



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE  
CHIAPAS.**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CAMPUS I**



**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN TREN DE TRATAMIENTO  
PARA LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL  
DE CINTALAPA DE FIGUEROA, CHIAPAS**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE: MAESTRA EN INGENIERIA**

**PRESENTA:  
KENNIA RAQUEL MONTESINOS CARDENAS D060061**

**DIRECTORA DE TESIS:  
DRA. DAISY ESCOBAR CASTILLEJOS**

**TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS; MAYO DEL 2023**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA C-I**



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas  
17 de mayo del 2023  
Oficio No. F.I.01.672/2023

**C. KENNIA RAQUEL MONTESINOS CÁRDENAS**  
**ALUMNA DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA**  
**CON FORMACIÓN EN CALIDAD DEL AGUA**  
**PRESENTE.**


Con base en el Reglamento de Evaluación Profesional para los egresados de la Universidad Autónoma de Chiapas, y habiéndose cumplido con las disposiciones en cuanto a la aprobación por parte de los integrantes del jurado en el contenido de su Tesis Titulada:

**“PROPUESTA DE DISEÑO DE UN TREN DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL DE CINTALAPA DE FIGUEROA, CHIAPAS”.**

CERTIFICO el VOTO APROBATORIO emitido por este jurado, y autorizo la impresión de dicho trabajo para que sea sustentado en su Examen Profesional para obtener el grado de Maestra en Ingeniería con formación en Calidad del Agua.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”**

  
**DR. OMAR ANTONIO DE LA CRUZ COURTY**  
**ENCARGADO DE DIRECCIÓN**



  
Ccp. Dr. Humberto Miguel Sansebastián García. Coordinador de Investigación y Posgrado. Facultad de Ingeniería, Campus I. UNACH.  
Archivo/minutano  
OACCHMSG/lcpg\*

Teléfonos (961) 617-80-00 ext. 5363. (961) 615-03-22 ext. 101. Correo: [facing@unach.mx](mailto:facing@unach.mx) [www.ingenieria.unach.mx](http://www.ingenieria.unach.mx)  
Boulevard beisario Domínguez, Km 1001, sin número. | Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. C.P. 29000. | [www.unach.mx](http://www.unach.mx)



Código: FO-113-09-05

Revisión: 0

**CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.**

El (la) suscrito (a) Kennia Raquel Montesinos Cárdenas,  
Autor (a) de la tesis bajo el título de "Propuesta de diseño de un tren de  
tratamiento para las aguas residuales de la cabecera municipal  
de Cintalapa de Figueroa, Chiapas"  
presentada y aprobada en el año 20 23 como requisito para obtener el título o grado  
de Maestría en Ingeniería con formación en calidad del agua autorizo a la  
Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), a que  
realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para que  
contribuya a la divulgación del conocimiento científico, tecnológico y de innovación que se  
produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional del Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 18 días del mes de Mayo del año 20 23.

Kennia Raquel Montesinos Cárdenas.

Nombre y firma del Tesista o Tesistas

## INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	6
RESUMEN .....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
JUSTIFICACIÓN .....	10
OBJETIVOS .....	11
Objetivo general:.....	11
Objetivos específicos:.....	11
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>13</b>
MARCO TEORICO .....	13
1.1.    Aguas Residuales .....	13
1.2. <u>Contaminante de importancia en el tratamiento del agua reidual</u> .....	17
1.3. <u>Fuente de aguas residuales</u> .....	17
1.4. <u>Definiciones</u> .....	20
1.5. <u>Calidad del agua</u> .....	245
1.6 <u>Impurezas del agua</u> .....	26
1.7    Niveles de tratamiento de aguas residuales .....	31
1.8    Tratamiento planteado para las descargas de AR Cintalapa de Figueroa, Chiapas ..... .....	38
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>59</b>
<u>ANALISIS Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO</u> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.1.    Ubicación geográfica.....	59
2.2.    Características físicas .....	59
2.4.    Aspectos Socioeconómicos.....	61
<b>CAPITULO 3.....</b>	<b>63</b>

METODOLOGÍA.....	56
3.1.    Cuantificación de la población actual .....	56
3.2.    Caracterización de los líquidos residuales.....	56
3.3.    Métodos para la caracterización de los parámetros físico-químicos y biológicos .....	60
3.4.    Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de las aguas residuales (PTAR) .....	69
<b>CAPITULO 4 .....</b>	<b>79</b>
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	79
4.1.    Resultados de la caracterización; Parámetros Físicos.....	79
4.2.    Resultados de la caracterización; Parámetros Químicos .....	81
4.3.    Resultados de la caracterización; Parámetros Biológicos.....	83
4.4.    Valores obtenidos en los parámetros analizados y la normatividad <u>en la descarga de AR Del centro</u> .....	91
4.5.    Valores obtenidos en los parámetros analizados y la normatividad <u>en la descarga de AR De la Candelaria</u> .....	89
<b>CAPITULO 5 .....</b>	<b>114</b>
Conclusiones y Recomendaciones.....	107
<b>FUENTES DOCUMENTALES .....</b>	<b>117</b>
ANEXOS FOTOGRAFICOS .....	119
ANEXOS NORMATIVOS .....	121
ANEXOS DE FORMULAS .....	123

“Al ver el resultado logrado con este ambicioso proyecto, solamente se me ocurre una palabra: ¡Gracias!

A Dios

Querido Dios, gracias por todo lo que has hecho por mí, ¡me emociona y hace que mi corazón rebose de alegría y agradecimiento!

A mi Directora

“Le agradezco a la Dra. Daysi Escobar Castillejos, por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, por el respeto a mis sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que ha facilitado a las mismas. Gracias por la confianza ofrecida desde que llegué a esta facultad.”

A mis padres y familia

“Ustedes familia que han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, siempre han sido mis mejores guías de vida. Hoy cuando concluyo otro logro, les dedico a ustedes amados padres, como una meta más conquistada. Que estén a mi lado en este momento tan importante me hacen la más feliz.

Gracias por ser quienes son y por creer en mí”

A mis amigos

Hoy me toca cerrar un capítulo más en esta historia de vida y no puedo dejar de agradecerles por su apoyo y constancia, al estar en las horas más difíciles, por compartir horas de estudio, labor y animarme cuando era necesario. Gracias por estar siempre allí.”

## RESUMEN

Actualmente existen diferentes tipos de sistemas de tratamiento de aguas residuales por ejemplo; humedales artificiales, sistemas lagunares, de digestores (anaerobio y aerobio), reactores, así como la implementación de diversas tecnologías para la optimización de los diversos tratamientos para las aguas residuales. Las cuales cumplen las restricciones y parámetros establecidos en las normas aplicables en este campo como es la NOM-001-SEMARNAT-2006.

En la cabecera municipal de Cintalapa, existen dos descargas principales de aguas residuales; ubicadas principalmente en el centro de la ciudad, en barrio denominados " La Candelaria" y "Centro" respectivamente, generando efectos de malos olores, aparición de fauna nociva, mal aspecto físico y principalmente un gran foco de infecciones que afectan a la salud pública, además que contamina el río "La Venta", afluente que pasa en la periferia de la ciudad, sin embargo está a una cuadra de la mancha urbana.

