89 %	1.80	-0.45
Sedimentador 2	87.50%	23.66%	2.18	0.59
Filtro 2	96.28%	-32.96%	2.41	-0.82
PUNTAJE GLOBAL			6.39	-0.53
*Parámetros según N.S.O. 13.07.01:08 : Turbidez 5 UNT				Máximo
Permisible				
Sólidos Totales 1,000 mg/l				Máximo
Permisible				

*Fuente Elaboración propia*

En este apartado de la tabla se puede observar que el nivel de eficiencia de los procesos unitarios en la reducción del parámetro turbidez fue bueno ya que se ubica en una evaluación de 6.39, observando que la turbidez en su paso por cada proceso unitario ha disminuido progresivamente. No así el caso de la reducción de sólidos totales, donde el nivel de eficiencia ha sido malo ubicándose por debajo de lo mínimo establecido en la tabla de evaluación, ya que ha obtenido una evaluación de -0.53, debido a que este parámetro ha ido aumentando su nivel en su paso por cada proceso unitario.

Grafica 9 Evaluación del porcentaje de los efluentes de los procesos unitarios de la Planta Potabilizadora Tamulasco.

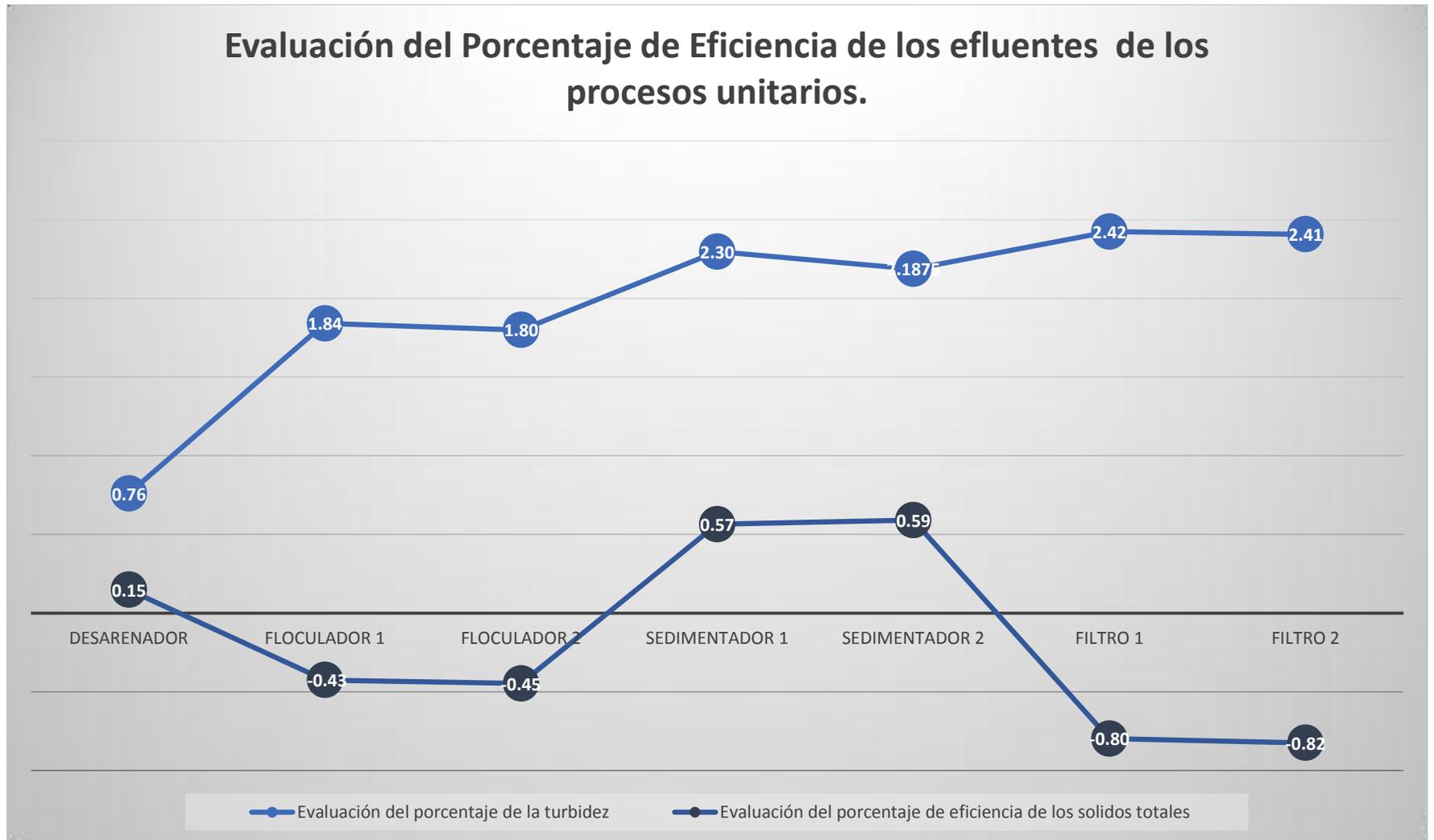


Tabla 34 Evaluación del porcentaje de eficiencia de los parámetros físicos de los procesos unitarios de la Planta Potabilizadora Tamulasco.

<b>Evaluación de la eficiencia de los Procesos Unitarios</b>			
<b>Parámetro : Turbidez</b>			
<b>Proceso</b>	<b>Porcentaje de eficiencia</b>	<b>Evaluación</b>	<b>Descripción</b>
Desarenador	30.41%	0.76	El parámetro turbidez obtuvo un porcentaje de reducción del 30.41 %, habiendo disminuido en comparación a la carga de turbidez que se presentó en el afluente de entrada, sin embargo la reducción de material particulado de tamaño mayor a 0, 2 mm no se efectuó en su totalidad, considerando la estación lluviosa y la mayor carga de contaminantes, posibilito la saturación de la estructura, por lo que obtuvo una evaluación final de 0.43.
Floculador 1	73.65%	1.84	La turbidez presenta un porcentaje de remoción del 73.65 % para el Floculador 1 con una evaluación final de 1.84 , por lo tanto la reducción de este parámetro es considerable, por otro lado se tiene el porcentaje de remoción de turbidez para el Floculador 2 de 71.96 %, existiendo una deficiencia leve para este, de igual forma se ha logrado reducir la turbidez cumpliendo parcialmente con su función, por lo tanto la evaluación fue de 1.80 sin embargo existen variaciones las cuales se deben de controlar ya que pueden influir en los procesos unitarios posteriores.
Floculador 2	71.96%	1.80	
Sedimentador 1	91.89%	2.30	La turbidez obtuvo un porcentaje de reducción del 91.89% de un 100 % lo que indica un buen funcionamiento del proceso, obteniendo una evaluación de 2.30, en cuanto al sedimentador 2 se puede observar un porcentaje de reducción del 87.5 %, el cual indica la deficiencia del proceso que le precede a pesar de ello se ha podido observar una considerable disminución de la turbidez y cumple con su función, por lo que se le otorgo una evaluación de 2.18.
Sedimentador 2	87.50%	2.18	
Filtro 1	96.96%	2.42	La turbidez ha obtenido un porcentaje de eficiencia del 96.96 % para el filtro 1 con una evaluación de 2.42, representando una excelente remoción de turbidez, así mismo el filtro 2 ha presentado un porcentaje de eficiencia del 96.28% es una leve deficiencia respecto al filtro 1, esto se debe a las variaciones que se dieron en los procesos que lo preceden (Floculador 2, Sedimentador 2) sin embargo se puede observar que este proceso está cumpliendo eficientemente con su propósito de diseño en cuanto a la reducción de la turbidez por lo tanto obtuvo una evaluación de 2.41.
Filtro 2	96.28%	2.41	

