



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

---

**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
FOVISSSTE DE LA LOCALIDAD DE FELIPE  
CARRILLO PUERTO**

---

**T E S I S**  
**PARA OBTENER EL GRADO DE**  
**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTA**  
**JAIR MANUEL ORTIZ CHULIM**

**DIRECTOR**  
**DRA. NORMA ANGÉLICA OROPEZA GARCÍA**

**ASESORES**  
**DR. JOSÉ MANUEL CARRIÓN JIMÉNEZ**  
**DR. JOSÉ ALFONZO CANCHE UUH**  
**Q.F.B JOSÉ LUIS GONZÁLES BUCIO**  
**M.L.A. JUAN CARLOS ÁVILA REVELES**



UNIVERSIDAD DE  
QUINTANA ROO  
**SERVICIOS ESCOLARES**  
TITULACIONES

CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, DICIEMBRE DE 2015



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TRABAJO DE TESIS BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ  
DEL PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADA COMO  
REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

COMITÉ DE TESIS

DIRECTOR:

DRA. NORMA ANGÉLICA OROPEZA GARCÍA

ASESOR:

DR. JOSÉ MANUEL CARRIÓN JIMÉNEZ

ASESOR:

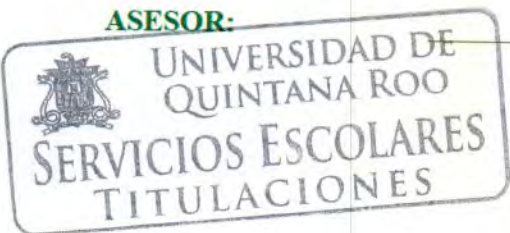
DR. JOSÉ ALEONZO CANCHE UUH

ASESOR:

Q.F.B. JOSÉ LUIS GONZÁLEZ BUCIO

ASESOR:

M.I. JUAN CARLOS ÁVILA REVELES



CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, DICIEMBRE DE 2015.

***Este trabajo de investigación fue financiado en la convocatoria 2015 “Apoyo a la titulación” de la División de Ciencias e Ingeniería.***

"Miles de personas han sobrevivido sin amor; ninguna sin agua".

-Wystan Hugh Auden

*A mi familia*

# AGRADECIMIENTOS

Durante la elaboración de este trabajo de investigación, participaron de manera directa e indirecta muchas personas las cuales agradezco de corazón por su apoyo.

En primer lugar, a mi directora de tesis, la Dr. Norma Angélica Oropeza, que gracias a su confianza, apoyo y, sobre todo, paciencia, se pudo realizar y concluir con éxito esta tesis.

Al Dr. José Manuel Carrión por permitirme realizar los análisis necesarios durante la investigación en el laboratorio bajo su mando.

Un agradecimiento especial al Ing. Gregorio Mirón, que gracias a su experiencia y conocimientos compartidos sobre las plantas de tratamiento de aguas residuales, logro que me motivara a la realización de esta tesis.

A mis compañeros, mis hermanos y hermanas de la universidad, Abel, Andrea, Andrés, Dahyn, Ginnel, Leysi, Irving, Julio, Martha, María Elisa, Misael, Omar, Raúl, Ulises, Víctor, los "Leeeech...", que estén en donde estén les vaya de maravilla.

A los operadores y al encargado de la planta de tratamiento por la autorización de los muestreos y visitas a la planta.

A toda mi familia, por su apoyo, su cariño y por estar allí en los momentos difíciles ¡muchas gracias!

A ti Madre, que depositaste tu confianza, sacrificando muchas cosas para que concluyera mis estudios, GRACIAS.

◦ **INDICE**

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I. PROBLEMÁTICA DEL TEMA.....	3
1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.2 Justificación .....	4
1.3 Objetivo general.....	4
1.4 Objetivos específicos .....	5
CAPITULO II. ASPECTOS GENERALES DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	7
2.1 Introducción .....	7
2.2 Pre-tratamiento.....	8
2.2.1 Cribado o rejillas .....	8
2.2.2 Desarenador.....	9
2.3 Tratamiento primario .....	10
2.3.1 Sedimentación primaria.....	10
2.3.2 Flotación.....	12
2.3.3 Tratamiento fisicoquímico .....	12
2.4 Tratamiento secundario .....	13
2.4.1 Lodos activados .....	13
2.4.2 Filtro percolador .....	16
2.4.3 Procesos anaerobios .....	17
2.4.4 Sistemas de discos biológicos rotatorios (biodiscos) .....	20
2.5 Tratamiento terciario, desinfección .....	21
2.5.1 Cloración .....	21
2.5.2 Ozonización.....	21
2.5.3 Rayos ultravioleta (UV).....	23
CAPITULO III. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “FOVISSSTE” ..	25
3.1 Introducción .....	25
3.2 Localización .....	26
3.3 Rehabilitación de la ptar .....	27
3.4 Procesos y operaciones unitarias .....	30
3.4.1 Pretratamiento o tratamiento preliminar.....	31
3.4.2 Tratamiento secundario.....	32

3.4.2.1 Proceso biológico de lodos activados.....	33
3.4.2.2 Sedimentador.....	34
3.4.3 Tratamiento terciario .....	36
3.4.4 Infraestructura posterior al tratamiento terciario.....	37
3.4.4 TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES .....	38
CAPITULO IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	40
4.1 Muestreo, visitas a la ptar “FOVISSSTE”.....	40
4.2 Recolección de muestras .....	41
4.3 Análisis de las muestras .....	42
4.3.1 Caudal.....	43
4.3.2 Demanda química de oxígeno. ....	44
4.3.3 Demanda bioquímica de oxígeno .....	46
4.3.4 Nitrógeno amoniacal.....	49
4.3.5 Índice volumétrico de lodos .....	51
4.3.6 Cloro residual.....	53
CAPITULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
5.1 Resultados demanda química de oxígeno.....	55
5.1.1 Primer muestreo .....	55
5.1.2 Segundo muestreo .....	57
5.1.3 Eficiencia de remoción.....	60
5.2 Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno. ....	62
5.3 Resultados de nitrógeno amoniacal. ....	63
5.4 Resultados de la medición del caudal.....	65
5.5 Resultados de cloro residual en el efluente.....	65
5.6 Resultados del índice volumétrico de lodos .....	66
5.7 Resultados de la caracterización del tren de tratamiento de la PTAR.....	68
5.7.1 Pre-tratamiento, cribado y desarenador. ....	68
5.7.2 Tratamiento secundario, reactor biológico y sedimentador.....	68
5.7.3 Tratamiento terciario, clorador. ....	69
5.7.4 Tratamiento de lodo residual .....	69
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
BIBLIOGRAFIA.....	72



# INTRODUCCIÓN

Desde el principio de los tiempos, el hombre ha tomado como recurso vital para su sobrevivencia el consumo de agua. Con el paso del tiempo, y por los cambios de hábitos en la vida cotidiana, la cantidad de agua que se consume por persona, ha aumentado con respecto a los primeros habitantes del planeta. En la actualidad se consume al día entre 200-300 litros de agua por persona, y en días calurosos hasta 1000 litros (Renneberg, 2008).

El agua al ser usada y desechada se convierte en agua residual. Las aguas residuales son una mezcla compleja que contiene agua (99%) mezclada con contaminantes orgánicos e inorgánicos. Los contaminantes que crean problemas comprenden organismos causantes de enfermedades, materia orgánica, sólidos, nutrientes y sustancias tóxicas (Henry & Heinke, 1999).

Las aguas residuales descargadas al alcantarillado, normalmente, son dirigidas a una planta de tratamiento. En una planta de tratamiento de aguas residuales, el agua residual se dirige a lo largo de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos en los que cada uno posee una función para reducir una carga de contaminante específica (Kiely, 1999).

Según Kiely (1999), los procesos típicos de una planta de tratamiento, según sus etapas, son las siguientes:

- Pretratamiento: Físico y/o químico.
- Tratamiento primario: Físico.
- Tratamiento secundario: Biológico.
- Tratamiento avanzado: Físico y/o químico y/o biológico.

En este trabajo de investigación, se llevará a cabo una evaluación del funcionamiento de las operaciones y procesos unitarios que componen la PTAR “FOVISSSTE” de la localidad de Felipe Carrillo Puerto, mediante el estudio de parámetros físicos (sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables) y químicos (Determinación de pH, Demanda química de oxígeno) del agua residual que es tratada en esta planta, comparando los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, con el fin de obtener un diagnóstico que demuestre la eficiencia de la PTAR.

# **CAPITULO I**

## **PROBLEMÁTICA DEL TEMA**

# CAPITULO I. PROBLEMÁTICA DEL TEMA

## 1.1 Planteamiento del problema

El agua, como condicionante de vida, ha sido, por un lado, factor fundamental en el asentamiento de pueblos, por otro, son numerosos las civilizaciones e imperios desaparecidos al perder el dominio del agua. La aparición de la contaminación y sus peligros se han hecho evidentes en todos los lugares de nuestro planeta (Hernandez, 1992).

La contaminación del agua puede ser causada por diferentes fuentes, ya sean naturales o antropogénicas. Entre las fuentes antropogénicas, está el agua residual doméstica, que se entiende como aguas usadas en distintas actividades diarias y desechadas en el hogar, estas aguas residuales contienen una mezcla de contaminantes orgánicos e inorgánicos, que provocan que no sean aptas para reutilización. Por lo que se han creado criterios de calidad de agua, los cuales son necesarios para garantizar la existencia de un recurso de calidad apropiada para cada proceso de consumo (Kiely, 1999). Para satisfacer estos criterios de calidad, el agua residual recibe un tratamiento el cual consiste en un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos para descontaminarla.

En México, el proceso más usado en las plantas de tratamiento de aguas residuales es el proceso biológico de lodos activados. Este tratamiento biológico es uno de los más eficaces (Degremont, 1979), sin embargo, al igual que los demás tratamientos, su funcionamiento es sumamente delicado, por lo que los operadores deben contar con la capacitación y conocimientos necesarios para operar las plantas de tratamiento.

La PTAR "FOVISSSTE" cuenta con un proceso convencional de lodos activados, esto significa que no cuenta con un sedimentador primario. La PTAR cuenta con un reactor de lodos activados seguido por un sedimentador y un tanque de cloración. Hay que mencionar que no cuenta con un sistema de cribado, lo que podría ser perjudicial en los procesos de tratamiento posteriores.

La PTAR es operada por empleados de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de la localidad. Los operadores cuentan con conocimientos por debajo de lo básico sobre plantas de tratamiento y operan la PTAR de manera empírica por otra parte es importante mencionar que carecen de un manual de operación y de una bitácora de registro que permita conocer el funcionamiento de la planta y tomar medidas con respecto a su eficiencia de tratamiento.

## 1.2 Justificación

La operación de una PTAR conlleva una gran responsabilidad por parte del encargado y los operadores de la planta, esto significa que todo operador debe tener la capacitación adecuada y el conocimiento sobre los procesos y el manejo del equipo que existe en la planta.

Con el panorama descrito, este trabajo de investigación, se enfoca en evaluar el funcionamiento de la PTAR “FOVISSSTE”, llevando a cabo la medición de parámetros químicos y físicos, así como la documentación de los resultados para conocer la eficiencia real del proceso tratamiento del agua residual, de igual forma proponer recomendaciones para mejorar la eficiencia de la labor de sus operadores, evitando así, la contaminación del cuerpo receptor de las descargas de agua residual tratadas en la planta.

## 1.3 Objetivo general

Evaluar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales denominada “FOVISSSTE” de la localidad de Felipe Carrillo Puerto mediante el estudio de parámetros físicos y químicos, comparando los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para proponer mejoras en el proceso de tratamiento del agua residual de la planta.

## 1.4 Objetivos específicos

- Llevar a cabo la caracterización de las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales “FOVISSSTE”.
- Aplicar los métodos normalizados establecidos en las normas NMX-AA-004-SCFI-2000 (Determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas) y NMX-AA-034-SCFI-2001 (Determinación de sólidos en aguas naturales, residuales y residuales tratadas), que corresponden a los parámetros físicos para determinar la calidad del agua en el influente y efluente de la PTAR.
- Aplicar los métodos normalizados establecidos en las normas NMX-AA-108-SCFI-2001 (Determinación de cloro residual y cloro libre), NMX-AA-030-SCFI-2001 (Determinación de la demanda química de Oxígeno), NMX-AA-028-SCFI-2001 (Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno); así como el método NESSLER para la determinación de nitrógeno amoniacal, que corresponden a los parámetros químicos para determinar la calidad del agua del influente y efluente de la PTAR.
- Comparar los resultados obtenidos de los análisis de las muestras de agua con los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.
- Elaborar una bitácora con los resultados obtenidos a lo largo de la investigación para fines técnico-administrativos.
- Realizar recomendaciones para la optimización de la PTAR “FOVISSSTE”.

# **CAPITULO II**

## **ASPECTOS GENERALES DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

# CAPITULO II. ASPECTOS GENERALES DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

## 2.1 Introducción

Una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) está constituida por un conjunto de operaciones y procesos unitarios destinados a la reducción de contaminantes, sean orgánicos e inorgánicos, para cumplir con la normatividad correspondiente.

En el caso de México, la normatividad vigente propone los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales que son establecidos en la Norma NOM-001-SEMARNAT-1996. Para el cumplimiento de esta normatividad, se deben elegir las operaciones y procesos unitarios necesarios, según el tipo de agua residual que se desea tratar.

Los procesos y operaciones unitarias del tratamiento del agua residual se dividen de la siguiente manera:

- Pre-Tratamiento.
- Tratamiento Primario.
- Tratamiento Secundario.
- Tratamiento Terciario.

Según Ramalho (1990), la selección de los procesos de tratamiento de aguas residuales depende de un cierto número de factores entre los que incluye:

- Características del agua residual: DBO, materia en suspensión, pH, productos tóxicos.
- Calidad del efluente de salida requerido.
- Coste y disponibilidad del terreno.
- Consideración de futuras ampliaciones o la prevención de límites de calidad de descarga más estrictos, que necesiten el diseño de tratamientos más sofisticados en un futuro.

A continuación, se describen cada uno de estos tratamientos, así como las operaciones y procesos unitarios que comprenden a cada uno de ellos.

## 2.2 Pre-tratamiento

Los pre-tratamientos de aguas residuales implican la reducción de sólidos en suspensión o el acondicionamiento de las aguas residuales para su descarga en los receptores o para pasar a un tratamiento secundario (Ramalho, 2003).

Entre las operaciones unitarias encaminadas para el acondicionamiento del agua para tratamientos posteriores, se encuentran:

### 2.2.1 Cribado o rejillas

El cribado, también llamado “Desbrozo”, se emplea para la reducción de sólidos en suspensión de distintos tamaños mediante el empleo de rejillas. Se utilizan dos tipos de rejillas, las rejillas finas y las rejillas gruesas. Las rejillas finas tienen por lo general, aberturas de 5 milímetros o menos. Y cuentan con una eficiencia de remoción de sólidos de entre un 5 y 25%. Por su parte, las rejillas gruesas tienen aberturas que pueden oscilar entre los 4 y 9 centímetros (Ramalho, 2003).

En la figura 2.1 se muestran diferentes tipos de barrotos que pueden ser usados para las rejillas del cribado.