El objetivo principal es caracterizar y proponer un tren de tratamiento eficaz para las dos descargas de Aguas Residuales, adecuado a las condiciones físicas del lugar (clima, topografía y entorno social).

Las aguas tratadas cumplirán con las especificaciones de la normatividad vigente y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), proponiendo alternativas para el aprovechamiento de las aguas tratadas.

## INTRODUCCIÓN

La calidad del agua actualmente enfrenta una gran problemática, debido a la cantidad de contaminantes que son vertidos diariamente en sus afluentes por efectos antropogénicos tales como; las descargas de aguas residuales, las cuales alteran y modifican las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua receptores (ríos, arroyos, lagos, etc.).

El 80% de nuestro planeta es agua, la renovación natural se realiza por el ciclo hidrológico, del cual por precipitación cae el 28% en la tierra de donde el 7% se percola a los acuíferos, el 8 % va al mar por escurrimientos y el 13% se evapora.

Los problemas de contaminación han adquirido magnitud y diversidad. La sociedad ha ido tomando conciencia de los riesgos actuales y potenciales. Hay que plantear y desarrollar soluciones, para ello primero hay que estudiar los problemas.

La importancia de la caracterización está en que a través de ella puedan ser determinados los parámetros hidráulicos y físico-químicos del líquido residual en estudio. Por supuesto, para lograr esto es indispensable la planificación y ejecución de un adecuado programa de muestreo para obtener información que sea realmente representativa de las variaciones horarias cualitativas y cuantitativas del líquido residual (Bolinaga, 1992).

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias (Mara, 1976).

Las aguas negras son las producidas en los inodoros y mingitorios, contienen sólidos y elementos patógenos que son expulsados por el cuerpo humano (heces fecales y orina). Son negras por el color que habitualmente tienen (Salazar, 2003). En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno (Oviedo, 1997).

A las aguas evacuadas en vertederos y fregaderos se les puede dar el nombre de aguas grises, a las aguas desaguadas por lavabos, lavadoras, etc., se les puede denominar, aguas jabonosas, sin embargo el conjunto de todas estas aguas, recibe el nombre de aguas grises (Oviedo, 1997).

Muchos atribuyen la buena salud de las poblaciones a la medicina moderna, pero es más el resultado de las medidas públicas de prevención. Se calcula que 1200 millones de personas no tienen acceso a agua potable tratada, y un número aún mayor viven áreas sin sistema de alcantarillado o tratamiento. Esto es cierto en zonas extensas de las ciudades de los países no industrializados que han crecido con rapidez en los últimos años, así como en zonas rurales. Por ejemplo, 30% en la ciudad de México, 50% en Bangkok y otros países en



desarrollo carecen de sistemas de alcantarillado, y en muchas partes que si tienen, las aguas residuales se descargar en los ríos (Bernard et al, 1996).

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años el mundo entero se ha enfrentado a diversos problemas de aspectos ambientales referentes a la contaminación del agua, suelo y aire, así como la preservación del medio ambiente.

La mayoría de los casos, la cantidad y tipo de productos vertidos superan la capacidad de autodepuración de las aguas receptoras, creando así serios problemas de contaminación en los recursos hídricos (Giuseppina Da Ros, 1995).

Dada su naturaleza orgánica, los residuos domésticos son fácilmente degradables; su composición puede resultar positiva para la vida acuática, pues dicho proceso aun acompañado por un alto consumo de oxígeno comporta un aumento significativo de proteínas y otras sustancias en tejidos de los diferentes microorganismos existentes.

La escasez de oxígeno en estos sitios, conlleva un proceso denominado fermentación anaerobia; estas condiciones son propicias para la germinación de bacterias y protozoarios, así como para la proliferación de insectos y roedores que son los agentes patógenos de transmisión de enfermedades infecto-contagiosas como la tifoidea, el cólera, la amebiasis y otras enfermedades gastrointestinales (Giuseppina Da Ros, 1995).

Normalmente las aguas residuales presentan contaminantes que son mezclas complejas de compuestos orgánicos e inorgánicos, por ello resulta poco posible el llevar a cabo un análisis completo de la mayoría de ellas.

De acuerdo al párrafo anterior el principal problema es determinar el tratamiento más viable para aguas residuales valorando las cantidades de contaminantes obtenidas en la caracterización de las mismas.

La optimización del diseño y operación de sistemas para tratamiento de aguas residuales, independientemente de los procesos como tales, requieren del conocimiento real de la cantidad y composición de los líquidos residuales que se generen (Noyola, 1995).

En lo que respecta al control de la contaminación de aguas en nuestro país es muy limitado, debido a la falta de infraestructuras para su tratamiento y la aplicación de la normatividad correspondiente.

En la cabecera municipal de Cintalapa, existen dos descargas principales de aguas residuales; que se infiltra en el subsuelo, los cuales generan efectos de malos olores, aparición de fauna nociva, contaminación de aguas subterráneas, mal aspecto físico y principalmente un gran foco de infecciones y demás enfermedades principalmente en época de estiaje, por efecto en la reducción del volumen en la carga hidráulica, incrementando así, las concentraciones de contaminantes.

## JUSTIFICACIÓN

Las aguas sin tratamiento en comunidades de diversos municipios generalmente son conducidas a cuerpos de agua. Por tanto se hace verdaderamente necesario el conocer los contaminantes presentes en estas aguas con el fin de aplicar un tratamiento eficiente que evite la perdida y contaminación de los causes.

Las pequeñas comunidades se enfrentan a una serie de problemas que hacen aún más difícil la construcción y operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales usualmente gestionadas por organismos municipales o externos.

El principal problema que se suscitan, están relacionados con normativas del vertido estrictas, los costos por habitante elevados, limitaciones de financiamiento y presupuestos para la operación y mantenimiento de las instalaciones, así como también la poca importancia dirigido a este tema. Por lo que les resulta más eficaz el verter las aguas residuales sin un previo tratamiento a los cuerpos de agua más cercanos.

Un claro ejemplo de esto ocurre en la cabecera municipal de Cintalapa de Figueroa, Chiapas; sus aguas residuales son descargadas sin ningún tratamiento previo al cuerpo de agua llamado río La Venta, en la cual los habitantes utilizan estas aguas para muchas actividades y necesidades, causándoles enfermedades gastrointestinales, malos olores en época de estiaje además de una mala imagen.

## OBJETIVOS

Objetivo general:

Proponer el diseño de un tren de tratamiento para las Aguas Residuales provenientes de las descargas principales en Cintalapa de Figueroa, Chiapas.

Objetivos particulares:

- Caracterizar las aguas Residuales utilizando los diferentes parámetros Físicos, Químicos y Biológicos, en los dos puntos de descarga en la cabecera municipal de Cintalapa de Figueroa.
- Proponer un diseño de un tren de tratamiento para las aguas residuales generadas en dicha ciudad, correspondiente a cada descarga.

HIPOTESIS:

- Las descargas de aguas residuales tendrán una elevada concentración de materia orgánica.
- Lo más viable para la depuración sería un sistema biológico.