*Fuente: Elaboración propia.*

Grafica 10 Porcentaje de Reducción de la Turbidez de Los efluentes de cada uno de los procesos unitarios de la Planta Potabilizadora Tamulasco.

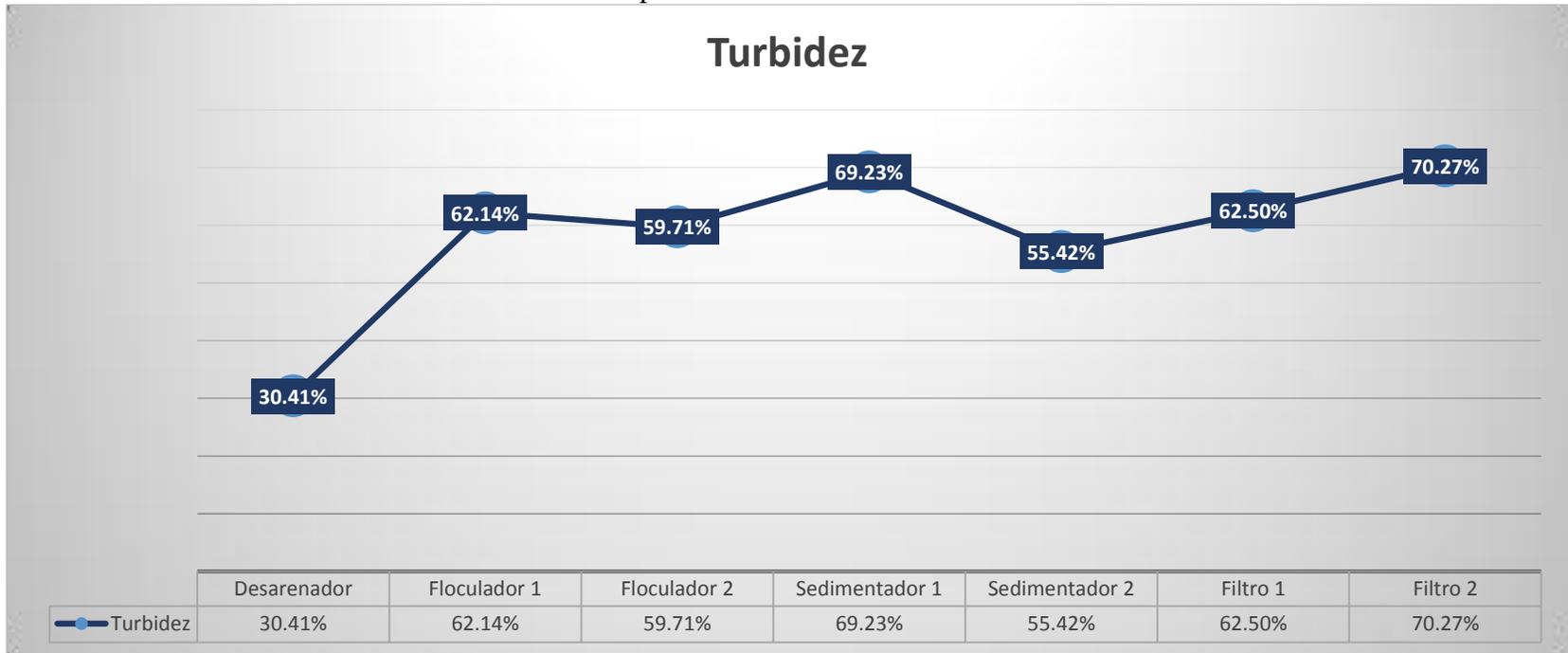
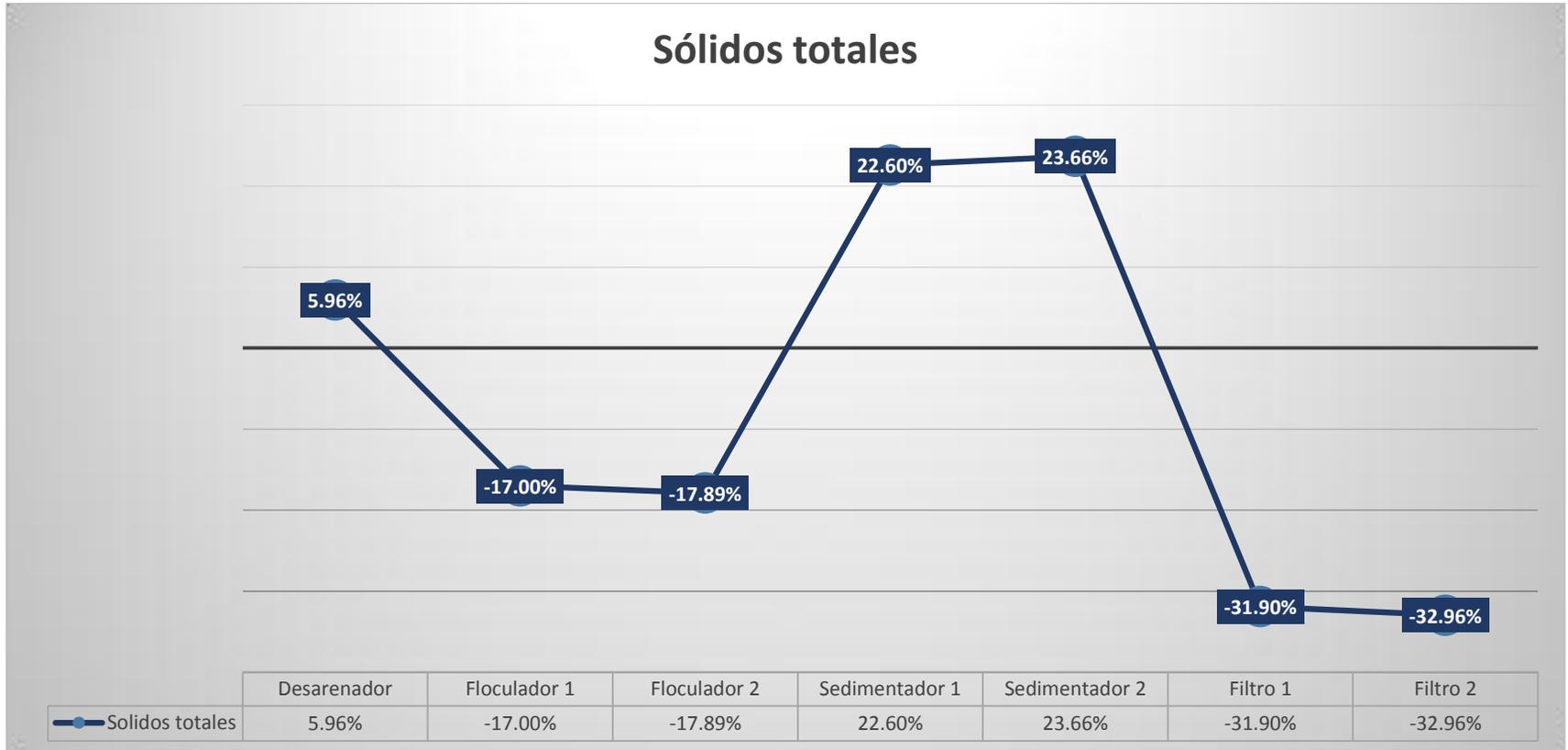