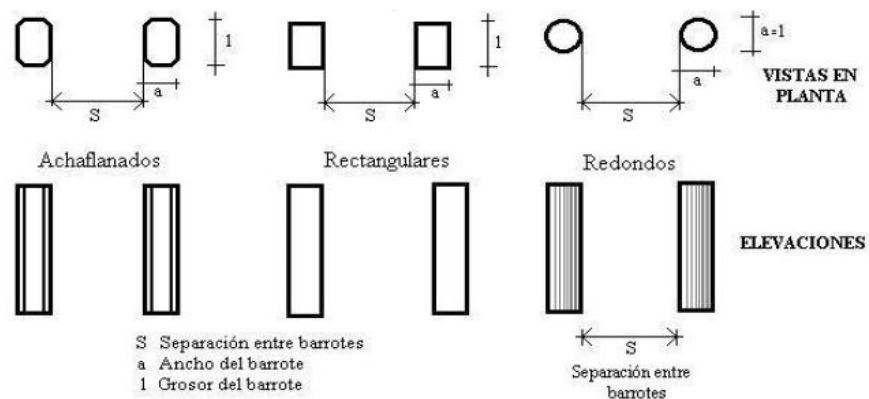


Figura 2.1. Diferentes tipos de barrotos en rejillas.

Fuente: Escalante et al. 2003.





Figura 2.2. Rejillas finas.  
Fuente: Escalante et al. 2003.

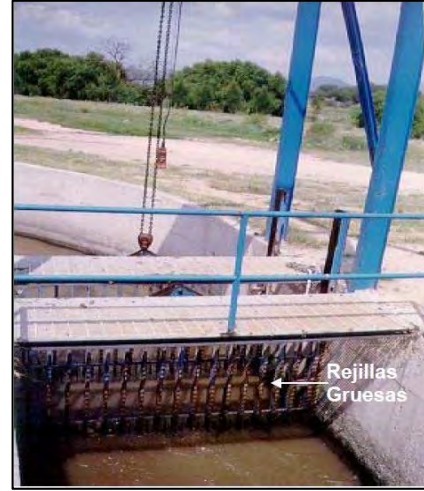


Figura 2.3. Rejillas gruesas.  
Fuente: Escalante et al. 2003

### 2.2.2 Desarenador

Un desarenador tiene como objetivo separar del agua cruda la arena y partículas en suspensión gruesa, con el fin de evitar que se produzcan depósitos en las obras de conducción, proteger las bombas de abrasión y evitar sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento. El desarenado se refiere normalmente a la remoción de partículas mayores a 0,2 mm (Organización Panamericana de la Salud, 2005). En la figura 2.3 se muestra un desarenador con dos canales.



Figura 2.4 Desarenador de dos canales.  
Fuente: Escalante et al. 2003.

## 2.3 Tratamiento primario

Según Escalante et al (2003), el tratamiento primario tiene como objeto la eliminación de sólidos mediante las siguientes operaciones unitarias: Sedimentación, flotación y tratamiento fisicoquímico.

### 2.3.1 Sedimentación primaria

En la sedimentación se remueven partículas que no son eliminadas mediante el cribado o desarenado. La sedimentación de las partículas sólidas consiste en el asentamiento de estas en el fondo de un tanque de concreto circular o rectangular, acumulándose y dando origen a los lodos primarios (Escalante et al, 2003).

Los sedimentadores se clasifican de la siguiente manera:

- Sedimentador rectangular con raquetas: El lodo es arrastrado por raquetas a lo largo del tanque y hacia el extremo de entrada (Ramalho, 2003).
- Sedimentador rectangular convencional: El lodo es arrastrado al fondo del tanque por efecto de la gravedad.
- Sedimentador circular alimentación central: La alimentación se hace por la parte central y la solución clarificada rebosa por un canal de recogida en la periferia (Ramalho, 2003).
- Sedimentador circular alimentación periférica: La alimentación está situada en la periferia y la solución clarificada de recogida en la zona central (Ramalho, 2003).

En la figura 2.5 se muestra el diseño de un sedimentador rectangular y en la 2.6 se muestra el diseño de un sedimentador circular.

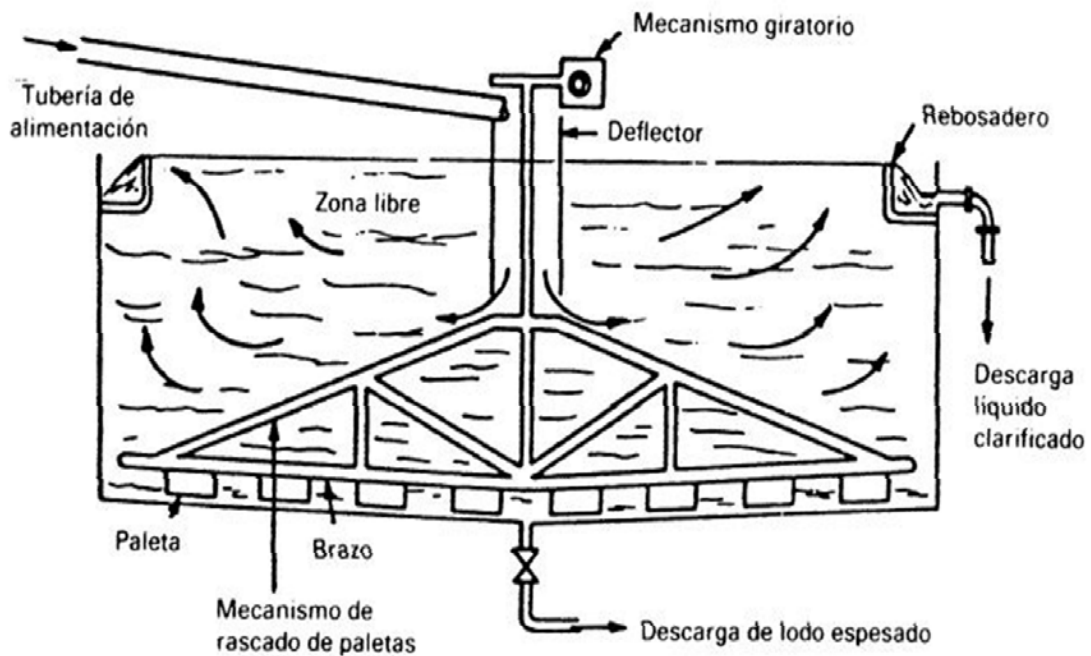


Figura 2.5 Diseño de un sedimentador circular con alimentación central.

Fuente: Ramalho, 2003.

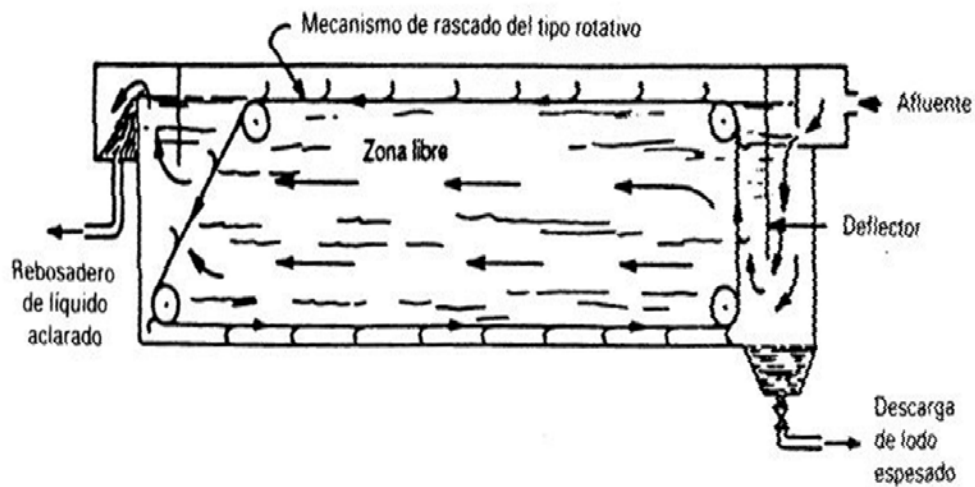


Figura 2.6 Diseño de un sedimentador rectangular con raquetas.

Fuente: Ramalho, 2003.

### 2.3.2 Flotación

Este tipo de sistemas de separación física es comúnmente llamado sistema DAF cuyas siglas en inglés corresponden a “Dissolved Air Flotation”. Partículas sólidas de baja densidad pueden ser separadas de un líquido mediante la flotación. La operación consiste en disolver aire en el seno del líquido, formando burbujas que se adhieren a las partículas y consecutivamente estas suben a las superficies del líquido de donde se remueven mediante un brazo desnatado (Escalante et al, 2003).

### 2.3.3 Tratamiento fisicoquímico

La turbiedad y el color del agua son causadas principalmente por partículas muy pequeñas, llamadas partículas coloidales. Estas partículas permanecen en suspensión en el agua por tiempo prolongado, aunque su concentración es muy estable, no presentan la tendencia de aproximarse unas a otras. Para eliminar estas partículas se recurre a los procesos de coagulación y floculación (ANDIA, 2000).

Se llama coagulación-floculación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al agua, llamados floculos. Mediante el proceso de coagulación se neutraliza la carga del coloide anulando las fuerzas electrostáticas repulsivas, esta neutralización suele realizarse aplicando al agua determinadas sales de aluminio o hierro (Coagulantes). La formación de los floculos es consecuencia de la agrupación de las partículas descargadas al ponerse en contacto unas con otras (Acosta, Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación, 2006). Esta agrupación de partículas coloidales permite la sedimentación de estas para ser removidas del agua a tratar.

## 2.4 Tratamiento secundario

La expresión tratamiento secundario se refiere a todos los procesos de tratamientos biológicos tanto aerobios como anaerobios (Ramalho, 2003). El tratamiento secundario tiene por objeto la eliminación de la materia orgánica (Escalante *et al*, 2003).

### 2.4.1 Lodos activados

El proceso de lodos activados es una forma de tratamiento donde el agua residual y el lodo biológico o activado (formado por una población heterogénea de microorganismos), son mezclados y aireados en un tanque o reactor, para posteriormente ser separados por sedimentación y recirculación dentro del sistema (Escalante *et al*, 2003).

En la figura 2.7 se muestra un sistema de lodos activados convencional.

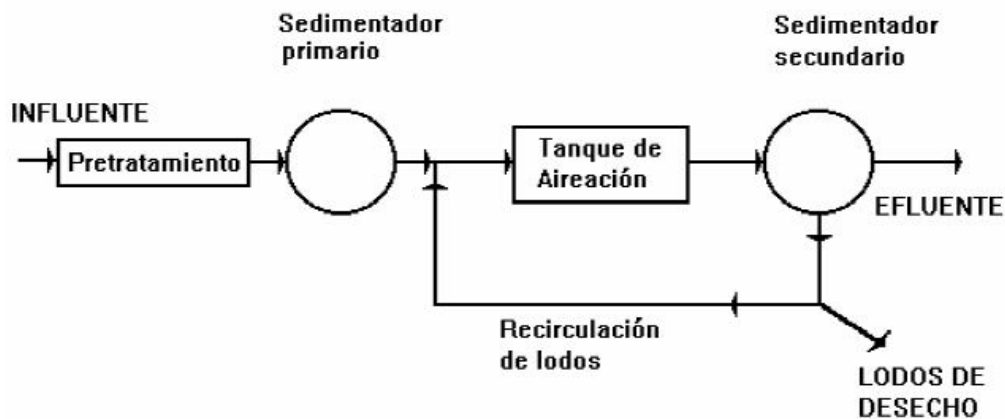


Figura 2.7 Diagrama de un sistema de lodos activados convencional.

Fuente: Escalante *et al*, 2003.

Los microorganismos presentes son bacterias unicelulares, hongos, algas, protozoos y rotíferos. De todos estos, las bacterias son probablemente las más importantes, encontrándose en todo los tipos de tratamientos biológicos (Ramalho, 2003).

La mezcla de lodo activado y agua residual que se produce en el tanque de aireación, se llama licor mezclado, el cual se envía a un tanque de sedimentador secundario (Escalante *et al*, 2003). Una parte de la biomasa separada en el sedimentador secundario se la recircula al reactor, el resto se elimina como lodo en exceso, de manera tal de mantener la

concentración de microorganismos en la cámara de aireación aproximadamente constante. De esta manera, por efecto de la recirculación aumenta la concentración de la biomasa en la cámara de aireación, y el tiempo de residencia, obteniéndose remociones similares con instalaciones más pequeñas. Al aumentar el tiempo de residencia de los microorganismos en el reactor, aumenta la actividad biológica, y disminuye así el tiempo de tratamiento (Guía Ambiental, s.f.).

El aire es introducido al tanque de aireación, ya sea mediante difusores que se colocan en el fondo o por aireadores mecánicos superficiales los que pueden ser fijos, ubicados sobre plataformas o flotantes (Escalante *et al*, 2003). En la figura 2.8 se puede observar las filas de difusores de aire en el fondo de un tanque de aireación. Mientras que en la figura 2.9 se observa un aireador mecánico en funcionamiento.



Figura 2.8 Difusores de aire.

Fuente: Escalante *et al*, 2003.



Figura 2.9 Aireador mecánico.

Fuente: Escalante *et al*, 2003.

Existen diferentes variaciones al proceso, entre los que destacan:

- Estabilización por contacto: En esta variante, el agua residual entrante al proceso, es aireada durante un tiempo de 20 a 30 minutos en un tanque llamado “tanque de contacto” para que los microorganismos absorban los contaminantes orgánicos sin dar oportunidad de asimilar la materia orgánica. El lodo activado pasa a sedimentación y es conducido a un tanque de estabilización donde se airea de 1.5 a 3 horas para degradar la materia orgánica. Parte del lodo recirculado se desecha y el restante se envía al tanque de contacto.
- Aireación decreciente: En tanques de aireación largos y angostos, se presenta un flujo tipo pistón con una demanda mayor de oxígeno a la entrada, disminuyendo hasta la salida. La cantidad total de aire se obtiene como en un proceso de lodos activados convencional, pero su distribución hace decrecer a lo largo del tanque colocando menos difusores o aireadores.
- Aireación extendida: Consiste en aumentar el tiempo de retención hidráulica en el sistema de 12 a 36 horas en lugar de 6 a 8 horas que emplea el proceso convencional. Este periodo de aireación extendida es la llamada “zanja de oxidación”, que consiste en un tanque de aireación formado por un canal cerrado donde un rotor o aireador mecánico generalmente del tipo cañón introduce el oxígeno suficiente al licor mezclado y mantiene la mezcla en movimiento.

Según Escalante *et al* (2003), el proceso de lodos activados puede convertir casi toda la materia orgánica del influente en sólidos, dichos sólidos al ser removidos producen un efluente de alta calidad. Desafortunadamente la sedimentación de sólidos floculentos es una operación difícil de realizar, por lo que se requiere un control operacional cuidadoso del sistema.

## 2.4.2 Filtro percolador

Un filtro percolador es una cama de grava o medio plástico sobre el cual se rocían las aguas negras pre tratadas. En este sistema el filtro percolador, los microorganismos se apegan al medio del lecho y forman una capa biológica sobre éste. A medida que las aguas negras se percolan por el medio, los microorganismos digieren y eliminan los contaminantes del agua (Lesikar & Enciso, s.f.). Un distintivo e importante elemento es el sistema de distribución del agua residual, siendo muy común del tipo rotatorio que se monta sobre un muelle o brazo central a la mitad del filtro (Escalante *et al*, 2003).