# CAPÍTULO 1

## MARCO TEORICO

En estados unidos, el tratamiento y eliminación de las aguas residuales no recibió demasiada atención a finales del siglo XIX porque los daños causados por el vertido de las aguas no tratadas en las relativamente grandes masas de agua receptoras (comparadas con europeas) no eran graves, y porque se disponían de grandes extensiones de terreno para su evacuación. Sin embargo, a principios de este siglo, los daños causados y las condiciones sanitarias impulsaron una creciente demanda de mayor eficiencia en el tratamiento y gestión de las aguas residuales.

En el pasado, la evacuación de las aguas residuales se llevaba a cabo en la mayoría de los municipios y comunidades de la manera más sencilla posible, sin tener en cuenta las desagradables condiciones que se daban en el lugar de vertido. El riego constituyo, probablemente, el primer método de evacuación de aguas residuales, aunque fue la dilución el primero en adoptarse de manera generalizada. La evacuación de efluentes y su efecto sobre el medio ambiente precisan hoy en día de mayor atención debido al crecimiento industrial y urbano (Metcalf & Eddy, 1996).

### 1.1. Aguas Residuales

Toda la comunidad genera residuos, tanto líquidos como sólidos. La fracción líquida (agua residual) es esencialmente el agua de que se desprende la comunidad una vez ha sido contaminada durante los diferentes usos para los cuales ha sido empleada. Desde el punto de vista de las fuentes de generación, podemos definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales, a los que puede agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales (Metcalf & Eddy, 1996).

Las cuatro fuentes fundamentales de aguas residuales son: (1) aguas domesticas o urbanas, (2) aguas residuales industriales, (3) esorrentías de usos agrícolas, (4) pluviales (Ramalho, 1996).

Los siguientes factores que contribuyen a la contaminación del agua:

- Aumento de la población.
- Diversidad y complejidad de procesos industriales.
- Producción de satisfactores y elementos de consumo en gran escala.

- Desecho de excretas a ríos, lagunas, esteros y litorales.

En México se generan diariamente 2.5 millones de metros cúbicos de aguas negras.

Algunos de los objetivos principales de la utilización de sistemas pequeños para el tratamiento de aguas residuales, como el que se pretende llevar a cabo dentro de la población, son:

- Proteger la salud pública.
- Proteger de la degradación o de la contaminación al ambiente receptor.
- Reducir los costos de tratamiento mediante la retención de aguas y sólidos cerca de su punto de descarga para su reutilización.

Para hablar de aguas residuales es indispensable conocer, en primera instancia, la fuente de las mismas y, consecuentemente, los componentes que la forman. Los diferentes tipos de efluentes que existen y las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua residual, son datos indispensables para la correcta elección del tipo de tratamiento a utilizar.

### 1.2 *Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual*

Las normas que regulan los tratamientos secundarios están basadas en las tasas de eliminación de la materia orgánica, sólidos en suspensión y patógenos presentes en el agua residual. Gran parte de las normas implantadas recientemente, más exigentes, incluyen el control de la eliminación de nutrientes y de los contaminantes prioritarios. Cuando se pretende reutilizar el agua residual, las exigencias normativas incluyen también la eliminación de compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y, en algunos casos, sólidos inorgánicos disueltos.

### 1.3 *Fuentes de aguas residuales*

El drenaje sanitario es el abastecimiento de agua desechada por la comunidad, el *drenaje doméstico* es el agua residual procedente de cocinas, baños, lavabos, sanitarios y lavanderías. A las materias minerales orgánicas originalmente contenidas en el agua suministrada a la comunidad, se agrega un conjunto de materias fecales, papel, jabón, suciedad, restos de alimentos (basura) y otras sustancias. Con el paso del tiempo el color cambia gradualmente de gris a negro, desarrollándose un olor desagradable. Gran parte de la materia residual es orgánica y útil para los microorganismos saprofitos, es decir, organismos de la descomposición.

*Las aguas residuales industriales* varían en su composición de acuerdo con los procesos industriales a los que son sometidas. Algunas son aguas de enjuague relativamente limpias, otras se encuentran fuertemente cargadas de materia orgánica o mineral, o con sustancias corrosivas, venenosas, inflamables o explosivas.

*Las aguas residuales agrícolas* son generadas por la producción agrícola y agropecuaria, la cual incluye desechos animales y vegetales. Por último es importante mencionar también el agua de lluvia que al precipitarse en sus distintas formas arrastra materia orgánica y química a los sistemas de drenaje.

#### 1.4 Definiciones

A continuación se presentan las definiciones más utilizadas dentro del campo del tratamiento de aguas residuales.

*Desequilibrio ecológico:* La alteración de las relaciones de interdependencia entre los elementos naturales que conforman el ambiente, que afecta negativamente la existencia, transformación y desarrollo del hombre y demás seres vivos (art. 3, LGEEPA).

*Contaminación:* La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico (art. 3, LGEEPA).

*Contaminante:* Toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural (art. 3, LGEEPA).

*Agua gris.* - A las aguas evacuadas en vertederos y fregaderos se les puede dar el nombre de aguas grises, a las aguas desaguadas por lavabos, lavadoras, etc., se les puede denominar, aguas jabonosas, sin embargo el conjunto de todas estas aguas, recibe el nombre de aguas grises (Oviedo, 1997).

*Aguas negras.* - Estas son las producidas en los inodoros y mingitorios, contienen sólidos y elementos patógenos que son expulsados por el cuerpo humano (heces fecales y orina). Son negras por el color que habitualmente tienen (Salazar, 2003)). En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno (Oviedo, 1997).

*Aguas residuales domésticas.* - Constituyen el conjunto de líquidos residuales de usos domésticos y comerciales (baños, cocinas, lavanderías, etc.), provenientes de los sistemas de abastecimiento de agua potable.

*Aguas residuales industriales.*- Se denominan así al conjunto de líquidos residuales provenientes de los diferentes procesos y usos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria.

*Aguas residuales municipales.*- Son las aguas procedentes de un servicio de alcantarillado sanitario combinado.

*Aguas residuales crudas.*- Son las que no han recibido ningún tratamiento.

*Aguas residuales frescas.*- Son las aguas residuales en las que a pesar de la materia orgánica en putrefacción que contienen, conservan una porción de oxígeno libre. Recién contaminada, contiene OD, color gris y muchos sólidos suspendidos.

*Aguas residuales rancias.*- Aquellas en las que se ha agotado el oxígeno libre y toda la materia orgánica se encuentra en plena putrefacción.

*Aguas pluviales.*- Agua resultantes de la escorrentía superficial.

### 1.5 *Calidad del agua*

Depende del origen del agua:

*Puntuales.*- se conoce su localización, fáciles de controlar con muestreo, cuantificación y análisis.

*Accidentales.*- difícil control, provienen de retornos agrícolas, lixiviados, minas, erosión, falta de drenaje y fosas sépticas.

*Dispersas.*- imposibles de cuantificar, ocurren aleatoriamente. Accidentes industriales y derrames.