Tabla 35 Evaluación del porcentaje de eficiencia de los parámetros físicos de los procesos unitarios de la Planta Potabilizadora Tamulasco del año 2016.

Evaluación de la eficiencia de los Procesos Unitarios			
Parámetro : Sólidos Totales			
Proceso	Porcentaje de eficiencia	Evaluación	Descripción
Desarenador	5.96%	0.15	La evaluación para sólidos totales en este proceso han sido de 0.15; ya que estos fueron removidos levemente por lo cual se puede observar que se tiene un porcentaje de eficiencia del 5.96, ya que este proceso solamente remueve arenas y partículas de gran tamaño dejando a su paso partículas de menores dimensiones.
Floculador 1	-17.00%	-0.43	Para los sólidos totales en el Floculador 1 se tiene un porcentaje de eficiencia del -17% con una evaluación de -0.43 y para el Floculador 2 de un -17.89% con evaluación de -0.45; esto debido a que en esta etapa ha sido aplicado el químico coagulante el cual favorece la formación de sólidos suspendidos, en el caso del Floculador 2 se ha venido observando una mayor turbidez desde el proceso anterior y para este una mayor cantidad de sólidos totales. A pesar de este aumento comparado con el resultado de sólidos totales para el proceso unitario anterior se puede mencionar que esta elevación no representa fallas en el funcionamiento de los Floculadores ya que en este momento se ha aplicado el coagulante, por lo tanto es donde se da la mayor formación de flóculos y microflóculos que están suspendidos en el agua los cuales representan un papel muy importante para el proceso de sedimentación y por ende generan la elevación de los sólidos totales.
Floculador 2	-17.89 %	-0.45	
Sedimentador 1	22.60%	0.57	El parámetro de sólidos totales ha presentado un porcentaje de reducción del 22.60%, con una evaluación de 0.57 en el sedimentador 1, siendo reducido levemente, ya que este proceso no permite que se dé una mayor remoción de sólidos totales; en cuanto al sedimentador 2 podemos ver que obtuvo una eficiencia del 23.66% superando al sedimentador 1 y una evaluación de 0.59, sin embargo se puede ver que no se ha logrado una remoción más efectiva en este proceso.
Sedimentador 2	23.66%	0.59	
Filtro 1	-31.90%	-0.80	El parámetro sólidos totales ha tenido un porcentaje reducción en el filtro 1 de -31.90%, con una evaluación de -0.80, ya que en al paso por este proceso los sólidos totales se han elevado, comprometiendo la calidad del agua tratada y el funcionamiento adecuado del mismo, por otra parte el filtro 2 ha obtenido un porcentaje de reducción de -32.96% con una evaluación de -0.82, El nivel de eficiencia ha resultado negativo a pesar de que el parámetro al final de este proceso se encuentra dentro de lo establecido por la Norma Obligatoria Salvadoreña, sin embargo al ingresar el agua cruda a los diferentes procesos de la planta en estudio el nivel de sólidos totales ha aumentado considerablemente, comprometiendo la eficiencia de los procesos.
Filtro 2	-32.96	-0.82	

Fuente: Elaboración Propia

Grafica 11 Porcentaje de Reducción de los Sólidos totales de los efluentes de cada uno de los procesos unitarios de la Planta Potabilizadora Tamulasco.



### 5.2.2 Evaluación de la dosificación:

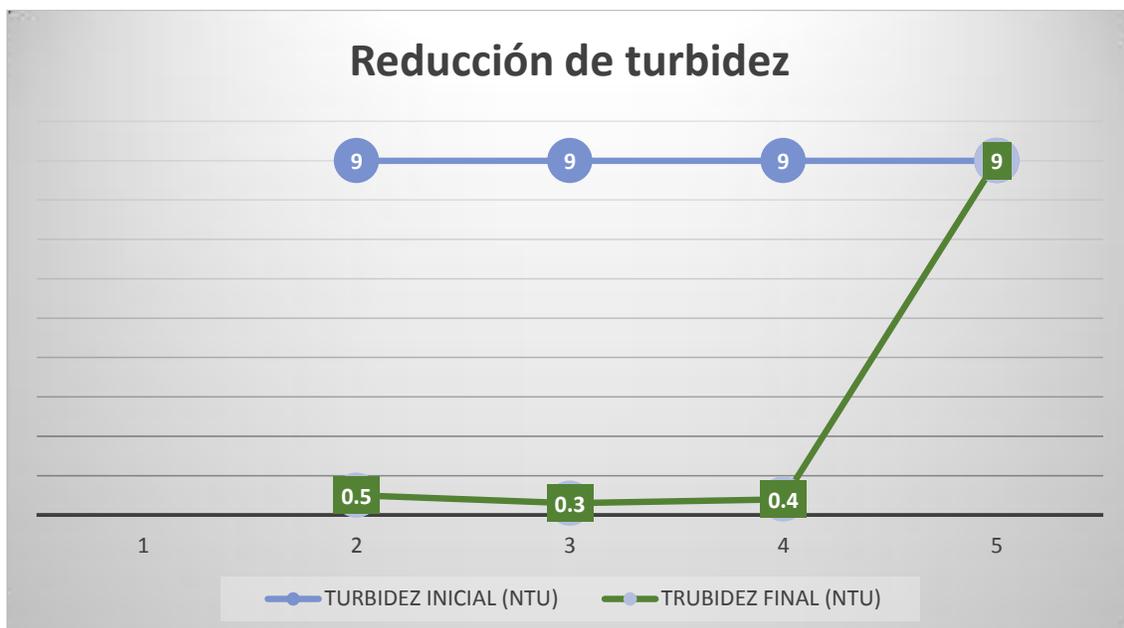
Con respecto a la carga de contaminantes físicos de mayor relevancia (turbidez y Sólidos totales) y la dosificación del químico empleado en la Planta Potabilizadora Tamulasco se realizó una prueba de jarras usando las dosificaciones que se emplean en la planta en estudio de esa forma se pudo obtener la dosis más efectiva en la reducción de la turbidez, mostrados en la tabla 36.