En la figura 2.10 se observa la parte transversal de un filtro percolador, así como el brazo de distribución del agua residual y el desagüe.

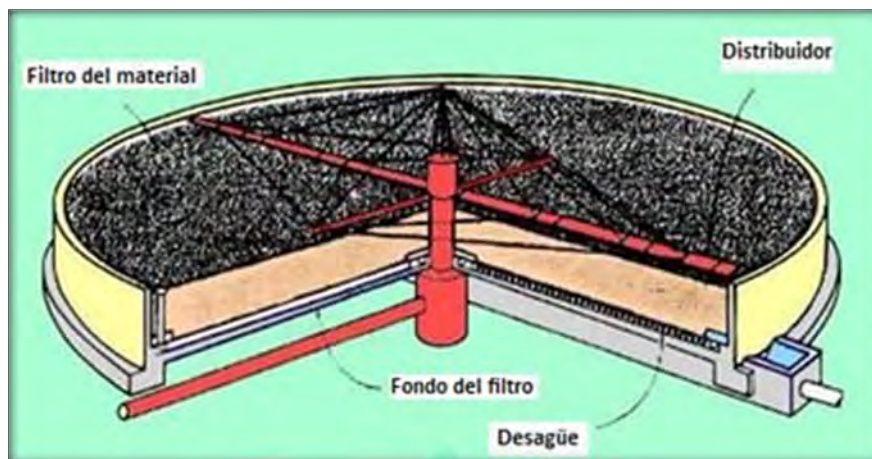


Figura 2.10 Filtro percolador.

Fuente: <http://filtrospec.blogspot.mx/>

Según Lesikar & Enciso (s.f.), un filtro percolador puede reducir:

- La demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>).
- Los patógenos u organismos que causan enfermedades.
- Los coliformes fecales o bacteria de los desechos humanos o animales.



### 2.4.3 Procesos anaerobios

El tratamiento anaerobio se utiliza tanto para las aguas residuales como para la digestión de lodos. Los productos finales de la degradación anaerobia son gases, principalmente metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), y pequeñas cantidades de sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), mercaptano ( $\text{RSH}$ ) e hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) (Ramalho, 2003).

El proceso comprende de dos etapas:

- Fermentación acida: Los compuestos orgánicos complejos del agua residual (proteínas, grasas e hidratos de carbono) se hidrolizan en primer lugar para producir unidades moleculares menores, las cuales a su vez son sometidas a biooxidación, convirtiéndose principalmente en ácidos orgánicos de cadena corta, tales como ácido acético, propionico y butílico. Una población heterogénea de bacterias facultativas y anaerobias es responsable de estas reacciones de hidrólisis y oxidación. En la etapa de la fermentación ácida no se produce una reducción importante de DQO, ya que principalmente lo que ocurre es la conversión de las moléculas orgánicas complejas en ácidos orgánicos de cadena corta que ejercen también una demanda de oxígeno (Ramalho, 2003).
- Fermentación metánica: microorganismos metanogénicos que son estrictamente anaerobios, convierten los ácidos de cadenas más largas a metano, dióxido de carbono y ácidos orgánicos de cadenas más cortas. Las moléculas ácidas se rompen repetidamente dando lugar finalmente a ácido acético que se convierte en  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  (Ramalho, 2003). Como se muestra en la siguiente figura:

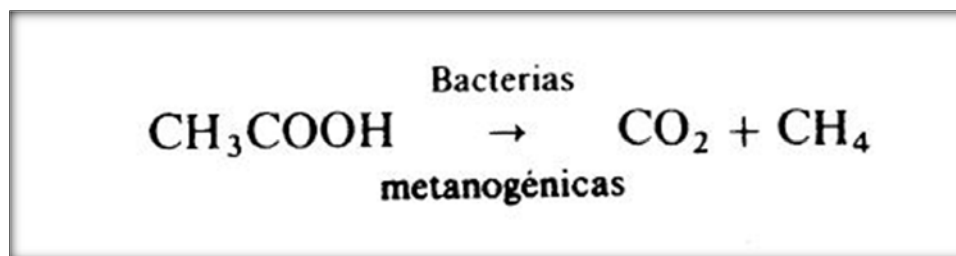


Figura 2.11 Conversión por parte de bacterias metanogénicas de ácido acético a metano y dióxido de carbono.

Fuente: Ramalho, 2003.

Existen diversos tipos de procesos de tratamientos anaerobios, entre los que destacan los siguientes:

- **Filtros anaerobios:** Son sistemas diseñados para llevar a cabo el tratamiento anaerobio empleando un crecimiento de biomasa por adherencia. Son similares a los filtros percoladores, salvo que la alimentación de agua residual penetra desde el fondo de la unidad y la abandona por la parte superior. En la figura 2.12 se muestra un diagrama de un filtro anaerobio.

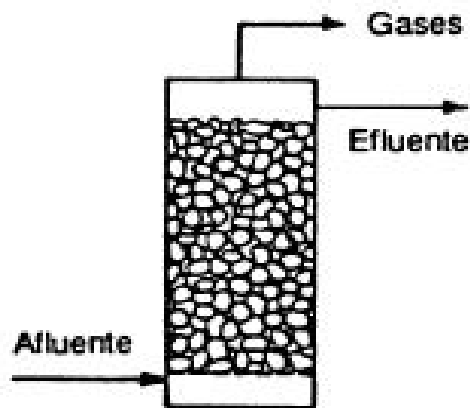


Figura 2.12 Diagrama de un filtro anaerobio.

Fuente: Ramalho, 2003.

- **Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB):** En este tipo de reactor, el agua residual entra por debajo del reactor, y el efluente tratado sale por la parte superior. El reactor no contiene ningún relleno para soportar el crecimiento biológico. El lodo formado en el reactor puede considerarse dividido en dos zonas. El lecho de lodo y la manta de lodo. La diferencia entre las dos zonas es que el lodo en la primera es más compacto que en la segunda. El biogás es atrapado por una especie de campana en la parte superior del reactor.

- En la figura 2.13 se muestra un diagrama de un UASB.

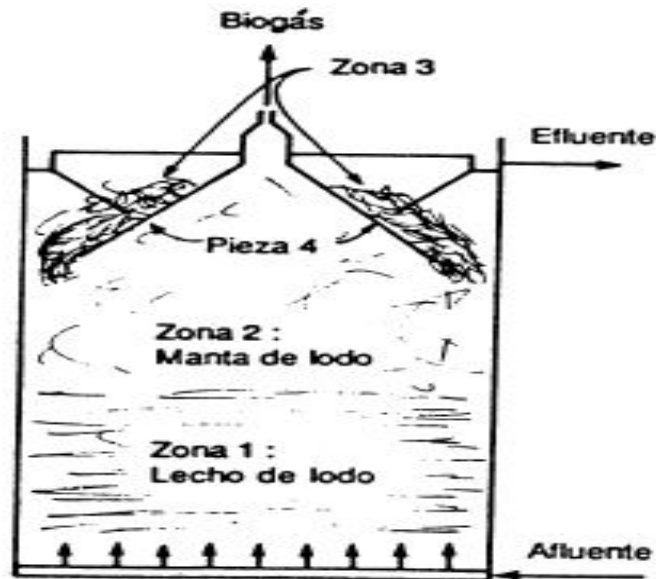


Figura 2.13 Diagrama de un reactor UASB.

Fuente: Ramalho, 2003.

Entre las ventajas que ofrece el uso del proceso anaerobio, Acosta & Obaya (2005) mencionan:

- El consumo de energía es muy bajo.
- La mayoría del material orgánico en el agua residual se convierte en biogás, que puede ser combustionado con el fin de obtener energía o vapor.
- La producción de lodos es muy bajo.
- Son sistemas que asimilan altas y bajas cargas orgánicas.
- Los costos de inversión son bajos.

Mientras que las desventajas son:

- El proceso anaerobio no permite conseguir la calidad de efluentes que se puede alcanzar en una planta de lodos activos y otros sistemas aerobios.

#### 2.4.4 Sistemas de discos biológicos rotatorios (biodiscos)

Una unidad o etapa de biofísicos consiste en una serie de discos montados en un eje central horizontal rotatorio e instalado en un tanque de concreto. Los biodiscos se sumergen en el agua residual justo por debajo del nivel del eje, en un tanque con un fondo cilíndrico, cuyo tamaño es ligeramente mayor que el de los biodiscos (Escalante *et al*, 2003). En la figura 2.14 se observan los principales componentes de un biodisco.

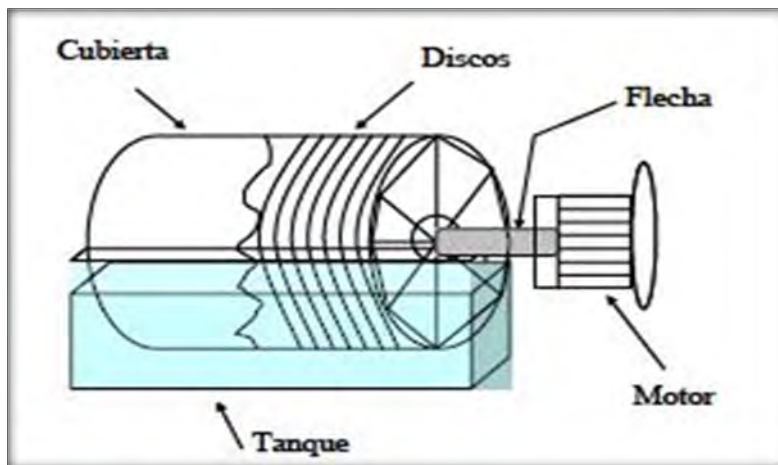


Figura 2.14 principales componentes de un biodisco.

Fuente: Escalante *et al*, 2003.

Este sistema de tratamiento biológico es usado para la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno y para el pulido de efluentes nitrificados (Deloya, s.f).

## 2.5 Tratamiento terciario, desinfección

Los organismos potencialmente problemáticos en el agua residual doméstica incluyen a las bacterias entéricas, los virus y los quistes de protozoarios. Como respuesta a estas preocupaciones, la desinfección se ha convertido en uno de los mecanismos principales para la desactivación o destrucción de los organismos patógenos (EPA, Desinfección con cloro, 1999).

### 2.5.1 Cloración

El cloro es el desinfectante más usado para el tratamiento del agua residual domestica porque destruye los organismos al ser desactivados por la oxidación del material celular. Puede ser suministrado en muchas formas que incluyen el gas cloro, las soluciones de hipoclorito y otros compuestos clarinados en forma sólida o líquida (EPA, Desinfección con cloro, 1999). El cloro puede obtener una eficiencia de remoción de 100% de coliformes fecales y totales (Escalante *et al*, 2003).

Su manejo requiere de un entrenamiento teórico-práctico de los operadores. Es tóxico para peces y vida acuática. Por lo que debe tenerse un control del efluente final si este se descarga en un embalse o una corriente y compuestos organoclorados que afecten cultivos.

### 2.5.2 Ozonización

El ozono es un oxidante y agente germicida de virus muy fuerte. Los mecanismos de desinfección asociados con el uso de ozono incluyen:

- La oxidación o destrucción directa de la pared de la célula con la salida de componentes celulares fuera de la misma.
- Las reacciones con los subproductos radicales de la descomposición del ozono.
- La ruptura de las uniones de carbono-nitrógeno que conduce a la despolimeración.

La eficacia de la desinfección depende de la susceptibilidad de los organismos a ser tratados, del tiempo de contacto y de la concentración del ozono. Generalmente se utiliza en plantas de tamaño mediano o grande una vez que el agua haya recibido por lo menos tratamiento secundario. Según la EPA (1999), la ozonización tiene sus ventajas y desventajas, descritas a continuación.

#### Ventajas

- Más eficaz que la utilización de cloro.
- Utiliza un periodo corto de contacto (Aproximadamente 10 a 30 minutos).
- No existen residuos peligrosos porque el ozono se descompone rápidamente.
- Después del proceso de ozonización, los organismos no crecen nuevamente.
- Eleva la concentración de oxígeno disuelto del efluente.

#### Desventajas

- La baja dosificación puede no desactivar efectivamente algunos virus, esporas o quistes.
- Requiere equipos complicados y sistemas de contacto eficientes.
- El ozono es reactivo y corrosivo, requiriendo así materiales resistentes a la corrosión tales como el acero inoxidable.
- El costo del tratamiento puede ser relativamente alto en cuanto a la inversión de capital y la demanda de energía eléctrica.

### 2.5.3 Rayos ultravioleta (UV)

El sistema de desinfección con luz ultravioleta (UV) transfiere energía electromagnética desde una lámpara de vapor de mercurio al material genético del organismo. Cuando la radiación UV penetra en las paredes de la célula de un organismo esta destruye la habilidad de reproducción de la célula. La eficacia del sistema de desinfección con luz UV depende de las características del agua residual, la intensidad de la radiación, el tiempo de exposición de los microorganismos a la radiación y la configuración del reactor. En la siguiente figura se observa como son los sistemas de desinfección con rayos UV.

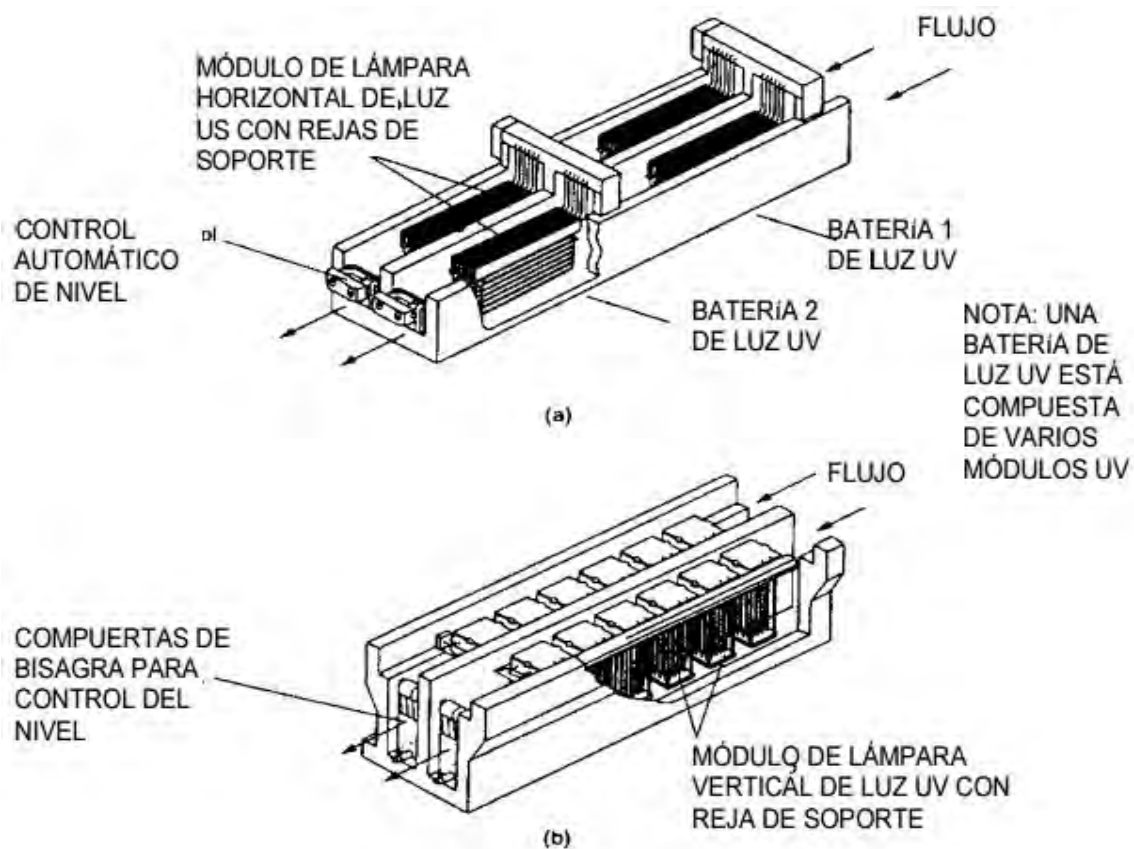


Figura 2.13 Planos de los sistemas típicos de desinfección con luz UV:

Fuente: EPA, 1999.