Un agua potable es la que se puede beber sin peligro, de sabor agradable y útil para los usos domésticos. Un agua contaminada es la que contiene microorganismos y sustancias químicas de origen industrial u otro, de modo que resulta inadecuada para su uso normal.

“El agua puede ser impotable sin ser insípida e insípida sin ser impotable.”

Para que sea agradable al paladar el agua debe estar exenta de color, turbidez, sabor y olor; poseer una temperatura moderada en verano e invierno y estar bien aireada.

### 1.6 *Impurezas en el agua*

El agua generalmente es impura, lleva en disolución sales, y a veces materia orgánica, el agua rica en sales minerales se denomina Agua Dura y por formar sales insolubles con los



jabones, no sirve para lavar, dejar depósitos de sales de sales en coladeras y tuberías, por tanto es inadecuada para la industria.

Existen dos tipos de impurezas en el agua: aquellas que se encuentran suspendidas y otras que están disueltas. El material suspendido son partículas grandes que se sostienen en el agua debido a fuerzas de viscosidad. El material disuelto lo componen las moléculas o iones que se retienen en el agua debido a la estructura molecular del agua.

#### a. Componentes del agua residual

Las aguas residuales se componen, básicamente, de un 99,8% de agua en su estado conocido como de agua potable y de, un 0,2% por peso de sólidos, sean éstos disueltos o suspendidos como se muestra en la tabla 1. Este 0,1% referido es el que requiere ser removido para que el agua pueda ser reutilizada (Seoáñez calvo, 2004).

El agua sirve o actúa como medio de transporte de estos sólidos, los que pueden estar disueltos, en suspensión o flotando en la superficie del líquido.

Tabla 1. Constituyentes de las aguas residuales típicas.

100% de aguas residuales				
Agua Potable	Sólidos		Gases Disueltos	Componentes Biológicos
99.8%	0.2% (por peso) Suspendidos		O <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> H <sub>2</sub> S N <sub>2</sub>	Bacterias Micro y macroorganismos Sedimentables Virus
	Disueltos Coloidales			
	Orgánicos 70% -Grasas -Proteínas -Hidratos de carbono	Inorgánicos 30% -Metales -Arenas -Sales		

Fuente: Mariano Seoáñez Calvo, 2004.

#### b. Características Físicas del agua residual

Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. Existen cinco características físicas esenciales en el agua residual que pueden ser fácilmente percibidas por los sentidos, estos son: Temperatura, Sólidos, Gases disueltos, Turbiedad y Color.

Tabla 2. Análisis típico del agua residual municipal.

Constituyente	Concentración mg/L		
	Fuerte	media	Débil
Sólidos Totales	1200	720	350
*Disueltos totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
*Suspendidos Totales	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sólidos sedimentables	20	10	5
Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO <sub>5</sub>	400	220	110
Demanda química de oxígeno, DQO	1000	500	250
Nitratos	0	0	0
Fosforo	15	8	4
Alcalinidad	200	100	50

Fuente. Metcalf & Eddy. 1996.

#### *i. Temperatura*

La temperatura del agua residual es por lo general mayor que la temperatura del agua para abastecimiento como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. La medición de la temperatura es de suma importancia debido a que la mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas residuales Las sustancias húmicas proceden de la descomposición de la lignina, encontrada en las hojas y otros materiales orgánicos de las plantas incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura. Es un parámetro muy importante ya que afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la vida acuática y la adecuación del agua para fines benéficos. Cuando la temperatura del agua es baja, el crecimiento y la reproducción de los microorganismos también es baja.

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. Dado que el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y sólo son menores que ella durante los meses más calurosos del verano. En función de la situación geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía entre 10 y 21°C, pudiéndose tomar 15,6 °C como valor representativo. En la Figura 1. Se ilustran las variaciones que pueden esperarse en las aguas residuales brutas. Dependiendo de la situación y la época del año,

las temperaturas del efluente pueden situarse por encima o por debajo de las del afluente (Metcalf & Eddy, 1996).

## *ii. Sólidos*

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta.

En las aguas residuales se encuentran todo tipo de sólidos, distinguiéndose entre ellos orgánicos e inorgánicos: Los sólidos orgánicos son sustancias que contienen carbón, hidrógeno y oxígeno, pudiendo alguno de estos elementos combinarse con nitrógeno, azufre o fósforo. Los principales grupos lo conforman las proteínas, los carbohidratos y las grasas, susceptibles todos de ser degradados por medio de bacterias y de organismos vivos que son combustibles, es decir, pueden ser quemados. Los sólidos inorgánicos sustancias inertes y no susceptibles de ser degradados, designándoseles comúnmente como minerales. Dentro de estos se incluyen arenas, aceites y sales minerales disueltas en el agua potable y sin propiedades combustibles.

Aquellas partículas orgánicas, inorgánicas o líquidos inmiscibles que se encuentran en el agua. Algunos sólidos inorgánicos pueden ser arcillas, limos u otros componentes del suelo. De la misma forma, pueden ser encontrados sólidos orgánicos como restos de plantas y microorganismos. Sumados a estos sólidos naturales, existen grandes cantidades de sólidos en suspensión orgánicos e inorgánicos, producto de los procesos industriales y domésticos, así como también líquidos inmiscibles como aceites y grasas.

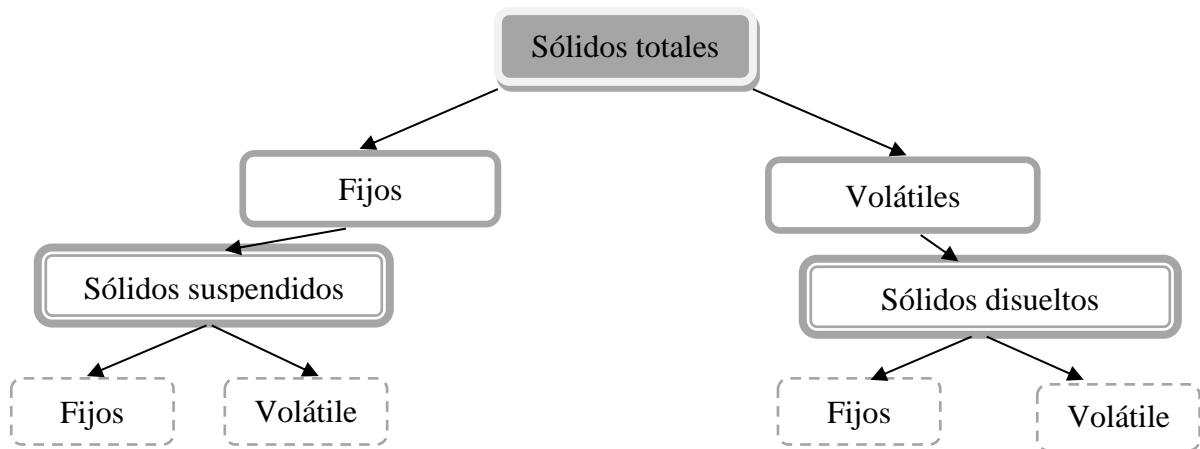
Los sólidos comúnmente se clasifican en suspendidos, disueltos y totales:

*Sólidos Suspendidos:* Son aquellos que son visibles y flotan en las aguas residuales entre superficie y fondo. Pueden ser removidos por medios físicos o mecánicos a través de procesos de filtración o de sedimentación. Se incluyen en esta clasificación las grandes partículas que flotan, tales como arcilla, sólidos fecales, restos de papel, madera en descomposición, partículas de comida y basura, de los cuales un 70% son orgánicos y un 30% inorgánicos. Los sólidos suspendidos se dividen a su vez en dos grupos: Sedimentables y coloidales. La parte de sólidos en suspensión que por tamaño y peso pueden sedimentar al lapso de una hora en el cono Imhoff, se denominan sedimentables, siendo en promedio un 75% orgánicos y un 25% inorgánicos. A la diferencia entre sólidos sedimentables y sólidos suspendidos totales se les denomina coloidales (Crites & Tchobanoglous, 2003).