**Tabla 36 Eficiencia de reducción de turbidez**

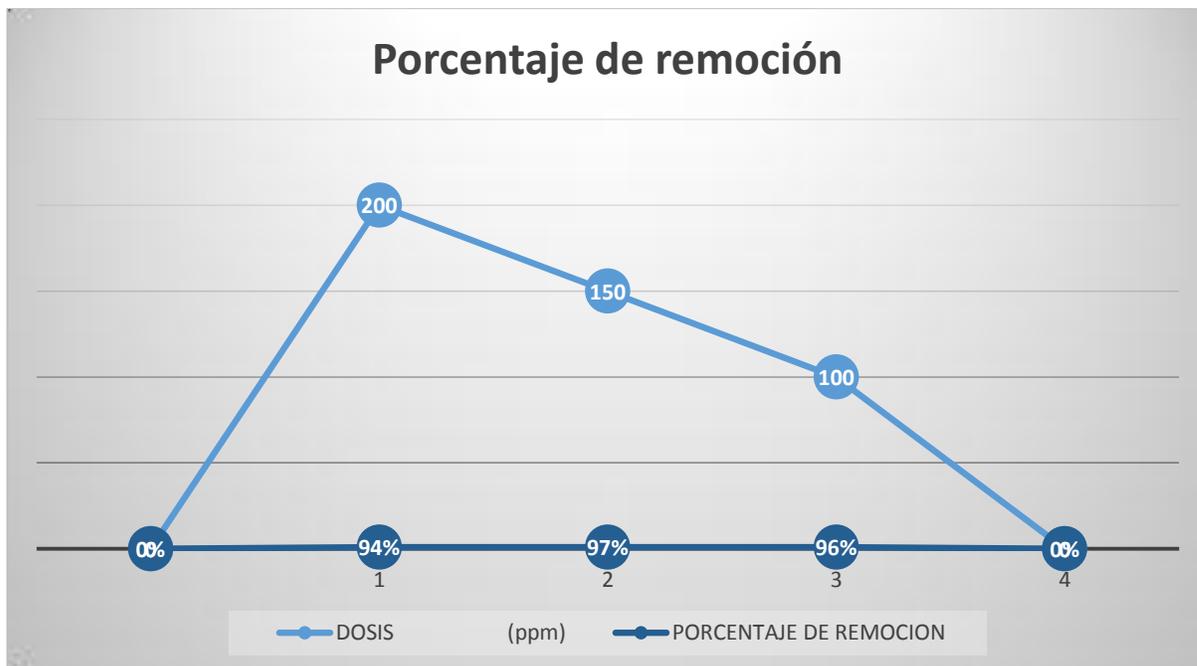
DETERMINACION DE DOSIFICACION DEL COAGULANTE				
RESULTADO DE PRUEBAS DE JARRAS.				
COAGULANTE APLICADO: Policloruro de Aluminio				
DOSIS DE COAGULANTE APLICADO EN LA PLANTA:				
MUESTRA	DOSIS (ppm)	TURBIDEZ INICIAL (NTU)	TRUBIDEZ FINAL (NTU)	PORCENTAJE DE REMOCION
1	200	9	0.5	94%
2	150	9	0.3	97%
3	100	9	0.4	96%
4	Agua Cruda	9	9	0%

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Grafica 12 Eficiencia de reducción de Turbidez**



Grafica 13 Porcentaje de remoción de turbidez según las dosis aplicadas.



A partir de los resultados se obtuvo la dosis más efectiva que al aplicarse redujo en mayor cantidad la turbidez del afluente, en la simulación de los procesos de Coagulación, Floculación y Sedimentación. Por lo tanto se puede observar en la Grafica 15 que la dosis más efectiva en remoción de turbidez fue la de 150 ppm, ya que en la recepción del agua el resultado del análisis de turbidez fue de 9 UNT reduciendo hasta un 0.3 UNT, cumpliendo totalmente con los límites establecidos por la NSO 13.07.01:08. Por lo cual tuvo un porcentaje de remoción del 97 % al final de la prueba.

Por otro lado la dosis aplicada por los operadores en la Planta Potabilizadora Tamulasco, es de 200 ppm, esta obtuvo un porcentaje de eficiencia del 94%, reduciendo de 9 a 0.5 UNT cumpliendo con los límites permisibles por la NSO 13.07.01:08, sin embargo el coagulante en mayores proporciones provocara la saturación de los procesos unitarios, siendo los más afectados los filtros ya que el exceso de coagulante y microfloculos provocará la generación de bolas de lodo de mayor dimensiones por lo que afectará la eficiencia de este y comprometerá la efectividad del desinfectante al final del tratamiento.

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

En este apartado se presentan las conclusiones y recomendaciones dadas a partir de los resultados obtenidos en esta investigación, dirigidas a las entidades competentes a quienes les será de utilidad contar con la información vertida.

Así mismo han sido formuladas en función de los objetivos que se han planteado en esta investigación y de los resultados obtenidos al evaluar los datos y eficiencias de cada proceso unitario de la Planta Potabilizadora Tamulasco.

#### **De acuerdo al abordaje teórico se concluye que:**

1) El marco teórico brindó la información pertinente durante la investigación, ya que se acopló al tipo de planta en estudio, respaldando cada uno de los procesos unitarios y acciones que se emplean en la potabilización de fuentes de aguas superficiales; se encontró explicado los tipos de tratamiento a emplear según la calidad del agua a tratar así como una serie de figuras ilustrativas, con el fin de detallar claramente no solo la función de cada proceso unitario, sino también observar su diseño y los tipos de diseños que se pueden encontrar.