# **CAPITULO III**

## **PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “FOVISSSTE”**



## CAPITULO III. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “FOVISSSTE”.

### 3.1 Introducción

La PTAR “FOVISSSTE” está ubicada en el municipio de Felipe Carrillo Puerto, en la zona centro del estado de Quintana Roo. El organismo encargado de su operación es la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA) del estado de Quintana Roo.

Según el censo de población de población y vivienda del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) realizado en el año 2010, la localidad de Felipe Carrillo Puerto cuenta con 25,744 habitantes, en el año 2015 se proyecta una cantidad de 30,783 como se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Proyección de población de Felipe Carrillo Puerto.

AÑO	2005	2010	2015
POBLACIÓN (HABITANTES)	21530	25744	30783

En la localidad únicamente se cuenta con una PTAR, el cual únicamente da servicio al fraccionamiento FOVISSSTE; Según información de la CAPA, dentro del fraccionamiento FOVISSSTE se encuentran 115 casas-habitación que están conectadas a la red de alcantarillado, lo que comprende únicamente el 2.71% de cobertura dentro de la localidad. Por lo que el 97.29% de la localidad carece del servicio de alcantarillado y saneamiento de aguas residuales.

En este capítulo se describirán las instalaciones de la PTAR, su localización, así como los procesos y operaciones unitarias que componen el sistema de tratamiento, de igual forma se describirán las deficiencias y anomalías encontradas durante las visitas realizadas.

## 3.2 Localización

La PTAR “FOVISSSTE” se encuentra ubicada en el fraccionamiento FOVISSSTE al suroeste de la localidad de Felipe Carrillo Puerto, en la Figura 3.1 se muestra la macro localización de la PTAR.



Figura 3.1 Macro localización de la PTAR “FOVISSSTE”

Fuente: Bing Maps

La PTAR está localizada en la esquina de las calles 46 y 55 del fraccionamiento FOVISSSTE, sus coordenadas son 19° 34' 29.4348” latitud Norte, 88° 3' 30.7578” latitud Oeste (Google Maps, 2015). En la Figura 3.2 se muestra la ubicación de la PTAR dentro del fraccionamiento.



Figura 3.2 Micro localización de la PTAR.

Fuente: Bing Maps.

### 3.3 Rehabilitación de la ptar

La PTAR fue construida al mismo tiempo que el fraccionamiento pero la falta de capacitación de los operadores y el poco interés del organismo encargado de su operación llevo al abandono de esta, dejando expuesto al cuerpo receptor de las aguas residuales generadas dentro del fraccionamiento a una inminente contaminación, lo cual pone en peligro al manto freático.

A principios del año 2013, la CAPA llevó a cabo la rehabilitación de la PTAR, en el periodo comprendido del 6 de Febrero al 8 de Abril del año antes mencionado. Según Domínguez (2013), durante este periodo se realizaron las actividades enlistadas en la siguiente tabla:

Tabla 3.2 Actividades realizadas durante la rehabilitación de la PTAR "FOVISSSTE".

FECHA	ACTIVIDAD
06 de Febrero	Limpieza del reactor biológico, tanque de sedimentación y tanque de cloración.
06 de Febrero – 08 de Febrero	Llegada de los difusores para reemplazar los difusores dañados e instalación de las líneas de difusores en el reactor biológico.
13 de Febrero – 26 de Febrero	Sustitución de la tubería que conduce el aire desde las bombas a los difusores.
28 de Febrero	Realización de prueba para verificación del funcionamiento de los difusores.
6 de Marzo	Pintura de las instalaciones de la PTAR, así como colocación del barandal junto del tanque de cloración y reactor biológico.
6 de Marzo – 8 de Marzo	Descarga de agua cruda al reactor biológico para la activación de los lodos.
19 de Marzo – 8 de Abril	Instalación de tubería en el tanque sedimentador para la recirculación de lodos al reactor biológico.
8 de Abril	Inicio de operación de la PTAR.

Desde el 8 de Abril del 2013 hasta la fecha, la PTAR ha estado operando utilizando una lista de actividades que se deben realizar durante la jornada laboral de la planta. En la figura 3.3 se muestra el listado de actividades.

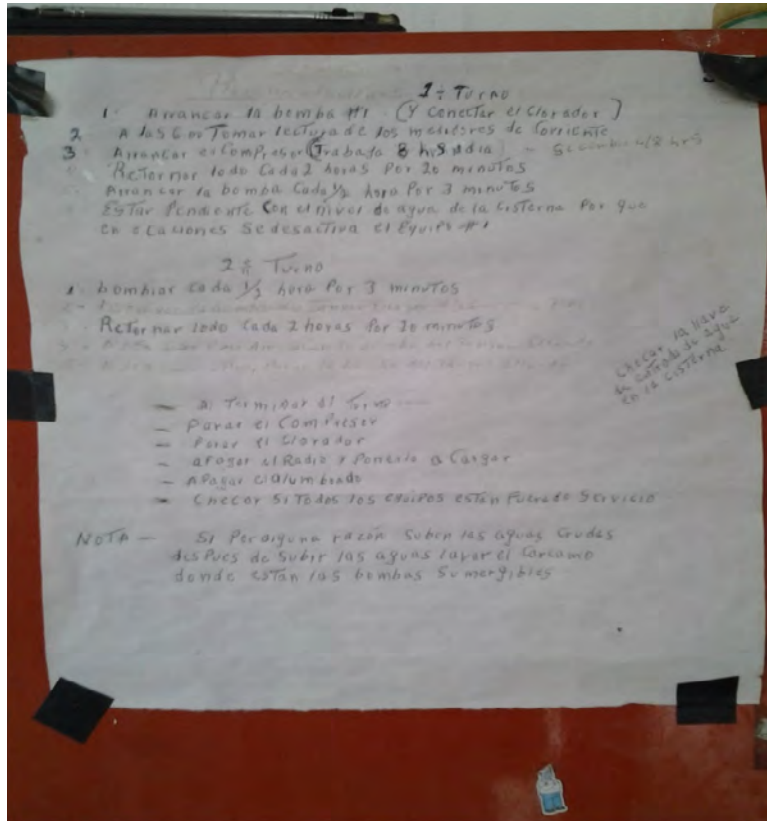


Figura 3.3 Lista de actividades a realizar por turno.

A continuación se describen las actividades que se realizan por turno, como están escritas en la lista:

#### PRIMER TURNO:

1. Arrancar la bomba #1 (y conectar el clorador).
2. A las 6:00 tomar lectura de los medidores de corriente.
3. Arrancar el compresor (Trabaja 8 hrs al día) – Se cambia cada 8 horas.
4. Retornar lodos cada 2 horas por 20 minutos.
5. Arrancar la bomba cada ½ hora por 3 minutos.

6. Estar al pendiente con el nivel de agua de la cisterna porque en ocasiones se desactiva el equipo #1.

SEGUNDO TURNO:

1. Bombear cada ½ hora por 3 minutos.
2. Retornar lodos cada 2 horas por 20 minutos.

Checar la llave de entrada de agua en la cisterna.

AL TERMINAR EL TURNO:

1. Parar el compresor.
2. Parar el clorador.
3. Apagar el radio y ponerlo a cargar.
4. Apagar el alumbrado.
5. Checar si todos los equipos están fuera de servicio.

*NOTA: Si por alguna razón suben las aguas crudas después de subir las aguas lavar el cárcamo donde están las bombas sumergibles.*

### 3.4 Procesos y operaciones unitarias

La PTAR FOVISSSTE cuenta con sistema de lodos activados de aireación extendida para la depuración del agua residual del fraccionamiento, con una capacidad de tratamiento instalada de 5 l/s, aunque se le proporciona tratamiento a un promedio de 0.61 l/s por la ligera aportación de agua residual por parte de los habitantes del fraccionamiento. En la tabla 3.2 se muestra la información general de la PTAR.

Tabla 3.2 Información general de la PTAR (Fuente: CAPA).

NOMBRE DE LA PLANTA	TIPO DE PROCESO	CAPACIDAD INSTALADA (l/s)	CAUDAL MEDIO (l/s)	CUERPO RECEPTOR
FOVISSSTE	LODOS ACTIVADOS	5	0.61	ACUIFERO

El tren de tratamiento de la PTAR, al ser un sistema de lodos activados de caudal bajo, no cuenta con un tratamiento primario. En la Figura 3.3, se muestra el tren de tratamiento de la PTAR FOVISSSTE.

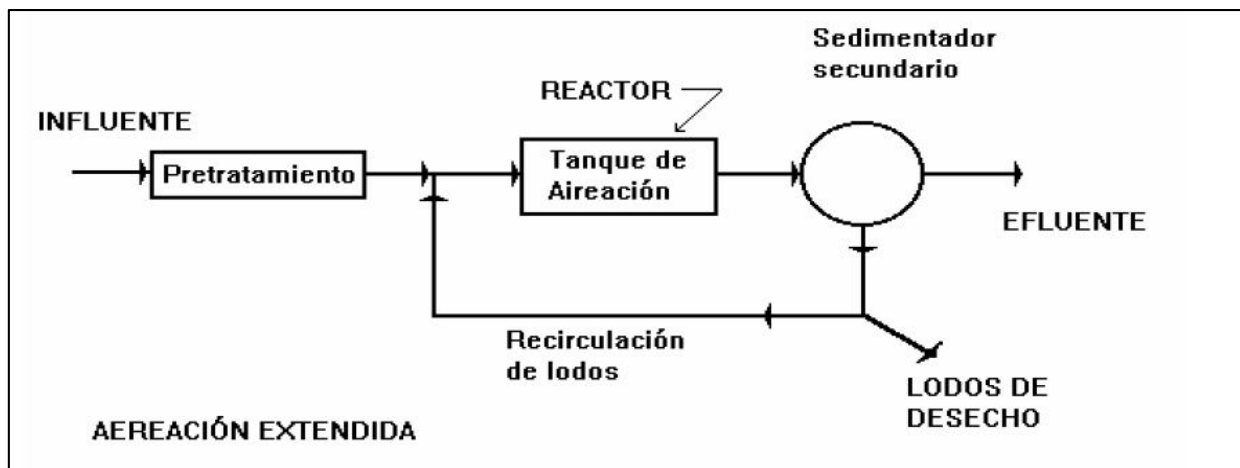


Figura 3.3 Diagrama de flujo del tren de tratamiento de la PTAR.

Fuente: Escalante et al.

A continuación se describirán los procesos y operaciones unitarias encontradas en la PTAR “FOVISSSTE” clasificadas por el tipo de tratamiento.

### 3.4.1 Pretratamiento o tratamiento preliminar

El agua residual llega a la PTAR mediante una red de drenaje que funciona por gravedad, por lo que el tubo del influente se encuentra tres metros debajo del nivel de la superficie.

En la figura 3.4 se muestra la escalera para ingresar al área del influente y tratamiento preliminar de la PTAR, mientras que en la figura 3.5 se muestra el tubo de 8” que funciona como influente en la PTAR.



Figura 3.4 Escalera para ingresar al área de tratamiento preliminar



Figura 3.5 Influyente de la PTAR

El tratamiento preliminar que recibe el agua residual al llegar a la planta, consiste en el paso del agua residual por el desarenador, que lo conduce posteriormente a un tanque de retención.

El desarenador cuenta con dos canales de desarenado, los cuales tienen una longitud de 3.22 metros, 0.20 metros de ancho y una profundidad de 0.30 metros cada canal. En la Figura 3.6 se muestra el desarenador de la PTAR FOVISSSTE.



Figura 3.6 Desarenador de la PTAR FOVISSSTE

### 3.4.2 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario de la PTAR se divide en dos etapas, la primera etapa es la del proceso biológico de lodos activados, y la segunda etapa es la del sedimentador, inmediatamente posterior al proceso biológico.



### 3.4.2.1 Proceso biológico de lodos activados

El proceso biológico de lodos activados del sistema de tratamiento de la PTAR tiene un influente intermitente, siendo bombeada el agua residual desde el tanque de retención hacia el reactor biológico por medio de un tubo de Policloruro de Vinilo (PVC), utilizando una bomba sumergible durante tres minutos, cada 30 minutos. En la figura 3.7 se muestra la entrada de agua residual mediante bombeo al reactor biológico, mientras que en la Figura 3.8 se muestra el reactor biológico en funcionamiento.



Figura 3.7 Influyente reactor biológico



Figura 3.8 Reactor biológico en funcionamiento

La aireación del proceso se lleva a cabo mediante un sistema de difusores de aire de burbuja fina. Se cuenta con cuatro hileras de 16 difusores por hilera dentro del reactor; en total se encuentran instalados 64 difusores dentro del reactor. En la Figura 3.9 se muestra un par de hileras con sus respectivos difusores de aire.

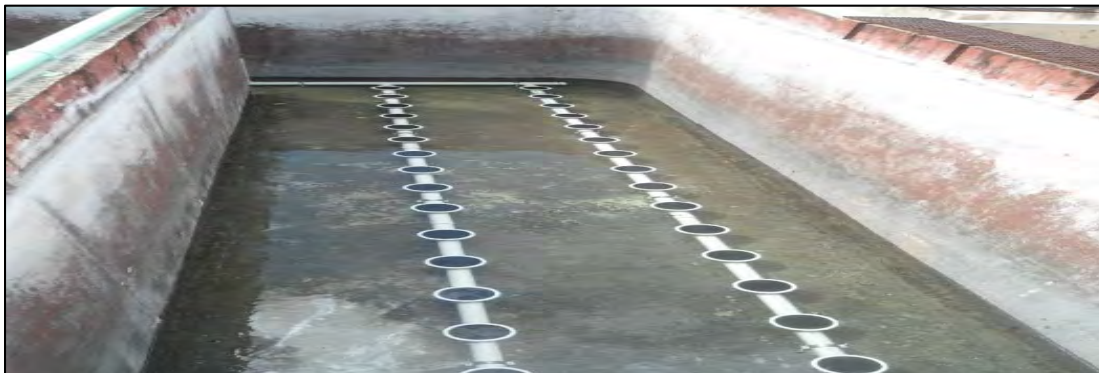


Figura 3.9 Difusores de burbuja fina.

Fuente: CAPA.