*Sólidos Disueltos:* Es la denominación que reciben todos los sólidos que quedan retenidos en un proceso de filtración fina. En general, los sólidos disueltos son en un 40% orgánicos y un 60% inorgánicos.

*Sólidos Totales:* Como se indica bajo esta denominación, se incluyen todos los sólidos existentes en las aguas residuales y que en promedio son un 50% orgánicos. Es precisamente esta unidad orgánica de los sólidos presentes en las aguas residuales la que es sujeto de degradación y se constituye como requisito para una planta de tratamiento de aguas residuales.

Figura 2. Esquematización de sólidos.



Fuente. Elaboración propia.

### c. Características Químicas del agua residual

Una vez que se habló de las características físicas del agua residual, es importante también mencionar sus características químicas orgánicas. Dentro del agua residual existe una cantidad considerable de elementos químicos inorgánicos; estos son nutrientes, constituyentes no metálicos, metales y gases. Entre los nutrientes inorgánicos tenemos amoníaco libre, nitrógeno orgánico y fósforo inorgánico.

Las pruebas como pH, alcalinidad, cloruros y sulfatos son realizados para estimar la capacidad de reutilización de las aguas residuales tratadas y como pruebas para el control de distintos procesos de tratamiento.

#### i. Potencial de Hidrogeno (pH)

Es la expresión para medir la concentración del ion hidrógeno en una solución. Este se define como el logaritmo negativo de la concentración de ion hidrógeno.

$$\text{pH} = -\log(\text{H}^+) \quad \text{ecuación (1)}$$

El nitrógeno y el fósforo son importantes ya que se han sido identificados como nutrientes causantes principales del crecimiento indeseable de plantas acuáticas.

La presencia en el agua de los carbonatos y bicarbonatos pueden alterar el pH del agua, siendo la acidez en las aguas naturales causada por el  $\text{CO}_2$ , cuando el agua presenta un pH >4.

### ii. Oxígeno Disuelto (OD)

La determinación de OD es muy importante para por ser el factor que determina la existencia de condiciones aerobias o anaerobias en un medio particular. La determinación de OD sirve como base para cuantificar la DBO, aerobividad de los procesos de tratamiento, tasas de aireación en los procesos de tratamiento aerobio y grado de contaminación de ríos. El OD se presenta en cantidades variables y bajas en el agua; su contenido depende de la concentración y estabilidad del material orgánico presente y es, por ello, un factor muy importante en la autopurificación de los ríos. Los valores de OD en aguas son bajos y disminuyen con la temperatura. El oxígeno libre en solución, especialmente cuando está acompañado de CO es un agente de corrosión importante del hierro y el acero (Metcalf y Eddy, 1985).

Todos los organismos vivientes dependen de una u otra forma del oxígeno para mantener los procesos metabólicos que producen la energía para el crecimiento y la reproducción. Los procesos aeróbicos son objeto de alto interés debido a su necesidad de oxígeno libre. La falta de Oxígeno Disuelto además de ser un indicador de polución, es dañino para los peces. Algunas especies acuáticas son más sensibles que otras a la falta de oxígeno, en la siguiente tabla 3 se muestran las cantidades de oxígeno disuelto que necesitan las especies acuáticas, con esto podemos dar algunos rangos generales a tener en cuenta al analizar los resultados.

Tabla 3. Efectos en la vida acuática, según la cantidad de Oxígeno Disuelto.

RANGO	OBSERVACIONES
6-5 ppm	Suficiente para la mayor parte de las especies
< 3 ppm	Dañino para la mayor parte de las especies acuáticas
< 2 ppm	Fatal a la mayor parte de las especies

Fuente. CONAGUA, 2007.

### iii. Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) en aguas residuales

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es un gas incoloro, denso y poco reactivo. Forma parte de la composición de la tropósfera (capa de la atmósfera más próxima a la Tierra) actualmente en una proporción de 350 ppm. (Partes por millón). Su ciclo en la naturaleza está vinculado al del oxígeno.

El balance del dióxido de carbono es sumamente complejo por las interacciones que existen entre la reserva atmosférica de este gas, las plantas que lo consumen en el proceso de fotosíntesis y el transferido desde la tropósfera a los océanos.

El aumento del contenido de dióxido de carbono que se verifica actualmente es un componente del cambio climático global, y posiblemente el mejor documentado. Desde mediados del siglo XIX hasta hoy, el aumento ha sido de 80 ppm.

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) ofrece muchas ventajas para la neutralización de aguas residuales alcalinas. Para flujos parciales contaminados con sustancias persistentes, el ozono ( $\text{O}_3$ ) es el remedio ideal. El Dióxido de carbono es utilizado en química para el control de la temperatura en reactores.

$\text{CO}_2$  también se utiliza en neutralización de efluentes alcalinos. La inyección de dióxido de carbono permite manejar el pH de los efluentes líquidos. El  $\text{CO}_2$  es una excelente alternativa para el control del pH del ácido sulfúrico. El Dióxido de Carbono se utiliza en condiciones supercríticas para purificaciones o para operaciones de teñido de polímeros, fibras animales o vegetales.

#### *iv. Dureza*

La dureza se define como la concentración de cationes metálicos multivalentes en solución. Los cationes metálicos multivalentes más abundantes en las aguas naturales son el calcio y el magnesio. Otros pueden incluir hierro y manganeso ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ), estroncio ( $\text{Sr}^{2+}$ ) y aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ).

El rango de dureza varía entre 0 y cientos de mg/L, dependiendo de la fuente de agua y el tratamiento a que haya sido sometida (Seóñez, 1999).

En el agua podemos determinar distintos tipos de dureza:

- Dureza total o título hidrotimétrico (TH), que es la suma de las concentraciones de iones calcio y magnesio.
- Dureza cálcica, que expresa la concentración de sales cálcicas presente en la muestra.
- Dureza magnésica, que expresa la concentración de sales magnésicas presente en la muestra (Seóñez, 1999).

Tabla 4. Rango de dureza. En agua potable el límite máximo permisible es de 300 mg/l de dureza.

Dureza como CaCO <sub>3</sub>	Interpretación
0-75	agua suave
75-150	Agua poco dura
150-300	agua dura
> 300	agua muy dura

Fuente. Sawyer, 2001.