2) Para reforzar el aspecto epidemiológico, el marco teórico contempla un espacio en el que se muestran en tablas, las diferentes enfermedades producidas por el consumo de agua sin tratamiento, aspecto muy importante ya que representa uno de los principales puntos tomados en cuenta para la realización de esta investigación.

3) Dentro del marco teórico se facilitó un apartado que respalda el aspecto evaluativo ya que se incluyó una parte de las normativas Nacionales e Internacionales relacionadas con la calidad con la que debe cumplir el agua tratada y para consumo humano.

**De acuerdo a la metodología utilizada se concluye que:**

1) El diseño metodológico aplicado facilitó la realización de la investigación, tanto en el estudio de campo, así como en el procesamiento, análisis y presentación de resultados.

2) El diseño metodológico empleado para el análisis de datos incorporo la aplicación de una herramienta metodológica para llevar a cabo la evaluación de la eficiencia de los procesos unitarios y de la planta en general. Esta herramienta fue creada específicamente para evaluar las diferentes fases que contempla la investigación. Esto permitió y facilitó el análisis evaluativo del porcentaje de eficiencia de la planta de tratamiento de aguas superficiales. Luego de su aplicación puede concluirse que es una herramienta sencilla, sistemática y útil para la evaluación de la eficiencia de cada uno de los procesos unitarios y de la planta en general.

**De acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis físicos, químicos y microbiológicos se concluye que:**

1) Los resultados obtenidos, relacionados a la identificación de la calidad microbiológica y fisicoquímica del efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco, presenta una considerable reducción, sin embargo algunos parámetros como lo son: Sólidos totales, E. coli, Bacterias Coliformes fecales y Coliformes totales, con base a lo establecido por la NSO 13.07.01:08 incumplen con los límites máximos permitidos.

2) Los resultados obtenidos para evaluar la reducción de los parámetros físicos en su paso por los procesos unitarios demuestran que: el porcentaje de eficiencia en la reducción de la turbidez en el desarenador fue del 30.41%, en el floculador 1 fue de 73.65% y en floculador 2 fue de 71.96%, en el sedimentador 1 fue de 91.89% y en el sedimentador 2 de 87.50%, en el filtro 1 fue del 96.96% y en el filtro 2 de 96.28%, por lo cual se concluye que bajo las condiciones de operación del momento, se presentó una considerable reducción de la turbidez en su paso por cada proceso unitario.

3) Se concluye que los sólidos totales no se redujeron en su paso por los procesos unitarios, contrario a esto se encontró que este parámetro se elevó considerablemente a su paso principalmente en los floculadores (Floculador1 -17% Floculador 2 -17.89), y filtros (Filtro 1 -31.01 % y Filtro 2 -32.96 %), por lo que la eficiencia de estos fue nula.

4) En relación a la eficiencia de la dosis del coagulante aplicado, mediante la prueba de jarras, se determinó que la dosis de Policloruro de Aluminio que favorece la coagulación y posteriormente la reducción de la turbidez, es la de 150 ppm, con la cual no se afectaría la calidad del agua en los siguientes procesos, reduciendo la turbidez con una eficiencia del 97%, ya que de 9 UNT se logró reducir hasta un 0.3 UNT valor que se encuentra dentro del rango establecido en la Normativa Salvadoreña para agua potable, en el caso del parámetro sólidos totales se registró valores de 95.7 mg/L en el afluente y de 107.9 mg/L en el efluente incrementando su valor, obteniendo un porcentaje de eficiencia de -12.74 %.

5) A partir de los resultados obtenidos y dando respuesta al objetivo sobre el porcentaje de eficiencia en la reducción de cada uno de los parámetros evaluados durante el proceso de investigación en la Planta Potabilizadora Tamulasco, se ha obtenido una evaluación final de 6.16 ubicándose en un nivel de eficiencia bueno, el cual indica que la planta se encuentra en un buen funcionamiento no obstante; existen parámetros físicos que presentaron un leve aumento, concluyendo que la dosificación empleada (200 ppm), y la mezcla del coagulante durante el proceso es inadecuada, lo que provoca el aumento de turbidez y sólidos totales en cada uno de los procesos unitarios y en el efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco, comprometiendo la calidad microbiológica y física del efluente de la planta en estudio. A pesar de que el nivel de turbidez se encuentra cumpliendo con la NSO 13.07.01:08, se comprobó que empleando una dosificación de 150 ppm el nivel de turbidez se reduce.

## **6.2 Recomendaciones**

A partir de los hallazgos que se han identificado en la presente investigación y de los resultados obtenidos, a continuación se presentan las siguientes recomendaciones:

### **De acuerdo al abordaje Teórico se recomienda:**

- 1) En Relación al Marco Teórico Planteado se recomienda que éste pueda ser utilizado en futuras investigaciones relacionadas a Plantas de Tratamiento de aguas superficiales, ya que presenta toda una base teórica y científica especificada al contexto nacional que fácilmente puede ser tomado como referencia.

### **De acuerdo al abordaje Metodológico se recomienda:**

- 2) Se recomienda que el Diseño Metodológico pueda ser utilizado como una herramienta en la planificación de una investigación de Plantas de Tratamiento de agua superficial, ya que brinda las técnicas, instrumentos y metodologías que permiten fácilmente la realización del proceso del plan de presentación y tabulación, recolección y análisis de los datos.

### **De acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis físicos, químicos y microbiológicos se recomienda:**

- 3) Debido a que en parámetros como Coliformes Totales, Coliformes Fecales y E. coli, no se ha logrado reducir de acuerdo a lo que exige la Norma Obligatoria, se recomienda verificar la efectividad del desinfectante empleado, tomando en cuenta cantidades adecuadas para la desinfección y que las condiciones del agua a desinfectar favorezcan la acción de dicho desinfectante.

- 4) Verificar la ficha técnica de desinfectante empleado, para comprobar su efectividad, fechas de vencimiento, condiciones de almacenamiento entre otras actividades que sirvan para mantener la acción desinfectante del químico y así garantizar la reducción de los parámetros microbiológicos (coliformes totales, coliformes fecales y E. Coli) al momento de su utilización.
  
- 5) Con respecto al parámetro sólidos totales se recomienda:
  - Verificar la dosis del coagulante, a partir de la técnica de jarras y la estandarización de la turbidez en las diferentes épocas del año.
  - Realizar una inspección periódica tomando en cuenta los dos sistemas en los que está dividido la planta para considerar las variaciones de cada uno y garantizar el óptimo funcionamiento.
  - Asignación de personal especializado en gestión de plantas de tratamiento.
  - Capacitación a operadores en el desarrollo de actividades, manejo de equipo de limpieza para cada proceso unitario.
  