La aireación en el reactor biológico está activa durante las 16 horas que está en operación PTAR al día.

En la tabla 3.3 se describe de forma general los aspectos del reactor biológico de la PTAR.

Tabla 3.3 Aspectos generales del reactor biológico de la PTAR. (Elaboración propia)

TIPO DE PROCESO	TIPO DE DIFUSORES	NUMERO DE DIFUSORES	AREA SUPERFICIAL (M <sup>2</sup> )	VOLUMEN (M <sup>3</sup> )	VOLUMEN (LITROS)
LODOS ACTIVADOS	BURBUJA FINA	64	67.45	202.35	202,350

### 3.4.2.2 Sedimentador

En esta etapa del tratamiento, el agua tratada del efluente del reactor biológico, experimenta una operación unitaria llamada sedimentación. Los sólidos crean floculos, los cuales son sedimentados en este tanque creando acumulación de lodos que son posteriormente retornados al reactor biológico.

En la siguiente tabla se describen los aspectos generales del tanque de sedimentación:

Tabla 3.4 Aspectos generales del tanque sedimentador. (Elaboración propia)

TIPO DE PROCESO u OPERACIÓN	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	ALTURA (m)	ALTURA CON DESNIVEL (m)	AREA SUPERFICIAL (m <sup>2</sup> )	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )
SEDIMENTACIÓN	5.75	3.00	2.00	2.20	17.25	34.5

En la Figura 3.10 se muestra el tanque sedimentador de la PTAR.



Figura 3.10 Tanque sedimentador.

El retorno de lodos del tanque sedimentador al reactor biológico se lleva a cabo mediante el uso del sistema “*Air Lift*”, esta actividad se realiza cada dos horas.

En la Figura 3.11, se muestra el momento en el que son retornados los lodos del sedimentador al reactor biológico.

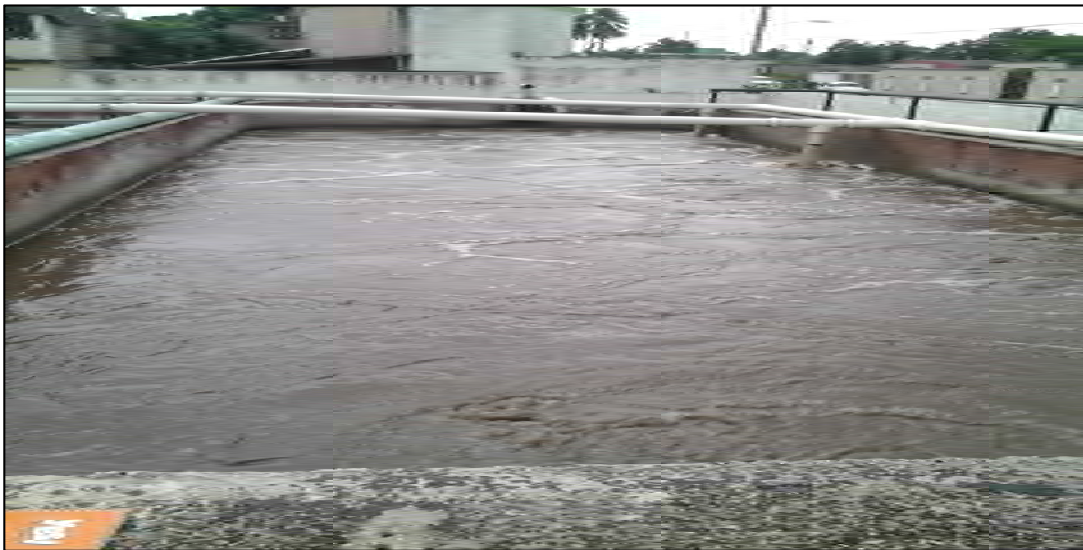


Figura 3.11 Retorno de lodos

### 3.4.3 Tratamiento terciario

El tratamiento terciario de la PTAR consiste en la adición de hipoclorito al agua residual para la eliminación de microorganismos patógenos. La adición del hipoclorito es mediante un equipo especial de golpeo, el cual trabaja a 10 golpes de hipoclorito por minuto. En la figura 3.12 se observa el equipo para la adición de hipoclorito.



Figura 3.12 Equipo de golpeo para la adición de Hipoclorito

El canal por el que es transportada el agua tratada está diseñada en forma de “S”, en la figura 3.13 se muestra la manguera por la cual se agrega el cloro al agua tratada.



Figura 3.13 Manguera con la que se agrega cloro al agua tratada.

#### 3.4.4 Infraestructura posterior al tratamiento terciario.

El agua residual tratada, al salir del tanque de cloración del tratamiento terciario, continúa su recorrido por medio de un tubo de PVC de 4" de diámetro hacia un filtro de metal, para posteriormente ser conducido de igual forma por un tubo de PVC hacia el pozo de absorción en el cual se procede a la inyección del agua residual tratada al acuífero o manto freático dando fin al tratamiento del agua residual.

En la figura 3.14 se muestra el filtro de metal.



Figura 3.14 Filtro de metal.

En la figura 3.15 se puede observar a la derecha, el pozo de absorción para la descarga del agua tratada al manto freático.



Figura 3.15 Pozo de absorción.

#### 3.4.4 TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES

La PTAR no cuenta con un tren de tratamiento de lodos residuales, lo unico que se pudo conocer, es que cada determinado tiempo, las oficinas centrales de CAPA manda un camión vactor, el cual es un equipo de succión que funciona mediante un generador de vacio para la limpieza, desasolve y mantenimiento de tuberias sanitarias, para la recolección y disposición de los lodos del reactor biologico, sin previo tratamiento.

# **CAPITULO IV**

## **METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN**

## CAPITULO IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1 Muestreo, visitas a la ptar “FOVISSSTE”

Las visitas a la PTAR que fueron realizadas, se enfocaron a dos objetivos específicos, el primero a caracterizar la PTAR, que permitirá conocer más a fondo la PTAR debido a la falta de documentos que especifiquen los equipos hidráulicos, el equipo inmobiliario, los tratamientos que recibe el agua residual y demás cosas existentes en las instalaciones de la PTAR. El segundo objetivo específico, es la aplicación de métodos normalizados para el análisis de parámetros químicos y físicos, que permitirá conocer y evaluar la eficiencia del tren de tratamiento de la PTAR mediante la comparación de los resultados en función de los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas establecidos en la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.

La primera visita a la PTAR se llevó a cabo el día 13 de Septiembre del 2014, dando inicio a la caracterización de la PTAR, se realizó un recorrido guiado por el operador en turno para conocer los procesos y operaciones unitarias que comprenden el tratamiento que recibe el agua residual.

La segunda visita se realizó el 25 de Octubre del 2014, en ella se documentó los equipos y el inmobiliario presente en la PTAR.

El 22 de Noviembre del 2015 se realizó la tercera visita a la PTAR, de nueva cuenta se repasó el tren de tratamiento de la PTAR, e igual se revisó el equipo e inmobiliario, esto para prevenir que se haya olvidado documentar algún elemento de la PTAR.

Los muestreos se llevaron a cabo en las fechas del 08 de Mayo del 2015 y el 19 de Junio del 2015, teniendo como horario de 3:00 PM a 8:30 PM. Esto debido a la distancia entre la localidad de Felipe Carrillo Puerto y Chetumal.



## 4.2 Recolección de muestras

Para la recolección de muestras, se siguieron las especificaciones para la recolección, preservación y almacenamiento de muestras según lo establecido en las Normas Mexicanas correspondientes a la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas (NMX-AA-028-SCFI-2001) y a la determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas (NMX-AA-030-SCFI-2001).

Para las muestras de la demanda química de oxígeno, la Norma Mexicana NMX-AA-030-SCFI-2001 nos especifica lo siguiente:

- La muestra se debe analizar inmediatamente después de su toma, en caso contrario debe conservarse en refrigeración a 4°C, además de la adición de ácido sulfúrico hasta  $\text{pH} < 2$ .
- El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 28 días.

Para las muestras de la demanda bioquímica de oxígeno, la Norma Mexicana NMX-AA-028-SCFI-2001 nos especifica lo siguiente:

- En el caso de las aguas naturales debe tomarse un mínimo de 1L de muestra de un envase de polietileno o vidrio. En el caso de aguas residuales ( $\text{DBO}_5$  mayores a 50 mg/L) deben tomarse mínimo 100 ml.
- No se debe agregar ningún preservador a las muestras. Solo deben conservarse a una temperatura de 4°C hasta su análisis.
- El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 24 horas.

### 4.3 Análisis de las muestras

Los análisis realizados para conocer la eficiencia de la PTAR “FOVISSSTE” fueron los descritos en la siguiente tabla:

Tabla 4.2 Parámetros físicos y químicos utilizados en la investigación.

<b>FISICO</b>	<b>QUÍMICO</b>
CAUDAL	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)
INDICE VOLUMETRICO DE LODOS	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)
	NITROGENO AMONIACAL NESSLER
	CONSUMO DE OXIGENO
	COLOR RESIDUAL

Para la DQO, DBO y Nitrógeno Amoniacal Nessler, se recomienda la filtración de las muestras, debido a que la presencia de materia orgánica podría interferir en los resultados de los análisis.

A continuación se describen los procedimientos necesarios para llevar a cabo los análisis de las muestras.

### 4.3.1 Caudal

Debido a la falta de equipo profesional para la medición de caudal, se recomienda usar el siguiente equipo y procedimiento:

#### EQUIPO

- FLEXOMETRO
- GIS
- OBJETO FLOTANTE (Hojas, bolitas de unicel, etc.)
- VARA U OTRO OBJETO.

#### PROCEDIMIENTO

- En el desarenador, marcar dos puntos y medir usando el flexómetro la distancia entre ellos.
- Medir la abertura del desarenador.
- Con una vara u otro objeto, medir la profundidad del agua dentro del desarenador.
- Soltar el objeto flotante y medir el tiempo en el que recorre la distancia entre los dos puntos establecidos anteriormente.

Usar la siguiente fórmula para determinar el caudal:

$$Q = (DxAxP)/t$$

Donde:

Q: Caudal

D: Distancia entre los puntos marcados en el desarenador.

A: Abertura del desarenador.

P: Profundidad del desarenador.

T: Tiempo en el que el objeto flotante atravesó D.

Medir el caudal cada tres horas durante los muestreos y anotar los resultados.

### 4.3.2 Demanda química de oxígeno.

Para el análisis de la demanda química de oxígeno, se utilizaron tubos de digestión HACH de alto rango, lo que reduce el procedimiento debido a que la solución de digestión viene lista para ser usada.

Durante los muestreos, tomar una muestra del influente y el efluente de la PTAR cada 30 minutos durante el muestreo.

El equipo necesario para el análisis y el procedimiento se describen a continuación:

#### EQUIPO

- Tubo de digestión HACH.
- Espectrofotómetro HACH.
- Pipeta.
- Reactor HACH.

#### PROCEDIMIENTO

- Para preparar “BLANCO”: Con una pipeta, agregar 2 ml de agua destilada dentro del tubo de digestión HACH, invertir varias veces el tubo para mezclar homogéneamente la muestra con la solución.
- Con una pipeta, agregar 2 ml de muestra dentro del tubo de digestión HACH, invertir varias veces el tubo para mezclar homogéneamente la muestra con la solución.  
Repetir con las demás muestras. (PRECAUCIÓN: Debido a la presencia de ácido sulfúrico en la solución de digestión al entrar en contacto con el agua, se produce una reacción exotérmica, lo que provoca el calentamiento del tubo de digestión, por lo que se recomienda usar guantes.)
- Pre calentar el reactor a 150 °C.
- Colocar los tubos HACH en el reactor y dejar calentar a 150 °C durante dos horas.
- Quitar los tubos HACH del reactor, dejar enfriar en una gradilla.
- Programar el espectrofotómetro HACH:
  - Encender el espectrofotómetro.
  - Ingresar el programa 384 COD HR, presionar Enter.
  - Colocar el haz de luz a 620 nm.
- Introducir el “BLANCO” en el espectrofotómetro y presionar la tecla “ZERO”, con lo cual ya podemos analizar las muestras.

- Introducir el tubo HACH en el espectrofotómetro, y presionar “READ”, lo cual nos indicara los valores de DQO de la muestra en mg/L. Repetir con las demás muestras.

Anotar los resultados y guardar los datos para elaborar gráficas de cada muestreo, para determinar el comportamiento según los días de muestreo, así como determinar la eficiencia del tratamiento.

Especificar anomalías presentadas durante el muestreo, en caso de poder interferir con los análisis.

### 4.3.3 Demanda bioquímica de oxígeno

Para el análisis de la demanda bioquímica de oxígeno, se recolectaron cuatro muestras, dos del influente de la PTAR y dos del efluente del sedimentador, por muestreo en los siguientes horarios:

- 6:00 PM: Primera muestra del influente y primera muestra del efluente del sedimentador.
- 8:30 PM: Segunda muestra del influente de la PTAR y segunda muestra del efluente del sedimentador.

Se utiliza este horario debido a la distancia entre la localidad de Felipe Carrillo Puerto y la localidad de Chetumal, así como lo descrito en la especificación sobre el tiempo de conservación de la muestra para el análisis de DBO de la NMX-AA-028-SCFI-2001.

A continuación se describe el equipo y reactivos necesarios, así como el procedimiento para la preparación de soluciones y análisis de la demanda bioquímica de oxígeno.

#### EQUIPO

- Equipo de aireación con difusor.
- Incubador: controlado con termostato a 20°C.
- Balanza analítica con precisión de 0.1 mg.
- Medidor de Oxígeno disuelto.
- Pipeta.
- Vasos de precipitado.
- Botellas Winkler de 300 ml.
- Bidón de 20 L.

#### REACTIVOS:

- Fosfato monobásico de Potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ).
- Fosfato dibásico de sodio heptahidratado ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ).
- Cloruro de Amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ).
- Sulfato de Magnesio heptahidratado ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ).
- Cloruro de calcio anhídrido ( $\text{CaCl}_2$ ).
- Cloruro férrico hexahidratado ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ).

## PROCEDIMIENTO

Para llevar a cabo el análisis de la DBO, primero se debe preparar agua de dilución, el cual se prepara como se describe a continuación.

### PREPARACIÓN AGUA DE DILUCIÓN

Antes de preparar el agua de dilución, se deben preparar, usando la información de la Norma Mexicana NMX-AA-028-SCFI-2001 y arreglándola para la preparación de la cantidad de 100 ml de agua de dilución para evitar el desperdicio de las soluciones, las siguientes disoluciones:

- Disolución de Sulfato de Magnesio: Pesar 2.25 gramos de sulfato de magnesio heptahidratado, disolver en agua y diluir a 100 ml.
- Disolución de cloruro de calcio: Pesar 2.75 gramos de cloruro de calcio anhídrido, disolver en agua y diluir a 100 ml.
- Disolución de cloruro férrico: Pesar 0.025 gramos de cloruro férrico hexahidratado, disolver en agua y diluir a 100 ml.
- Disolución amortiguadora de fosfato: Pesar 8.5 gramos de fosfato monobásico, 2.175 gramos de fosfato dibasico de potasio, 3.34 de fosfato dibasico de sodio heptahidratado y 0.17 gramos de cloruro de amonio, disolver en 50 ml y diluir a 100 ml.