#### v. *Nitratos*

“El nitrato es una de las formas de nitrógeno de mayor interés en las aguas naturales, residuales y residuales tratadas, se presenta generalmente a nivel de trazas en el agua de superficie, pero puede alcanzar niveles elevados en las subterráneas.

El nitrato se encuentra sólo en pequeñas cantidades en las aguas residuales domésticas, pero en el diluyente de las plantas de tratamiento biológico desnitrificante, el nitrato puede encontrarse en concentraciones de hasta 30 mg de nitrato como N/L.

El nitrato es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos, y en algunos casos ha sido identificado como el determinante del crecimiento de estos.

Una concentración alta de nitratos es indicio de una etapa mayor de mineralización de los compuestos nitrogenados. En las aguas de algunos pozos suele encontrarse cantidades apreciables de nitratos, lo que es objetable desde el punto de vista sanitario” (NMX-AA-079-SCFI-2001).

#### vi. *Fosfatos*

El fósforo se encuentra en las aguas naturales y en las aguas servidas casi exclusivamente en la forma de fosfatos (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, ortofosfórico, HPO<sub>3</sub>, metafosfórico y H<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, pirofosfórico) siendo el más importante de ellos, el ortofosfato. Todas las demás formas de fosfato se convierten a ortofosfatos por calentamiento. Algunas veces, aunque con menor frecuencia y en menor concentración, el fósforo puede estar presente en el agua bajo la forma de estructuras orgánicas, tales como fosfolípidos y fragmentos de cadenas peptídicas.

El fósforo inorgánico en el agua proveniente de diversas fuentes: De algunos procesos de tratamiento de aguas que utilizan pequeñas cantidades de fosfatos condensados como agentes floculantes; de los procesos de lavado con detergentes tanto, a nivel industrial como a nivel domestico; de las aguas residuales de los procesos agrícolas, en donde los ortofosfatos constituyen uno de los principales productos fertilizantes, etc.

A su vez, el fósforo orgánico deriva fundamentalmente de la descomposición de la materia orgánica, abundante en las aguas residuales domesticas, en las aguas residuales

agroindustriales (porquerizas, criaderos, plantas de sacrificio, etc.) y en algunas industrias alimenticias. Pese a ello, la principal fuente de fósforo en el agua deriva de las aguas residuales agrícolas y del uso de detergentes en el lavado doméstico.

#### *vii. Alcalinidad*

Esta se define como la capacidad del agua para neutralizar los ácidos. En las aguas residuales la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos (OH), carbonatos ( $\text{CO}^{2-}$ ) y bicarbonatos ( $\text{HCO}^{3-}$ ) de elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio, o de ion amonio. Estos componentes son el resultado de la disolución de sustancias minerales en el suelo y en la atmósfera. Los fosfatos pueden ser originados también por los detergentes en las descargas de agua residual y por fertilizantes e insecticidas de las tierras de cultivo.

El sulfato de hidrógeno y el amonio son el producto de la descomposición microbiana del material orgánico. Cabe mencionar que el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio son los constituyentes más comunes de la alcalinidad. En grandes cantidades, la alcalinidad le da un sabor amargo al agua.

#### *d. Características Químicas orgánicas agregadas del agua residual*

Durante todo el proceso de recolección de aguas residuales, estas adquieren muchísimos componentes extras. Además de los componentes descritos anteriormente, los compuestos orgánicos agregados al agua residual son muy variados. Según datos obtenidos, la materia orgánica en aguas residuales se constituye básicamente de proteínas (40 a 60%), La absorción atómica mide la luz absorbida por los átomos en estado fundamental cuando pasan a un estado de excitación. La intensidad de emisión de una línea del espectro debida a la transición de un electrón desde un estado excitado o estado fundamental de energía cero, es proporcional al número de átomos existentes en estado excitado. Carbohidratos (25 a 50%) y grasas y aceites (8 a 12%), así como pequeñas cantidades de un gran número de moléculas orgánicas sintéticas.

La diferencia que existe entre un agua residual tratada y otra no tratada, es la cantidad de compuestos orgánicos agregados presentes en las muestras. Este parámetro es de mucha ayuda cuando se trata de analizar el desempeño de los procesos de tratamiento y estudiar su comportamiento en las fuentes receptoras. Hoy en día existen distintos métodos para el cálculo de dicho parámetro.

Estos son:

- a) Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- b) Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días ( $\text{DBO}_5$ ).
- c) El carbono orgánico total (COT).



### *i. Demanda Química de oxígeno (DQO)*

Parte de los materiales orgánicos no se pueden degradar biológicamente porque resultan ser tóxicos a los microorganismos o porque su reducción llega a ser tan lenta que son considerados como no biodegradables. Estos materiales son los pesticidas, insecticidas y herbicidas. Para conocer la cantidad de este tipo de materiales orgánicos no biodegradables se hace la prueba de Demanda Química de Oxígeno (DQO). Junto con la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se puede calcular la cantidad de orgánicos biodegradables presentes en el agua. Esto se puede lograr restando el valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) al valor de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

### *ii. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)*

Es la cantidad de oxígeno que utilizan los microorganismos para llevar a cabo la reducción de la materia orgánica. La urea, el mayor constituyente de la orina, es otro componente orgánico importante existente en las aguas residuales frescas. Los nutrientes esenciales son N, P, K, Fe, etc., y otros aditivos.

En aguas residuales domésticas, el valor de la DBO a 5 días representa en promedio un 65 a 70% del total de la materia oxidable. La DBO, como todo ensayo biológico, requiere cuidado especial en su realización, así como los conocimientos especiales de las características esenciales que deben cumplirse, con el fin de obtener valores representativos confiables. El ensayo supone la medida de la cantidad de oxígeno consumido por organismos vivos en la utilización de la materia orgánica presente en un residuo; por lo tanto es necesario garantizar que durante todo el periodo del ensayo exista suficiente OD para ser utilizado por los organismos (Metcalf y Eddy, 1985).

### *iii. Carbono Orgánico Total (COT)*

Esta prueba es usada para la medición de carbono orgánico total presente en una muestra acuosa. Los métodos para la prueba del COT utilizan oxígeno y calor, radiación ultravioleta, oxidantes químicos o alguna combinación de éstos para convertir el carbono orgánico en dióxido de carbono, el cual es medido con un analizador infrarrojo o por otros medios. El COT del agua residual puede ser utilizado para medir el nivel de polución en el agua y, además, ha sido posible relacionar este parámetro con la DBO y la DQO. Por otro lado, este ensayo toma de 5 a 10 minutos para ser completado, lo que le da una ventaja a su favor.