- 6) Con respecto a los resultados en el efluente del parámetro manganeso, se recomienda hacer un estudio a fondo para determinar, por qué aumentó este parámetro a lo largo de los procesos unitarios.
  
  
- 7) Realizar todos los análisis microbiológicos, físicos y químicos exigidos por la NSO 13.01.07:08 en el efluente de la Planta Potabilizadora Tamulasco, y por lo menos una vez al año hacer análisis completos que incluyan los parámetros que exige la Norma Obligatoria a la bocatoma de la planta, ya que esto permitirá conocer la carga contaminante que ingresa a la Planta Tamulasco.

## FUENTES BIBLIOGRAFICAS

1. Ministerio de Salud Pública. Reporte Estadístico. Chalatenango: MINSAL; 2015.
2. Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillado. Página Oficial ANDA. [Online]. [cited 2016 Febrero 17]. Available from: <http://anda.gob.sv/calidad-de-agua/potabilizacion/.gob>.
3. SIBASI. Datos Estadísticos. Chalatenango: MINSAL, Chalatenango; 2015.
4. OMS, OPS, CEPIS, EPA. [usam.salud.gob.sv](http://usam.salud.gob.sv). [Online]. 2001 [cited 2016 Febrero 17]. Available from: [http://usam.salud.gob.sv/archivos/pdf/agua/inspecciones\\_sanitarias%20.pdf](http://usam.salud.gob.sv/archivos/pdf/agua/inspecciones_sanitarias%20.pdf).
5. Ministerio de Economía, dirección de estadística y Censos de El Salvador. Sexto censo de población y Quinto de vivienda. MINEC; 2007.
6. Dpto. de producción, Región central. Manual de Amenazas y Riesgos para la planta potabilizadora Tamulasco. Chalatenango: ANDA; 2014.
7. Ing. Mynor Romero. Tratamientos Utilizados en plantas potabilizadoras. Junio 2010[cited 2015 Agosto].
8. Ricardo Alfredo López Cualla. Diseño de Acueductos y Alcantarillados. 2nd ed.
9. NALCO. Manual de Agua, su Naturaleza, Tratamiento y Aplicación. Tomo 2; 1993 [cited 2015 Junio].
10. Edmundo Pedroza Gonzales. CONAGUA. [Online]. 2001 [cited 2016 Marzo 15]. Available from: [http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/canal\\_parshall.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/canal_parshall.pdf).
11. Ing. Yolanda Andía Cárdenas. Tratamiento del Agua, Coagulación y Floculación: Enero 2012 [cited 2015 Agosto] .
12. Ing. Víctor Maldonado Yactayo. Manual de plantas de tratamiento para agua potable. Filtración: Enero 2012 [cited 2015 Agosto].
13. Gerencia de Hidrología. MARN. SNET. [Online]. 2011 [cited Febrero 2016]. Available from:

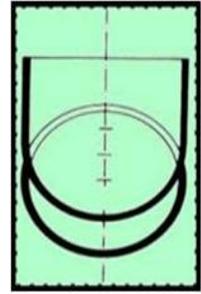
<http://www.snet.gob.sv/ver/hidrologia/monitoreo+hidrologico/calidad+de+agua/calidad+de+agua+2011/>.

14. OMS. Guía para la Calidad del Agua Potable. Guía. Organización Mundial para la Salud [cited 2015 Agosto].
15. Ministerio de Medio Ambiente. Estrategia Nacional de Recursos Hídricos. Estrategia Nacional de Medio Ambiente; 2013 [cited 2015 Marzo].

ANEXOS



**Anexo 1.**  
**Universidad de El Salvador**  
**Facultad de Medicina**  
**Escuela de Tecnología Médica**  
**Licenciatura en salud Ambiental.**



**Instrumento de recolección de datos para la evaluación de la calidad del agua de los procesos unitarios, del afluente y efluente de la planta potabilizadora de Tamulasco, en el municipio de Chalatenango, departamento de Chalatenango.**

**Análisis Microbiológico y físico químico.**

Encargado: \_\_\_\_\_

Municipio: \_\_\_\_\_

Nombre de la Planta: \_\_\_\_\_

Fecha de recolección: \_\_\_\_\_

Hora de recolección. \_\_\_\_\_

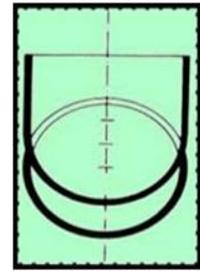
Proceso Unitario: \_\_\_\_\_

<b>Planta Tamulasco.</b>				
<b>Proceso Unitario:</b>				
<b>A1-Analisis Microbiológico</b>				
<b>Características</b>	<b>Parámetros según N.S.O. 13.07.01:08</b>	<b>Resultados de análisis.</b>	<b>Cumple N.S.O.</b>	
			<b>si</b>	<b>No</b>
Coliformes totales				
Bacterias termotolerantes				
E. Coli				
Bacterias heterótrofas y aerobias mesófilas				
Organismos patógenos				

<b>Planta Tamulasco.</b>				
<b>Proceso Unitario:</b>				
<b>A2-Analisis físicos (organolépticos)</b>				
<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>Parámetros según N.S.O. 13.07.01:08</b>	<b>Resultados de análisis.</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
p H				
Turbidez				
Temperatura mx del agua				
Solidos totales				
Solidos disueltos				
color				
Olor				
Sabor				
<b>A3- Análisis Químico</b>				
<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>Parámetros según N.S.O. 13.07.01:08</b>	<b>Resultados de análisis.</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
Aluminio				
Hierro				
arsénico				
Bario				
Cromo hexavalente				



**Anexo 2.**  
**Universidad de El Salvador**  
**Facultad de Medicina**  
**Escuela de Tecnología Médica**  
**Licenciatura en salud Ambiental.**



**Instrumento de recolección de datos para la evaluación de la calidad del agua de los procesos unitarios, del afluente y efluente de la planta potabilizadora de Tamulasco, en el municipio de Chalatenango, departamento de Chalatenango.**

**Coagulación (Prueba de Jarras).**

Encargado: \_\_\_\_\_

Municipio: \_\_\_\_\_

Nombre de la Planta: \_\_\_\_\_

Fecha de recolección: \_\_\_\_\_

Hora de recolección. \_\_\_\_\_

Proceso Unitario: \_\_\_\_\_

<b>PRUEBAS DE JARRAS.</b>			
<b>COAGULANTE APLICADO:</b>			
<b>DOSIS DE COAGULANTE APLICADO EN LA PLANTA:</b>			
<b>MUESTRA</b>	<b>PROPORCION (ppm)</b>	<b>TURBIDEZ INICIAL (NTU)</b>	<b>TRUBIDEZ FINAL (NTU)</b>
1			
2			
3			
4			
5			
6			