Para la preparación del agua de dilución, se debe colocar el volumen de agua requerido en un frasco y añadir por cada litro 1 ml de cada una de las siguientes disoluciones:

- Disolución de sulfato de magnesio.
- Disolución de cloruro de calcio.
- Disolución de cloruro férrico.
- Disolución amortiguadora de fosfatos.

Airear el agua de dilución con un mínimo de una hora antes de usar. El agua de dilución se deberá preparar cada vez que se desee realizar un análisis de DBO.

## DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO AL QUINTO DIA

Después de tener lista el agua de dilución, procedemos a realizar el análisis, llevando a cabo los siguientes pasos:

- Agregar 1ml de la muestra de agua en una botella Winkler.
- Llenar con agua de dilución la botella Winkler.
- Medir el oxígeno disuelto con un medidor electrométrico de oxígeno.
- Ajustar herméticamente el tapón de la botella Winkler, poner la contratapa e incubar por cinco días a 20°C.
- Transcurridos los cinco días, medir el oxígeno disuelto de las muestras inmediatamente después de destapar la botella Winkler.

Anotar los resultados obtenidos, calcular la DBO al quinto día con la siguiente ecuación:

$$DBO_5 = \frac{OD\ inicial - OD\ final}{Fracción\ de\ Dilución}$$

Donde:

OD inicial: Oxígeno disuelto inicial.

OD final: Oxígeno disuelto final.

Fracción de dilución: Fracción de dilución representada en decimales (1:300)

Anotar los resultados de la ecuación y compararlos con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.



#### 4.3.4 Nitrógeno amoniacal.

El análisis de nitrógeno amoniacal se llevó a cabo aplicando el método de Nessler. A continuación se describe el equipo, material, los reactivos y el procedimiento para el análisis de nitrógeno amoniacal Nessler.

##### EQUIPO

- Espectrofotómetro HACH.

##### MATERIAL

- 1 Pipeta.
- Vaso de precipitado de 50 ml.
- 1 Probeta de 50 ml.

##### REACTIVOS

- Reactivo Nessler.
- Estabilizador mineral
- Reactivo de dispersión alcohol poli vinílico.
- Agua destilada.

##### PROCEDIMIENTO

- Encender el espectrofotómetro HACH.
- Seleccionar el programa para nitrógeno amoniacal, presionando **2400**, presionar **ENTER**.
- Ajustar la longitud de onda a 425 nm.
- Presionar el botón **TIME**, esperar 60 segundos.

Debido a la cantidad de Nitrógeno amoniacal que se puede llegar a encontrar en el influente de la planta, así como en el efluente, se hará una dilución en las muestras. Las muestras serán diluidas a 5/25.

- En la probeta, agregar 5 ml de muestra y diluir con agua destilada a 25 ml. Agitar vigorosamente.
- En una celda, agregar 25 ml de agua destilada (Preparación de blanco).
- Agregar al blanco y a la muestra los siguientes reactivos:
  - Tres gotas del estabilizador mineral. Agitar vigorosamente para mezclar.
  - Tres gotas del agente de dispersión alcohol polivinil. Agitar vigorosamente para mezclar.
  - Con una pipeta, agregar 1ml del reactivo Nessler (El color amarillo indica que la muestra contiene nitrógeno amoniacal). Agitar vigorosamente para mezclar.
- Vaciar la muestra en una celda.
- Colocar la celda del blanco en el espectrofotómetro, tapar y presionar el botón **ZERO**. La pantalla mostrara **0.0 mg/L N-NH<sub>3</sub>**.
- Colocar la muestra dentro del espectrofotómetro, tapar y presionar **READ**. El espectrofotómetro mostrará el resultado en **mg/L N-NH<sub>3</sub>**.

Reportar los resultados en mg/L N-NH<sub>3</sub> con dos cifras significativas con la precisión (desviación estándar, media) correspondiente.

### 4.3.5 Índice volumétrico de lodos

El índice volumétrico de lodos (IVL), permite evaluar si el lodo se sedimenta correctamente. Se define como el volumen ocupado en milímetros por gramo de lodo biológico luego de 30 minutos de sedimentación (Guía Ambiental, s.f.).

Para calcular el IVL, primero se necesitan conocer los sólidos suspendidos totales y la prueba de sólidos sedimentables.

#### SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.

Para la prueba de los sólidos suspendidos totales, se tomó una muestra de 50 ml del reactor biológico. A continuación se describe el procedimiento, así como los materiales necesarios para realizar esta prueba.

#### MATERIALES

- Matraz Kitasato de 500 ml.
- Papel filtro Whatman.
- Embudo de filtración.
- Equipo de aireación con tubo para generar vacío.
- Manguera.
- Estufa.
- Pinza.
- Balanza analítica.

#### PROCEDIMIENTO

- Ensamblar el tubo para la generación de vacío con la manguera en el matraz kitasato.
- Colocar el papel filtro Whatman en el embudo de filtración.
- Colocar el embudo en el matraz kitasato y accionar el tubo para la generación de vacío en el matraz.
- Agregar la muestra en el embudo y esperar que termine la filtración.

- Con una pinza, retirar el papel filtro Whatman del embudo y colocarlo en la balanza analítica. Anotar el resultado.
- Colocar el papel filtro Whatman en la estufa y establecer a una temperatura constante de 103° durante 10 minutos.
- Retirar el papel filtro Whatman de la estufa y pesar en la balanza analítica. Anotar los resultados.

El peso inicial de la muestra en el papel filtro contiene humedad, por lo que al agregarle calor a una temperatura de 103°C, hacemos que la humedad de la muestra se evapore, quedando únicamente los sólidos, obteniendo así el peso final como el valor de los sólidos suspendidos totales.

## SÓLIDOS SEDIMENTABLES

La prueba de sólidos sedimentables se lleva a cabo mediante la sedimentación de una muestra del reactor biológico durante 30 minutos. A continuación se describe los materiales necesarios, así como el procedimiento para realizar la prueba.

## MATERIAL

- Probeta de 1L.
- Bote de plástico.

## PROCEDIMIENTO

- Retirar una muestra de agua del reactor biológico con un bote de plástico.
- Mezclar para homogeneizar la muestra.
- Agregar en la probeta un volumen de 1L de la muestra.
- Dejar sedimentar durante 30 minutos.
- Anotar los resultados.

Teniendo los resultados de los sólidos suspendidos totales y la prueba de sólidos sedimentables. Se procede a aplicar la ecuación para calcular el IVL, el cual es el siguiente:

$$IVL \left[ \frac{ml}{g} \right] = \frac{Sólidos sedimentables 30' [ml/L]}{Sólidos Suspendidos Totales [g/L]}$$

Si el IVL es mayor a 200 ml/g, el sistema de lodos activados no está funcionando correctamente (Guía Ambiental, s.f.).

#### 4.3.6 Cloro residual

El cloro es un producto químico relativamente barato y ampliamente disponible que, cuando se disuelve en agua en cantidad suficiente, destruye la mayoría de los microorganismos causantes de enfermedades (Organización Mundial de la Salud, 2009).

En esta investigación, se usó el método más común, el cual es el indicador de DPD (Dietil-para-fenil-diamina) mediante un kit de comparación. A continuación se describe el material y el procedimiento necesario para realizar este método.

##### MATERIAL

- Kit de medidor de cloro.

##### PROCEDIMIENTO

- Colocar en una de las cámaras del kit de medición agua clorada.
- Triturar y agregar una tableta.
- Agitar.
- Comparar el color del agua clorada, con las marcas que indican el nivel de cloro en el kit.

Anotar los resultados obtenidos durante los muestreos.

# **CAPITULO V**

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## CAPITULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante los muestreos realizados en la investigación, así como una interpretación de los resultados.

### 5.1 Resultados demanda química de oxígeno

En las siguientes tablas se presentan las concentraciones de DQO medidas en el influente de la PTAR y en el efluente del sedimentador.

#### 5.1.1 Primer muestreo

El primer día de muestreo con fecha del 8 de Mayo del 2015, presentó los resultados descritos en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Concentración de DQO medido en el primer muestreo con fecha 8 de Mayo del 2015

DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (mg/L)			
HORA	INFLUENTE	SEDIMENTADOR	% DE REMOCIÓN
15:00	414	72	83%
15:30	608	71	88%
16:00	540	79	85%
16:30	376	99	74%
17:00	284	71	75%
17:30	380	89	77%
18:00	416	115	72%
18:30	426	107	75%
19:00	382	82	79%
19:30	498	89	82%
20:00	305	86	72%
20:30	377	62	84%

Con un valor máximo de aportación de DQO de 608 mg/L a las 15:30 horas, debido a que a esta hora, las personas regresan a sus domicilios después de concluidas sus labores, lo que genera una gran aportación de agua residual, y un valor mínimo de 284 mg/L a las

17:00 horas en el influente de la PTAR, mientras que un valor máximo de 115 mg/L a las 18:00 horas y un valor mínimo de 62 mg/L a las 20:30 horas en el efluente del sedimentador.

Durante el muestreo se estimó un promedio de 417 mg/L en el influente y un promedio de 85 mg/L en el efluente del sedimentador.

La desviación estándar fue de 92.63 mg/L en el influente, mientras en el efluente del sedimentador 15.80 mg/L.

El promedio de eficiencia de remoción de DQO fue de 79.58%, un valor alto, pero no lo suficiente para decir que el tratamiento que recibe el agua residual es buena. El mayor porcentaje de remoción se presentó a las 15:30 horas, comparando la alta concentración del influente con la del influente del sedimentador, teniendo un valor de remoción de 88%. Mientras que el menor porcentaje de eficiencia se presentó a las 18:00 horas con un valor de apenas el 72% de remoción.

En las siguiente grafica se presentan las concentraciones de la DQO del 8 de Mayo del 2015.

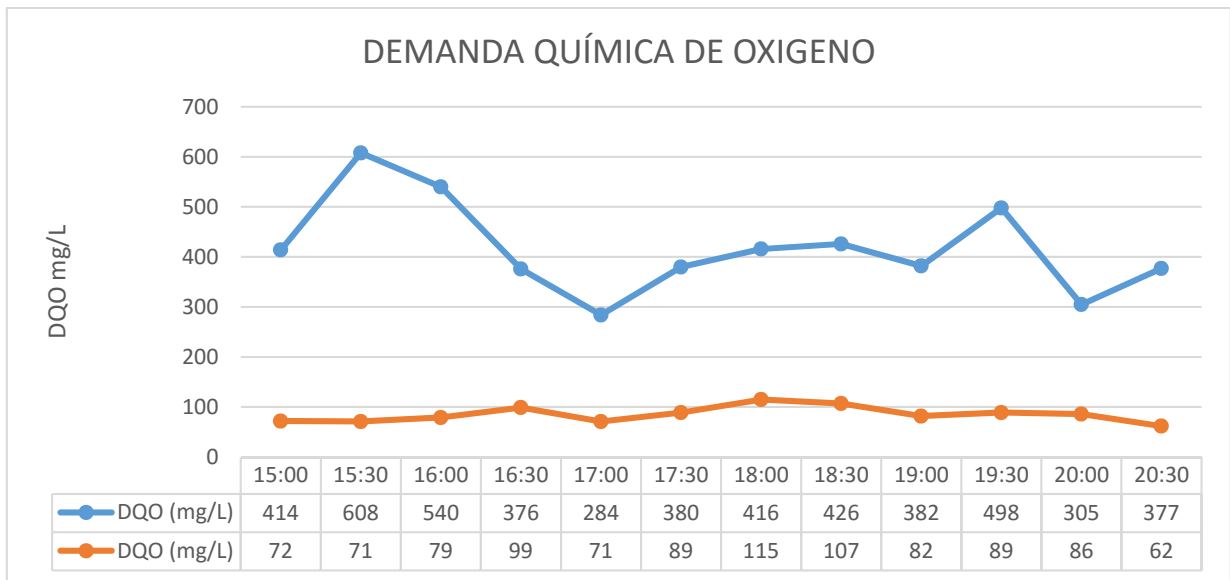


Grafico 5.1 Concentración de DQO en el influente de la PTAR y efluente del sedimentador.



### 5.1.2 Segundo muestreo

El segundo día de muestreo se realizó el día 23 de Junio del 2015, el cual presentó las concentraciones descritas en la tabla 5.2. Obteniendo un promedio de 274 mg/L en el influente de la PTAR, mientras que en el efluente del sedimentador se registró un promedio de 51 mg/L.

Tabla 5.2 Concentración de DQO medido en el segundo muestreo realizado el día 23 de Junio del 2015

<b>DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (mg/L)</b>			
<b>HORA</b>	<b>INFLUENTE</b>	<b>SEDIMENTADOR</b>	<b>% REMOCIÓN</b>
15:00	375	156	58%
15:30	338	78	77%
16:00	227	26	89%
16:30	251	31	88%
17:00	263	48	82%
17:30	238	12	95%
18:00	178	33	81%
18:30	238	56	76%
19:00	597	62	90%
19:30	185	42	77%
20:00	191	32	83%
20:30	203	35	83%

La muestra con la mayor concentración de DQO obtenida en el influente de la PTAR, se presentó a las 19:00 horas, durante esta hora se pudo observar la presencia de aguas jabonosas en el tubo de entrada y desarenador de la PTAR, lo que posiblemente elevó, con respecto a las demás muestras, la concentración de la DQO. Mientras que la menor concentración se presentó en la muestra de las 18:00 horas.

Las mayores concentraciones de DQO obtenidas en el sedimentador, se presentaron en las primeras dos muestras, con una concentración de 156 mg/L a las 15:00 y 78 mg/L a las 15:30 horas, esto debido a la presencia de grandes cantidades de floculos de lodos, provenientes del reactor biológico, flotando en la parte superior del sedimentador.

El promedio del porcentaje de remoción es de 80.40%, similar al obtenido en el primer muestreo, lo que significa que la PTAR tiene un funcionamiento regular. El mayor porcentaje de remoción se presentó en la muestra tomada a las 17:30 horas, con un valor de 95% de

remoción. Mientras que el menor porcentaje de remoción se presentó en la muestra tomada a las 7:00 de remoción.

En el siguiente grafico se describe la forma en que cambia la concentración de DQO con respecto al tiempo.