En la determinación de COT también se presentan problemas de inyección de muestras con sólidos en suspensión (caso del agua bruta). La relación entre el COT y la demanda de oxígeno depende de la composición del agua; en concreto, de la presencia de compuestos difícilmente oxidables por vía biológica o química, así como de sustancias inorgánicas reductoras. Por lo tanto, para aguas residuales industriales es difícil establecer una

correlación, dada la considerable variación en la composición química. Pero, para aguas residuales urbanas se tienen correlaciones relativamente buenas como la siguiente:

$$\text{DBO}_5 = 1.87 \rightarrow \text{COT} = 17$$

*iv. Relación: DBO, DQO y COT*

Dependiendo de la relación existente entre estos tres parámetros se puede hacer un análisis del tipo de tratamiento que se ha llevado a cabo en el agua residual. Así, por ejemplo tenemos que si la relación DBO/DQO para aguas no tratadas es mayor que 0.5, los residuos se consideran fácilmente tratables mediante procesos biológicos. Si la relación DBO/DQO es menor de 0.3, el residuo puede contener constituyentes tóxicos o se pueden requerir microorganismos aclimatados para su estabilización.

**e. Características Biológicas del agua residual**

***i. Coliformes Totales***

Los organismos patógenos se presentan en las aguas residuales y contaminadas en cantidades muy pequeñas y, además, resultan difíciles de aislar y de identificar. Por ello se emplea el organismo Coliformes como organismo indicador, puesto que su presencia es más numerosa y fácil de comprobar. El tracto intestinal humano contiene innumerables bacterias con forma de bastoncillos, conocidas como organismos Coliformes. Aparte de otras clases de bacterias, cada ser humano evacua de 100,000 a 400,000 millones de organismos Coliformes cada día. Por ello se considera que la presencia de Coliformes puede ser un indicador de la posible presencia de organismos patógenos, y que la ausencia de aquellos es un indicador de que las aguas están libres de organismos que puedan causar enfermedades.

Las bacterias coliformes incluyen los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*. El uso de los Coliformes como organismos indicadores es problemático debido a que la *Aerobacter* y ciertas clases de *Escherichia* pueden crecer en el suelo. Por lo tanto, la presencia de coliformes no siempre es sinónima de contaminación con residuos humanos. No obstante, aunque parece ser que las *Escherichia coli* si son de origen exclusivamente fecal, la dificultad de determinar la *E. coli* sin incluir los coliformes del suelo hace que se use todo el grupo de los coliformes como indicador de la contaminación fecal (Metcalf y Eddy, 1985).

***ii. Coliformes Fecales***

Se definen como todos aquellos bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gran negativos, no esporulados capaces de producir aldehídos a partir de la fermentación de la lactosa con producción de ácido y gas en 24 hs a 45.5°C. Los resultados de la técnica de filtros de membrana se expresan como Unidades Formadoras de Colonias/ 100 mL (UFC/100 mL).

Constituyen, aproximadamente el 90% de los Coliformes Totales en las excretas humanas (Jiménez, 2001).

Las ventajas de este grupo como indicador de contaminación son:

1. El 95% de los coliformes fecales resultan positivos en la prueba de temperatura.
2. Pueden estar ausentes si la contaminación no es de origen fecal.
3. Sobreviven menos tiempo que los Coliformes Totales, por lo que, si se encuentran en concentraciones altas, hace suponer contaminación reciente.
4. Requieren de más condiciones que los Coliformes Totales para reproducirse en el ambiente extraintestinal.
5. Los procedimientos de laboratorio para su cuantificación son relativamente sencillos (Jiménez, 2001).

Se han observado que tienen la capacidad de reproducirse en aguas ricas en nutrientes, en sedimentos y aun en aguas poco contaminadas. En aguas con baja temperatura, algunas cepas de *Escherichia coli* sobreviven menos que *Salmonella*; y algunas son patógenas para el hombre (Enríquez, 1990)

f. Caudales promedio de las Fuentes de aguas residuales

i. Fuentes de agua residual doméstica

En zonas residenciales, el caudal de agua residual es principalmente función del número de habitantes. Si una comunidad posee sistema para abastecimiento de agua, pero no tiene sistema de recolección de agua residual, el caudal promedio de agua residual se puede estimar multiplicando la cantidad de agua consumida por un factor igual al 60 u 80 por ciento, dependiendo del consumo en actividades particulares como riego de zonas verdes. Para el caso de residencias individuales con tanque séptico, el caudal de agua residual que originan, se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\text{Caudal} = [X + Y] * n \quad \text{ecuación (2)}$$

Donde:

X= agua consumida en uso doméstico como el lavado de los platos, el lavado de la ropa u otros oficios. (Lts/vivienda/día)

Y= agua consumida para uso personal como beber, preparación de alimentos, higiene oral, aseo personal y descargas de sanitarios. (Lts/persona/día)

n= número de personas/vivienda (Crites y Tchobanoglous, 1998).

ii. Reducción del consumo de agua y el caudal de agua residual

Debido a que este proyecto busca la mejor propuesta económica para el diseño de la planta de tratamiento por la Universidad de las Américas-Puebla, es esencial destacar la importancia del ahorro tanto de recursos como de energía. Esto es posible en la medida que se logre una reducción de los caudales de agua residual de origen doméstico. Lo que depende directamente de la reducción en el consumo interno. A continuación la tabla 5 de distribución.

Tabla 5. Distribución habitual del consumo interno en viviendas.

USO	PORCENTAJE	
	Intervalo	Valor Habitual
Baño (bañera/ducha)	15-25	20
Lavaplatos	5-10	7
Lavado de ropa	15-25	20
Grifos	8-12	10
Sanitarios	20-40	30
Otros (fugas en sanitarios)	8-12	10

Fuente: Ron Crites y George Tchobanoglous, "Tratamiento de aguas Residuales", USA 2000.

En la tabla 6 se muestran los diferentes dispositivos para la reducción en el consumo de agua. Actualmente la Universidad de las Américas-Puebla no cuenta con ningún tipo de aparatos para tal efecto, sin embargo, es factible la realización de una campaña en pro del cuidado del vital líquido, situación que mejoraría, en gran medida el proyecto de la planta de tratamiento.

Tabla 6. Aparatos y dispositivos para disminuir el consumo de agua

APARATO/DISPOSITIVO	DESCRIPCIÓN Y/O APLICACIÓN
Difusor de grifo	Incrementa el poder de aclarado del agua añadiendo aire y concentrando el caudal, así reducen la cantidad de agua usada para el lavado.
Ducha con limitador de flujo	Restringe y concentra el paso del agua por medio de orificios que limitan y desvían el flujo para óptimo aprovechamiento por parte del usuario.
Sanitario de caudal reducido	Reduce la cantidad de agua en cada descarga.
Válvula reductora de presión	Mantiene la presión del agua en la vivienda a un nivel más bajo que el del sistema de distribución de agua. Disminuye la probabilidad de fugas y de goteo de grifos.

<b>Ducha a presión</b>	Mezcla de agua y aire comprimido. El impacto produce una sensación similar a la ducha convencional.
<b>Equipo para reducir consumo en cuartos de baño</b>	Consiste en sistemas de restricción del agua en las duchas, sanitarios con mecanismos de retención y tabletas para detectar fugas en los sanitarios con cisterna.
<b>Sanitarios con mecanismos de retención</b>	Una división en la cisterna reduce el volumen de agua en cada descarga.
<b>Detector de fugas en sanitarios</b>	Tabletas que se disuelven en las cisternas. Sirven como trazadores para detectar fugas.
<b>Sanitario a vacío</b>	Con una cantidad pequeña de agua se genere el vacío necesario para remover las heces del sanitario
<b>Lavaplatos de consumo eficiente</b>	Reduce el consumo de agua en el lavado de platos.
<b>Lavadora de consumo eficiente</b>	Reduce el consumo de agua en el lavado de ropa.