**Anexo 3.**

**Lista de morbilidad facilitado por SIBASI Chalatenango.**

Hoja2

Lista internacional de Morbilidad por Area  
Periodo del 01/01/2014 al 31/12/2014  
SIBASI CHALATENANGO  
UCSFI Chalatenango CH \*  
Departamento de Chalatenango

A09 - Diarrea y gastroenteritis de presunto origen  
infeccioso  
UCSFI Chalatenango CH \*  
Procedencia de casos

Departamento	Municipio	Consultas Urbano
Chalatenango	CHALATENANGO CH	954

Lista internacional de Morbilidad por Area  
Periodo del 01/01/2015 al 23/03/2015  
Todas las consultas  
Todos los servicios  
SIBASI CHALATENANGO  
UCSFI Chalatenango CH \*  
Departamento de Chalatenango  
---- Todos los Recursos ( excepto Odontologo ) ----  
Sexo: Todos  
MINSAL+FOSALUD  
::: Excluye Sospechosos :::  
A09 - Diarrea y gastroenteritis de presunto origen  
infeccioso  
UCSFI Chalatenango CH \*  
Procedencia de casos

Departamento	Municipio	Consultas Urbano
Chalatenango	CHALATENANGO CH	132

## Anexo 4

### Primera visita realizada a la Planta Tamulasco para reconocer bocatoma y procesos unitarios que la conforman.

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE MEDICINA  
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MÉDICA  
LICENCIATURA EN SALUD AMBIENTAL 

Proceso de grado  
TEMA:  
EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS UNITARIOS, Y DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA PLANTA POTABILIZADORA TAMULASCO, EN EL MUNICIPIO DE CHALATENANGO DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO, EN EL PERIODO DE ENERO 2016 A JULIO DEL AÑO 2016.

Registro de Visitas de campo Planta Potabilizadora Tamulasco:  
Visita N°1

Fechas	Bachilleres	Firmas	Asesor	Firmas	Sellos de la Planta Tamulasco
11/4/2016	Br.Hernández Canizález Andrea Sarai		Lic. Astrid Villalobos		
	Br.Rauda Hernández Satil Antonio				
	Br. Yanes Arriaza Jennifer Esther				

**Objetivo de la visita:**  
Conocer la bocatoma que conduce el agua cruda hacia la "Planta Potabilizadora Tamulasco", así como cada uno de los procesos unitarios que componen la planta en estudio.

## Anexo 5

### Entrada a la Planta Tamulasco.



## Anexo 6

### Segunda visita realizada, en la cual se realizó la prueba de jarras.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE MEDICINA  
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MÉDICA  
LICENCIATURA EN SALUD AMBIENTAL



Proceso de grado  
TEMA:

EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS UNITARIOS, Y DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA PLANTA POTABILIZADORA TAMULASCO, EN EL MUNICIPIO DE CHALATENANGO DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO, EN EL PERIODO DE ENERO A MAYO DEL AÑO 2016.

Registro de Visitas de campo Planta Potabilizadora Tamulasco:  
Visita N°2

Fechas	Bachilleres	Firmas	Asesor	Firmas	Sellos de la Planta Tamulasco
23/7/2016	Br.Hernández Canizález Andrea Sarai		Lic. Astrid Villalobos		
	Br.Rauda Hernández Saúl Antonio				
	Br. Yanes Arriaza Jennifer Esther				

#### Objetivo de la visita:

Realizar la prueba de Jarras en la "Planta Potabilizadora Tamulasco", para conocer el porcentaje de reducción según la dosis de coagulante aplicado y recolección de datos correspondientes a pH, T° y turbidez de cada uno de los procesos unitarios.

## Anexo. 7

Prueba de jarras para determinación de la dosis de coagulante más efectiva.



## Anexo 8

Visita 3. Recolección de muestras.

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE MEDICINA  
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MÉDICA  
LICENCIATURA EN SALUD AMBIENTAL 

Proceso de grado  
TEMA:  
EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS UNITARIOS, Y DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA PLANTA POTABILIZADORA TAMULASCO, EN EL MUNICIPIO DE CHALATENANGO DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO, EN EL PERIODO DE ENERO A MAYO DEL AÑO 2016.

Registro de Visitas de campo Planta Potabilizadora Tamulasco:  
Visita N°3

Fechas	Bachilleres	Firmas	Asesor	Firmas	Sellos de la Planta Tamulasco
26/7/2016	Br.Hernández Canizález Andrea Sarai		Lic. Astrid Villalobos		
	Br.Rauda Hernández Satul Antonio				
	Br.Yanes Arriaza Jennifer Esther				

**Objetivo de la visita:**  
Recolección de Muestras Microbiologicas y quimicas de la bocatoma y la cisterna de la "Planta Potabilizadora Tamulasco".

### **Anexo 9**

#### **Recolección Muestra en floculador.**



### **Anexo 10**

#### **Recolección muestra en sedimentador.**



## Anexo 11

**Recolectando muestra en salida de filtro.**



## Anexo 12

### Resultados de los análisis realizados a las muestras tomadas en la bocatoma de la planta (aluminio y arsénico).



F - 09



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA  
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS



Copia

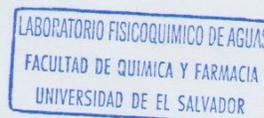
CODIGO N° 10-16		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: JENNIFER ESTHER YANES ARRIAZA COLONIA SANTA MARIA # 12, BLOCK "G", MEJICANOS. SAN SALVADOR					Pág. 1 de 2
Descripción de muestra: AGUA CRUDA Y AGUA TRATADA					N° DE MUESTRAS: 2
Lugar de toma de muestra: PLANTA POTABILIZADORA, TAMULASCO. DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: VIERNES, 09 DE SEPTIEMBRE DE 2016.					
Fecha de recepción de muestra: 31 DE AGOSTO DE 2016			Fecha de Análisis: JUEVES 8 DE SEPTIEMBRE DE 2016		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma CONACYT Agua Potable (2ª Actualización) NSO 13.07.01:08
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Aluminio	Fotométrico	10-16-01	BOCATOMA M#PTB1	0.05 mg/L	0.2 mg/L
Arsénico	Colorimétrico			No Detectado	0.01 mg/L
<b>Observaciones:</b>					
- La toma de muestra estuvo a cargo del interesado. (Cuando aplique).					

**Advertencia:** Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

**NOTA-** El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.

- Se especificara en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.
- El laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas.sgc.lfqa@gmail.com.