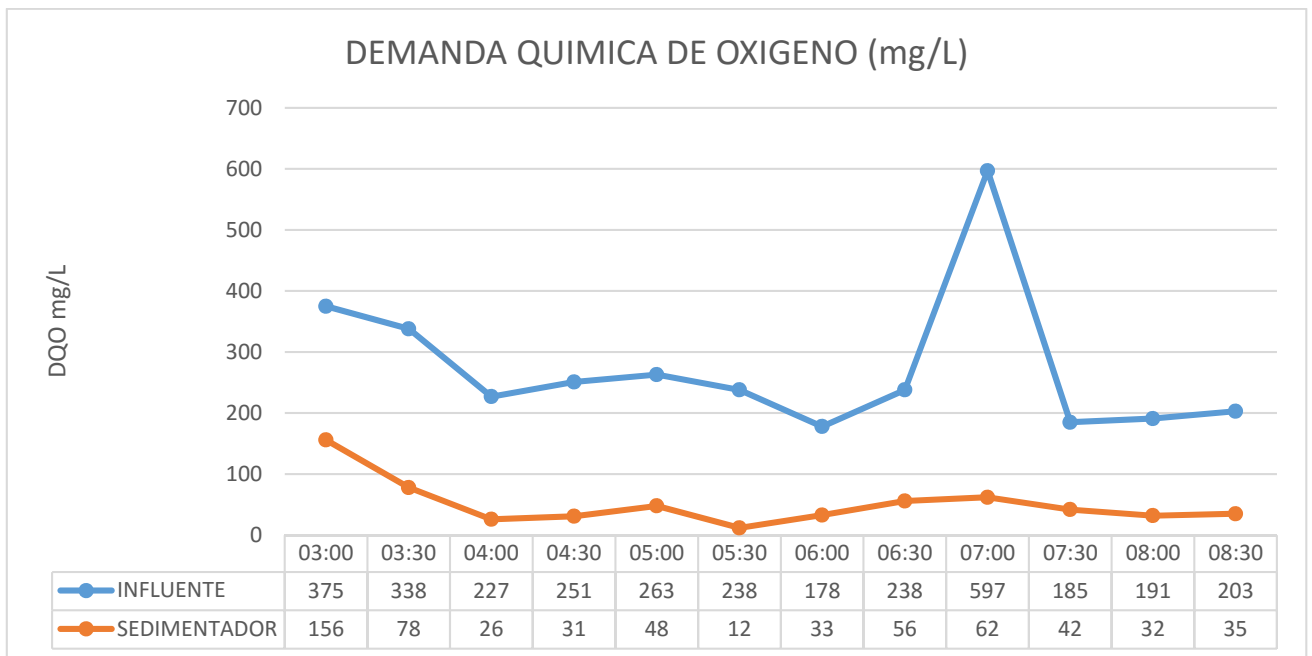


Grafico 5.2 Concentración en el influente de la PTAR y en el sedimentador.

Como se puede observar, el aumento drástico a las 19:00 horas debido a la presencia de aguas jabonosas.

En los siguientes gráficos se comparan las concentraciones de DQO en el influente y sedimentador.

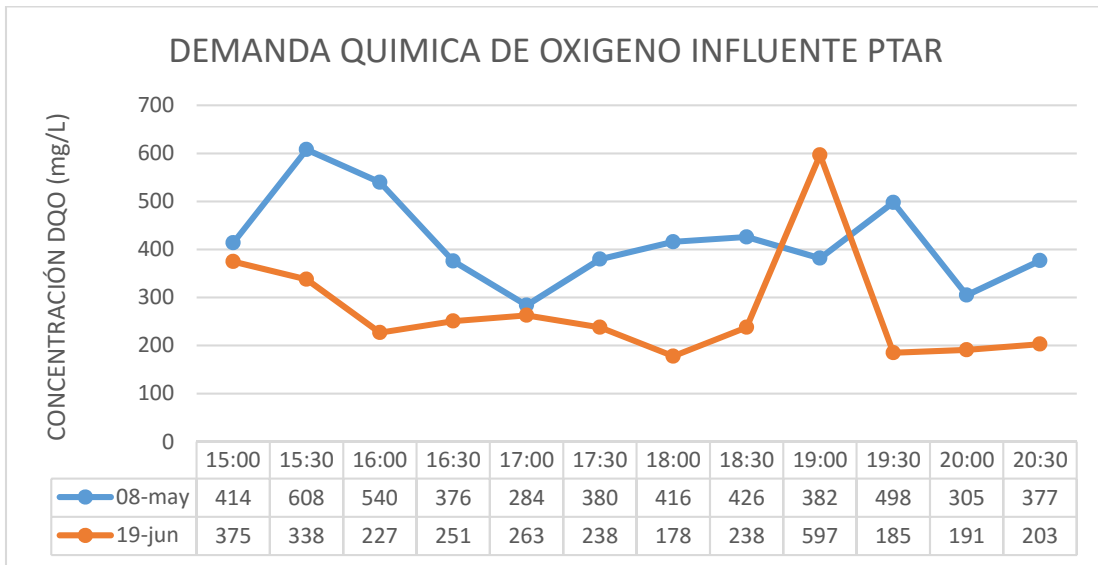


Grafico 5.3 Concentración DQO influente.

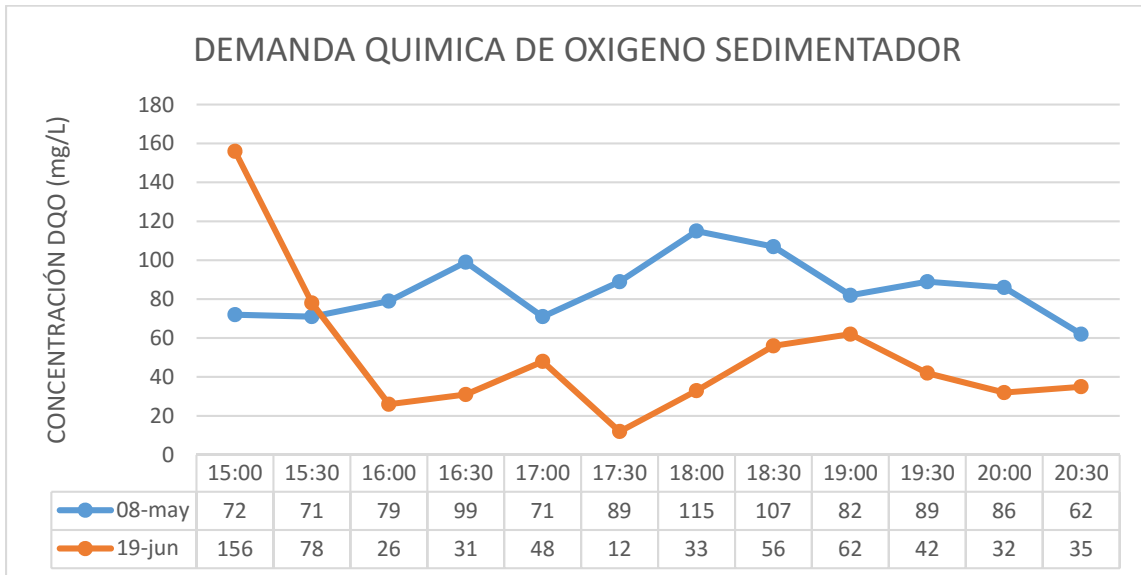


Grafico 5.4 Concentración DQO sedimentador.

Se puede observar el cambio de los valores del segundo muestreo con respecto al primero, observando un rango de 178 mg/L y 608 mg/L en el influente y un rango de entre 12 mg/L y 156 mg/L de DQO en el sedimentador.

### 5.1.3 Eficiencia de remoción

El porcentaje de remoción de DQO entre el influente y el sedimentador, nos indica la eficiencia del tratamiento que recibe el agua residual al transitar por la PTAR. En la tabla 5.3 se describen los porcentajes de remoción con respecto al horario de la recolección de la muestra

Tabla 5.3 Porcentajes de remoción de DQO con respecto al horario de la recolección de la muestra.

HORARIO	FECHA	
	08-may	19-jun
15:00	83%	58%
15:30	88%	77%
16:00	85%	89%
16:30	74%	88%
17:00	75%	82%
17:30	77%	95%
18:00	72%	81%
18:30	75%	76%
19:00	79%	90%
19:30	82%	77%
20:00	72%	83%
20:30	84%	83%

En el siguiente grafico se observa de forma más clara las diferencias de eficiencia en la remoción de DQO entre los días de muestreos.

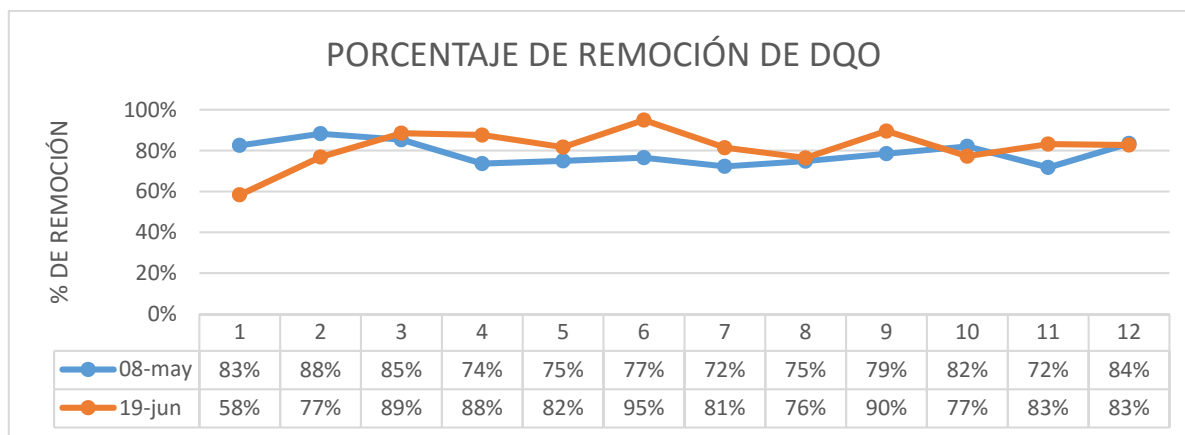


Grafico 5.5 Porcentaje de remoción de DQO.

Observando que en el día 19 de Junio se presentó el mayor valor de eficiencia, así como el menor valor de eficiencia de remoción de DQO.

Se debe mencionar que por la baja aportación de agua residual a la PTAR por parte del fraccionamiento, se presentan valores de DQO bajos. Esto debido a que se bombea agua residual del tanque homogeneizador o de retención cada 30 minutos durante tres minutos, dejando sin alimento a los microorganismos o lodos activados del reactor biológico, provocando que mueran por inhibición, lo que genera grandes cantidades de lodo residual en el reactor.

## 5.2 Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno.

Los resultados de la medición de la DBO se describen en las tablas:

Tabla 5.4 Resultados del Oxígeno disuelto durante el primer muestreo.

HORA	OXIGENO DISUELTO INICIAL		OXIGENO DISUELTO FINAL	
	18:00	20:30	18:00	20:30
R1	5.11	4.79	4.93	4.65
R2	5.14	4.74	4.88	4.58
R3	5.16	4.72	4.77	4.51
PROMEDIO	5.137	4.750	4.860	4.580
FRACCIÓN DILUCIÓN	1/300			

Tabla 5.5 Resultados del OD durante el segundo muestreo.

HORA	OXIGENO DISUELTO INICIAL (mg/L)		OXIGENO DISUELTO FINAL (mg/L)	
	18:00	20:30	18:00	20:30
REPLICA 1	4.98	4.44	4.92	4.37
REPLICA 2	4.89	4.75	4.79	4.66
REPLICA 3	5.02	4.82	4.91	4.70
PROMEDIO	4.963	4.670	4.873	4.577
FRACCIÓN DILUCIÓN	1/300			

Tabla 5.6 Demanda bioquímica de oxígeno al quinto día.

HORA	PRIMERO MUESTREO		SEGUNDO MUESTREO	
	18:00	20:30	18:00	20:30
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	83	51	27	28
LIMITE MAXIMO PERMISIBLE NOM-001-SEMARNAT-1996	60 mg/L			
CUMPLE CON LA NORMA	NO	SI	SI	SI

Para la comparación de los resultados con la NOM-001-SEMARNAT-1996, se tomó en cuenta el valor del promedio diario más estricto, el cual es para protección de vida acuática, así como para el uso público urbano. Por lo que se observa que en el horario de las 18:00

horas, es el único resultado negativo ya que supera por 23 mg/L el límite máximo permisible de DBO<sub>5</sub>.

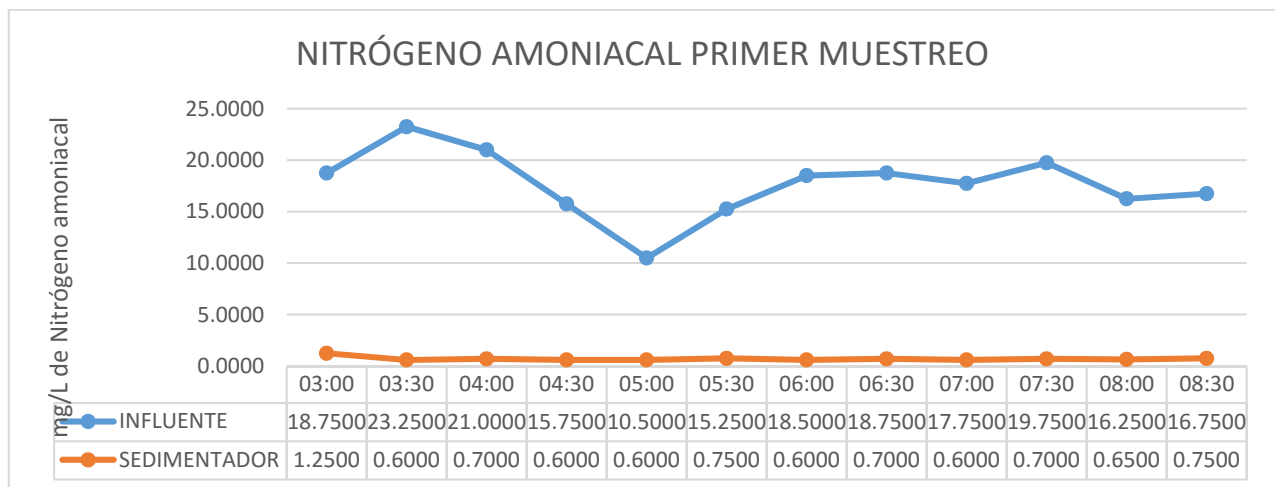
### 5.3 Resultados de nitrógeno amoniacal.

Los resultados obtenidos durante el análisis de Nitrógeno Amoniacal se muestran en las siguientes tablas, complementando con unas gráficas para comprender mejor los resultados. Los resultados del primer muestreo se muestran en la tabla 5.7.

Tabla 5.7 Resultados del análisis de nitrógeno amoniacal primer muestreo.

NITROGENO AMONNIACAL N-NH3 NESSLER (mg/L)			
HORA	INFLUENTE	SEDIMENTADOR	REMOCIÓN
15:00	18.7500	1.2500	93%
15:30	23.2500	0.6000	97%
16:00	21.0000	0.7000	97%
16:30	15.7500	0.6000	96%
17:00	10.5000	0.6000	94%
17:30	15.2500	0.7500	95%
18:00	18.5000	0.6000	97%
18:30	18.7500	0.7000	96%
19:00	17.7500	0.6000	97%
19:30	19.7500	0.7000	96%
20:00	16.2500	0.6500	96%
20:30	16.7500	0.7500	96%
<b>PROMEDIO</b>	<b>17.6875</b>	<b>0.7083</b>	<b>96%</b>

En la siguiente grafica se muestra el ritmo de cambio según el horario en el primer muestreo.



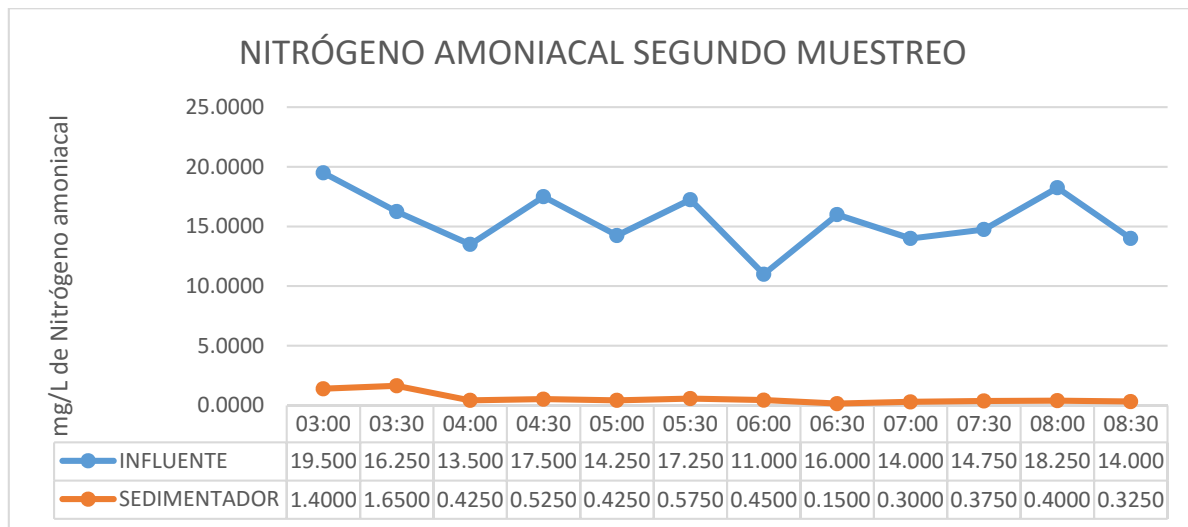
Grafica 5.6 Resultados del análisis de nitrógeno amoniacal del primer muestreo.

En la tabla 5.8 se describe los resultados del análisis del segundo muestreo.

Tabla 5.8 Resultados del análisis de nitrógeno amoniacal segundo muestreo.

NITROGENO AMONNIACAL N-NH3 NESSLER (mg/L)			
HORA	INFLUENTE	SEDIMENTADOR	REMOCIÓN
03:00	19.5000	1.4000	93%
03:30	16.2500	1.6500	90%
04:00	13.5000	0.4250	97%
04:30	17.5000	0.5250	97%
05:00	14.2500	0.4250	97%
05:30	17.2500	0.5750	97%
06:00	11.0000	0.4500	96%
06:30	16.0000	0.1500	99%
07:00	14.0000	0.3000	98%
07:30	14.7500	0.3750	97%
08:00	18.2500	0.4000	98%
08:30	14.0000	0.3250	98%
<b>PROMEDIO</b>	15.5208	0.5833	96%

En la siguiente grafica se muestra el cambio con respecto al tiempo de los resultados del análisis de nitrógeno amoniacal.



Grafica 5.7 Resultados del análisis de nitrógeno amoniacal del segundo muestreo.

Los valores más estrictos presentes en la NOM-001-SEMARNAT-1996 nos refieren a un promedio diario de 15 mg/L de Nitrógeno total. Los valores obtenidos son muy por debajo de los establecidos en la Norma. Es por esta razón que en la PTAR no se presentan malos olores, debido a que la presencia de grandes cantidades de nitrógeno amoniacal, significa



que estamos en presencia de materia orgánica en descomposición y por lo tanto en un medio pobre de oxígeno (Torres, 2006).

#### 5.4 Resultados de la medición del caudal.

Los valores resultantes de la medición del caudal de entrada de la PTAR, se describen en la tabla 5.9.

Tabla 5.9 Caudal del influente de la PTAR.

HORA	CAUDAL (L/S)	
	08-may	19-jun
03:00	1.50	0.95
04:30	1.17	0.88
06:00	1.31	1.05
07:30	1.17	0.95
08:30	1.31	0.88
PROMEDIO	1.29	0.94

Relacionando los datos de caudal de cada día de muestreo, se puede comprender porque el primer día de muestreo se presentaron números elevados de DQO, mientras que en el segundo muestreo se mostraron niveles relativamente bajos con respecto al primer muestreo, debido a la menor aportación de agua residual durante el segundo muestreo.

#### 5.5 Resultados de cloro residual en el efluente

Los resultados obtenidos en el medidor de cloro residual Lamotee fueron diferentes con respecto a los días de muestreo.

En el primer día, obtuvimos como resultado una concentración de 1.5 mg/L Cl, mientras que en el segundo día de muestreo, obtuvimos valores por encima de 3.0 mg/L Cl. Esto como resultado de la falta de conocimiento de uno de los operadores, debido a que el operador del segundo día de muestreo acelera la adición de cloro a 10 golpes de cloro por minuto. Mientras que el operador del primer día, mantenía la adición de cloro al tanque de cloración a 6 golpes por minuto, evitando así el aumento o acumulación de cloro en el tanque de cloración.

## 5.6 Resultados del índice volumétrico de lodos

Los valores de los sólidos suspendidos totales, así como el de los sólidos sedimentables, se describen en la tabla 5.10:

Tabla 5.10 Resultados obtenidos durante los muestreos sobre el IVL.

<b>PESO DE MUESTRA ANTES CALENTADO (g)</b>	1.884	1.652
<b>TEMPERATURA (°C)</b>	103	103
<b>PESO DESPUES DE 10 MINUTOS (g)</b>	0.574	0.623
<b>VOLUMEN DE MUESTRA (L)</b>	0.1	0.1
<b>SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (g/L)</b>	5.74	6.23
<b>PORCENTAJE DE HUMEDAD</b>	70%	62%
<b>SOLIDOS SEDIMENTABLES (ml/L)</b>	440	510
<b>INDICE VOLUMETRICO DE LODOS (ml/g)</b>	76.66	81.86

Se obtuvieron valores de 79.66 ml/g de IVL en el primer muestreo, mientras que durante el segundo muestreo se obtuvo un valor de 81.86 ml/g de IVL.

Estos valores los podemos comparar con la siguiente tabla 5.11, elaborada por Grady *et al* (1999).

Tabla 5.11 Relación entre el IVL y las características de sedimentación de los lodos activados.

<b>RANGO DE IVL (ml/g)</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN Y DE SEDIMENTACIÓN DE LOS LODOS ACTIVADOS</b>
<80	Excelente
80 – 150	Moderado
>150	Pobre

Fuente: Grady *et al*, 1999

Por lo que el IVL de la PTAR, arroja resultados positivos, al estar en el rango de excelente en el resultado del primer muestreo, mientras que se encuentra en la categoría de moderado en el segundo muestreo. Lo que en general significa una excelente compactación y sedimentación por parte de los lodos activados.

## 5.7 Resultados de la caracterización del tren de tratamiento de la PTAR.

Durante la caracterización de la PTAR, que se describió en el Capítulo III, se encontraron ciertas anomalías las cuales afectan el funcionamiento del tren de tratamiento de la PTAR.

A continuación se describen las anomalías encontradas por etapa del tratamiento dentro de la PTAR.

### 5.7.1 Pre-tratamiento, cribado y desarenador.

En el pre-tratamiento de la PTAR, se pudo observar la ausencia de la criba o rejilla, lo cual permite la entrada de residuos de gran tamaño, poniendo en riesgo la infraestructura hidráulica, como lo son las bombas sumergibles y los tubos de paso. De igual forma se visualizó la excesiva falta de limpieza de los dos desarenadores, teniendo una acumulación de lodo dentro de los mismos.

### 5.7.2 Tratamiento secundario, reactor biológico y sedimentador.

En el tratamiento biológico, se logró observar anomalías del funcionamiento del proceso. Se observó la presencia de espuma color marrón, lo que significa, según Grimaldi (2000), presencia de microorganismos filamentosos y/o una incorrecta aireación. Se pudo observar que un difusor se encuentra averiado, posiblemente el difusor se encuentra roto, lo que provoca un movimiento turbulento en el reactor biológico.

En el sedimentador secundario, por cuestiones operativas, se encontró floculos de lodos flotantes debido a la falta de recirculación de los mismos. Únicamente tienen en funcionamiento un soplador de los dos con los que cuenta la PTAR.

### 5.7.3 Tratamiento terciario, clorador.

En el tanque de cloración, debido al exceso de lodos en el sedimentador, se pudo encontrar floculos de lodos flotando. Lo podría perjudicar la cloración debido a que si el agua contiene lodo, las bacterias se pueden esconder dentro del mismo y no son alcanzadas por el cloro (Organización Mundial de la Salud, 2009). Poniendo en riesgo el cuerpo receptor.

### 5.7.4 Tratamiento de lodo residual

La PTAR no cuenta con un tren de tratamiento para los lodos residuales generados durante el proceso de tratamiento. Los lodos residuales del sedimentador secundario son recirculado una y otra vez, y su principal efecto notorio es la acumulación excesiva de lodos en el reactor biológico.

# **CAPITULO VI**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Los resultados de los análisis realizados a la PTAR, favorecen el diagnóstico de su funcionamiento, debido a la pequeña aportación de agua residual por parte del fraccionamiento. El reactor biológico recibe agua residual de manera intermitente y en pequeñas cantidades, lo que ocasiona que los microorganismos presentes en el sistema de lodos activados realicen de manera rápida su función, pero de igual forma ocasiona que la falta de alimentación lleve a la muerte por inanición a los microorganismos, ocasionando una aceleración en la acumulación de lodos en el reactor.

La caracterización y las observaciones realizadas durante las visitas y muestreos, dejan entrevisto la falta de capacitación de los operadores. Se podría mencionar las rejillas del cribado caídas, permitiendo el paso de residuos de gran tamaño o la falta de limpieza en los canales del desarenador y del tanque sedimentador que ocasiona que el proceso de desinfección se vuelva deficiente, ya que la presencia de floculos de lodo en el tanque de cloración, ayuda a que los microorganismos dentro del floculo no reciban contacto alguno con el cloro, poniendo en riesgo al cuerpo receptor y a los organismos que radican en él. Por otra parte, la excesiva adición de cloro, como se presentó durante la investigación, es perjudicial para los organismos acuáticos del cuerpo receptor, ya que el cloro, aun en concentraciones bajas es tóxico para estos organismos.

La falta del tratamiento de los lodos residuales generados en la PTAR, podría generar un peligro para el ambiente, por lo que es recomendable hacer un estudio de los lodos que se generan en la PTAR, para la determinación de sus características CRETIB, que permitirá precisar si el lodo que se genera en la PTAR es clasificado como peligroso o no peligroso, y posteriormente establecer alternativas para un tratamiento y disposición eficiente de los lodos.

En general, el funcionamiento de la PTAR es bueno, ya que aunque se tenga la falta de conocimiento de los operadores, presenta buenos resultados, en su mayoría inferiores a los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, debido a que funciona aproximadamente al 20% de su capacidad total lo que significa un caudal de 1 l/s y la alimentación intermitente del agua residual al reactor biológico, convierten en el sistema de lodos activados convencional en un sistema de aireación extendida, facilitando la disminución de la demanda de oxígeno y por ende aumentando la calidad del agua tratada.

## BIBLIOGRAFIA

- Acosta, Y. (2006). *Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf>
- Acosta, Y., & Obaya, C. (2005). *La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>
- ANDIA, Y. (2000). *TRATAMIENTO DE AGUA*. Obtenido de COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN: [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)
- Degremont. (1979). *Manual técnico del agua*. Buenos Aires: Degremont.
- Deloya, A. (s.f). *Biodiscos: Una alternativa de tratamiento biológico para aguas residuales cuando no se dispone de grandes extensiones de terrenos*. Obtenido de [dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835478.pdf](http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835478.pdf)
- EPA. (1999). *Desinfección con cloro*. Obtenido de Folleto informativo de tecnologías de aguas residuales: [http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004\\_07\\_07\\_septics\\_cs-99-062.pdf](http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004_07_07_septics_cs-99-062.pdf)
- EPA. (1999). *Desinfección con ozono*. Obtenido de Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: [http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004\\_07\\_07\\_septics\\_cs-99-063.pdf](http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004_07_07_septics_cs-99-063.pdf)
- Escalante, V., Sánchez, M., Pozo, F., & Rivas, A. (2003). *IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROCESOS BIOLÓGICOS DE TRATAMIENTO*. DISTRITO FEDERAL, MEXICO: CONAGUA.
- Ferrara, G., & Ramírez, A. (2013). Análisis de la sedimentabilidad de los lodos biológicos producidos en un RCS durante la desnitrificación de un efluente de un bioreactor de crecimiento adherido. *Revista de la facultad de ingeniería U.C.V.*, 37-44.
- Grady, L., Daigger, G., & Lim, H. (1999). *Biological Wastewater Treatment*. New York: Marcel Dekker.
- Grimaldi, N. (2000). *Problemas biológicos en plantas de tratamiento de efluentes líquidos con sistemas de lodos activados*. Obtenido de <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=549>
- Guía Ambiental. (s.f.). *Guía Ambiental*. Obtenido de Calidad de agua - Lodos activados - Guía Ambiental: <http://www.guiaambiental.com.ar/conocimiento-calidad-de-agua-lodos-activados.html>
- Henry, G., & Heinke, G. (1999). *Ingeniería Ambiental*. México: PRENTICE HALL.
- Hernandez, A. (1992). *Saneamiento y alcantarillado*. Madrid: PARANINFO S.A.
- Kiely, G. (1999). *INGENIERIA AMBIENTAL: Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. Madrid: McGraw-Hill.



- Lesikar, B., & Enciso, J. (s.f.). *Filtro Percolador*. Obtenido de Sistemas individuales para el tratamiento de aguas negras: [http://www.h-gac.com/community/water/ossf/OSSF-Treatment-Systems\\_Trickling-Filter-S.pdf](http://www.h-gac.com/community/water/ossf/OSSF-Treatment-Systems_Trickling-Filter-S.pdf)
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater engineering, Treatment and reuse*. McGraw-Hill.
- NMX-AA-028-SCFI-2001. (2001). *Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas*. Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-028-SCFI-2001.pdf>
- NMX-AA-030-SCFI-2001. (2001). *Determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas*. Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-030-SCFI-2001.pdf>
- NMX-AA-034-SCFI-2001. (2001). *Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas*. Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-034-SCFI-2001.pdf>
- NOM-001-SEMARNAT-1996. (1996). *Norma Oficial Mexicana Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*. Obtenido de <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3290/1/nom-001-semarnat-1996.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2009). *Medición del cloro residual en el agua*. Obtenido de <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/11-CloroResidual.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. Lima.
- Ramalho, R. (2003). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. España: EDITORIAL REVERTÉ S.A. DE C.V.
- Renneberg, R. (2008). *BIOTECNOLOGIA PARA PRINCIPIANTES*. BARCELONA: REVERTÉ.
- Tejero Gómez, J. L., Cuevas Dominguez, J., González Bucio, J. L., Ávila Reveles, J. C., Carrión Jiménez, J. M., & Miranda Tello, E. (2007). *Análisis del reactor de lodos activados de la planta centenario*. Obtenido de [http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2007\\_Vol\\_2/Num\\_1/7\\_JT\\_VolIII\\_63-71\\_2007.pdf](http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2007_Vol_2/Num_1/7_JT_VolIII_63-71_2007.pdf)
- Torres, C. (2006). *Procedimiento para la prueba de nitrógeno amoniacal*. Obtenido de UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMA: <http://www.utp.ac.pa/documentos/2011/pdf/PCUTP-CIHH-LSA-209-2006.pdf>