FECHA DE ENTREGA: 12 SEP 2016



*Lic. Henry Alpeño Hernández Contreras*  
Jefe del Laboratorio Físicoquímico de Aguas  
y Analista

*Lic. Rosa Mirian Rivas de Lara*  
Analista

*Lic. María del Carmen Pefio Martínez*  
Analista

ach\*

## Anexo 13

### Resultados de análisis realizados a las muestras tomadas en la cisterna de la Planta Tamulasco.



F - 09



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA  
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS



Copia

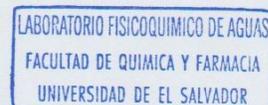
CODIGO Nº 10-16		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: JENNIFER ESTHER YANES ARRIAZA COLONIA SANTA MARIA # 12, BLOCK "G", MEJICANOS. SAN SALVADOR					Pág. 2 de 2
Descripción de muestra: AGUA CRUDA Y AGUA TRATADA					Nº DE MUESTRAS: 2
Lugar de toma de muestra: PLANTA POTABILIZADORA, TAMULASCO. DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: VIERNES, 09 DE SEPTIEMBRE DE 2016.					
Fecha de recepción de muestra: 31 DE AGOSTO DE 2016			Fecha de Análisis: JUEVES 8 DE SEPTIEMBRE DE 2016		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma CONACYT Agua Potable (2ª Actualización) NSO 13.07.01:08
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Aluminio	Fotométrico	10-16-02	CISTERNA M#PTC1	0.04 mg/L	0.2 mg/L
Arsénico	Colorimétrico			No Detectado	0.01 mg/L
<b>Observaciones:</b>					
- La toma de muestra estuvo a cargo del interesado. (Cuando aplique).					

**Advertencia:** Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

**NOTA-** El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.

- Se especificara en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.
- El laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas.sgc.lfqa@gmail.com.

FECHA DE ENTREGA: 12 SEP 2016



Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras  
Jefe del Laboratorio Físicoquímico de Aguas  
y Analista

Lic. Rosa Mirian Rivas de Lara  
Analista

Lic. María del Carmen Poño Martínez  
Analista

ack\*

## Anexo 14

### Resultados de análisis microbiológicos realizados a las muestras tomadas en la bocatoma de la Planta Tamalusco.



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN SALUD**  
**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLÓGICO**



---

162 Años  
Al servicio de la  
Educación Superior

Ciudad Universitaria  
Final 25 Avenida Norte  
San Salvador, El Salvador

Telefax No. (503) 2511-2028

### INFORME DE ANÁLISIS

Nombre de la muestra: AGUA CRUDA PTB #2 Código: 010901

Punto de muestreo: Bocatoma Planta Tamalusco

Procedencia: Departamento de Chalatenango

Solicitante: Jennifer Esther Yanes Arriaza Fecha de emisión: 12-09-2016  
 Determinación de Coliformes Totales y Fecales por el Método del Número más Probable  
 Método: (NMP), Método de Placa Vertida para el Recuento Bacteriano.

Fecha de Muestreo: 31/08/2016 Hora de Muestreo: 11:00 a.m.

Persona que tomó la muestra: Jennifer Esther Yanes Arriaza

Hora recepción muestra: 2:35 p.m.

---

Descripción: Líquido incoloro, transparente, sin olor ni partículas suspendidas.

---

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES*
Bacterias coliformes totales	Mayor de 23 NMP / 100 mL	< 1.1 NMP / 100 mL
Bacterias coliformes fecales	Mayor de 23 NMP / 100 mL	< 1.1 NMP / 100 mL
<i>Escherichia coli</i>	Mayor de 23 NMP / 100 mL	< 1.1 NMP / 100 mL
Conteo de bacterias heterótrofas aerobias y mesófilas	25 UFC / mL	100 UFC / mL
Microorganismos patógenos: <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Presencia	Ausencia

**NMP:** Número más Probable; **UFC:** Unidades formadoras de Colonias;  
**mL:** mililitro(s) de muestra; < : Menor a.

**OBSERVACIONES:**  
 \* Especificaciones basadas en la Norma NSO 13.07.01:08 "Agua. Agua Potable".  
 - El informe corresponde únicamente a la muestra remitida el 31/08/2016 y ensayada el 01/09/2016



MSc. Amy Elieth Morán Rodríguez  
QUIMICO-FARMACEUTICA



Fecha de análisis: 01-09-2016

## Anexo 15

### Resultados de análisis microbiológicos realizados a las muestras tomadas de la cisterna de la planta Tamulasco.



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN SALUD**  
**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLÓGICO**



---

162 Años  
Al servicio de la  
Educación Superior

Ciudad Universitaria  
Final 25 Avenida Norte  
San Salvador, El Salvador

Telefax No. (503) 2511-2028

### INFORME DE ANÁLISIS

Nombre de la muestra: AGUA TRATADA PTC #2 Código: 010902

Punto de muestreo: Salida de cisterna de planta

Procedencia: Departamento de Chalatenango, PPT

Solicitante: Jennifer Esther Yanes Arriaza Fecha de emisión: 12-09-2016  
 Determinación de Coliformes Totales y Fecales por el Método del Número más Probable  
 Método: (NMP), Método de Placa Vertida para el Recuento Bacteriano.

Fecha de Muestreo: 31/08/2016 Hora de Muestreo: 11:05 a.m.

Persona que tomó la muestra: Andrea Sarai Hernández Canizalez

Hora recepción muestra: 2:35 p.m.

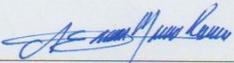
---

Descripción: Líquido incoloro, transparente, sin olor ni partículas suspendidas.

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES*
Bacterias coliformes totales	Mayor de 1.1 NMP / 100 mL	< 1.1 NMP / 100 mL
Bacterias coliformes fecales	Mayor de 1.1 NMP / 100 mL	< 1.1 NMP / 100 mL
<i>Escherichia coli</i>	Mayor de 1.1 NMP / 100 mL	< 1.1 NMP / 100 mL
Conteo de bacterias heterótrofas aerobias y mesófilas	Menor de 10 UFC / mL	100 UFC / mL
Microorganismos patógenos: <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Ausencia	Ausencia

NMP: Número más Probable; UFC: Unidades formadoras de Colonias; mL: mililitro(s) de muestra; < : Menor a.

**OBSERVACIONES:**  
 \* Especificaciones basadas en la Norma NSO 13.07.01:08 "Agua. Agua Potable".  
 - El informe corresponde únicamente a la muestra remitida el 31/08/2016 y ensayada el 01/09/2016

  
**MSc. Amy Elieth Morán Rodríguez**  
 QUIMICO-FARMACEUTICA

  
**CENSALUD**

Fecha de análisis: 01-09-2016