Fuente: Ron Crites y George Tchobanoglous, "Tratamiento de aguas Residuales", USA 2000.

Con esto se puede apreciar que existen diferentes formas de hacer un uso más adecuado del agua residual, sin embargo, se insiste en la necesidad de crear una mejor conciencia dentro de la sociedad universitaria para el cuidado del agua dentro del campus de la universidad lo que ayudará a contar con mejores servicios. Un ejemplo claro de las reducciones que se pueden llegar a alcanzar con el uso de estos dispositivos se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Comparación del consumo de agua en residencias con y sin dispositivos para el ahorro de agua.

<b>CAUDAL= L/HABITANTE/DÍA</b>		
	Sin dispositivos de reducción	Con dispositivos de reducción
<b>Regaderas</b>	53	45.5
<b>Lavaplatos</b>	18.5	11
<b>Lavado de ropa</b>	53	45.5
<b>Grifos</b>	26.5	19

Sanitarios	80	38
Otros (fugas de sanitarios)	26.5	30
Total	257.5	189

Fuente: Ron Crites y George Tchobanoglous, "Tratamiento de aguas Residuales", USA 2000.

Esto muestra que el uso de dichos dispositivos reduce casi un 30% el consumo, lo que se verá reflejado considerablemente en los costos tanto del sistema de tratamiento como en los costos para la obtención del servicio.

#### g. Muestreos para la caracterización de aguas residuales

Para analizar determinados índices de contaminación de una vía pluvial o de cualquier otro sistema hídrico, en la mayoría de las ocasiones no es posible realizar la medición directamente sobre ésta, sino que se hace preciso desarrollar un sistema de toma de muestras para su análisis.

Un punto de extrema importancia en el proceso reside, pues, en el sistema que se siga para la toma de muestras, ya que cualquier alteración que se pueda producir sobre el análisis a lo largo del proceso se va a reflejar en los resultados finales (Seóanez, 1999).

Un aspecto importante a tener en cuenta a la hora de desarrollar un sistema de muestreo lo constituye la frecuencia con que este se realiza. La elección de una determinada frecuencia de muestreo depende de la mayor o menor variación de las características de las aguas en el tiempo.

Dependiendo del tipo y de la frecuencia de muestreo aplicados, se pueden determinar tres tipos de muestras representativas:

*Muestras instantáneas:* estas consisten en una sola muestra tomada en un punto y en un momento determinado. Se presenta útil y fiable en el estudio de aguas cuyas características físicas y químicas sean constantes en el tiempo.

*Muestras compuestas:* en este caso se realizan distintas tomas de muestra separadas por intervalos de tiempo regulares, de forma que la muestra compuesta resulte de una mezcla de las distintas muestras tomadas. Este procedimiento se hace necesario cuando existe una variación de las características de las aguas en el tiempo, y por tanto el análisis de muestras instantáneas no reportaría información precisa.

*Muestras Proporcionales:* este tipo de muestreo se realiza a intervalos regulares de tiempo, como sucede en el caso de las muestras compuestas, solo que ahora, cada una de las muestras tomadas no tiene el mismo volumen, sino que este es proporcional al caudal de líquido que discurra en cada momento. De esta manera la mezcla resultante de las

muestras tomadas será realmente representativa de lo que ha sucedido en las aguas a lo largo del tiempo transcurrido.

#### h. Tratamiento de las Aguas Residuales o Depuración

El tratamiento de aguas residuales consta de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como finalidad eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o reuso. Es muy común llamarlo depuración de aguas residuales para distinguirlo del tratamiento de aguas potables.

Éstas pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas (por ejemplo: tanques sépticos u otros medios de depuración) o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías y eventualmente bombeadas a una planta de tratamiento. Los esfuerzos para coleccionar y tratar las aguas residuales domésticas de la descarga están típicamente sujetos a regulaciones y estándares locales, estatales y federales (regulaciones y controles), ciertos contaminantes de origen industrial presentes en las aguas residuales requieren procesos de tratamiento especializado.

##### *i. Proceso de tratamiento de las aguas residuales*

Dentro del campo del tratamiento de aguas residuales ha existido un desarrollo tecnológico considerable, la variedad de posibles métodos de tratamiento aumento, sin embargo, los métodos que han comprobado su eficiencia son de tres tipos: físicos, químicos y biológicos. Estos, a su vez, se combinan entre si en una gran variedad de formas creando sistemas bioquímicos o físico biológicos.

Los tratamientos de tipo físico son aquellos en los que predomina la aplicación de fuerzas físicas, tal es el caso de el cribado, la sedimentación, filtración, flotación y mezclado (Metcalf y Eddy, 1996).

Los mismos autores afirman también que un tratamiento químico es aquel que se lleva a cabo a través de agregar productos químicos a las aguas residuales provocando reacciones. Ejemplos de esto es la precipitación, la transferencia de gases, la absorción, la floculación y la purificación.

En lo que respecta al tratamiento biológico, los autores arriba mencionados lo refieren como el conjunto de métodos de tratamiento de aguas residuales en los que la remoción de contaminantes se lleva a cabo por actividad biológica, básicamente se usan para remover materia orgánica biodegradable. Otro autor, se refiere al tratamiento biológico de aguas residuales de la siguiente forma: "El tratamiento biológico de aguas residuales se basa en el proceso aparentemente simple en el que una población mixta de

microorganismos utiliza como nutrientes sustancias que contaminan el agua” (Winkler, 1998).

Es importante hacer mención de qué es lo que dicen los organismos locales al respecto. Los tipos de procesos a utilizarse están estipulados en el manual de normas técnicas para el proyecto de plantas de tratamiento de aguas residuales de la CNA. Dicho manual contempla las siguientes etapas: preliminar, primaria, secundaria, terciaria y purificación.

#### *ii. Pretratamiento*

El pretratamiento establece un orden de módulos de preparación para los siguientes procesos de saneamiento para las aguas residuales, los cuales son métodos mecánicos como por ejemplo: rejas, desmenuzadores, desarenadores y tanques de remoción de grasas y aceites.

#### *iii. Tratamiento primario*

En el caso del tratamiento primario, la CNA instituye que el propósito primordial del mismo es remover los sólidos finos sedimentables y que esto se puede lograr por medio de sedimentación simple, filtración, tanques sépticos o bien con un tanque Imhoff o con lagunas de estabilización anaerobia.

#### *iv. Tratamiento Secundario*

Por lo que respecta al tratamiento secundario, la CNA establece que su objetivo es remover o estabilizar materias que puedan descomponerse (putrefacción) y que estén suspendidas, en estado coloidal o en solución. Para lograr esto, la CNA considera factibles los mecanismos de filtración y tratamiento biológico por contacto. Es significativo resaltar que los organismos indican los métodos de filtración biológica, la de lodos activados y las lagunas aerobias, anaerobias y facultativas, así como las zanjas de oxidación.

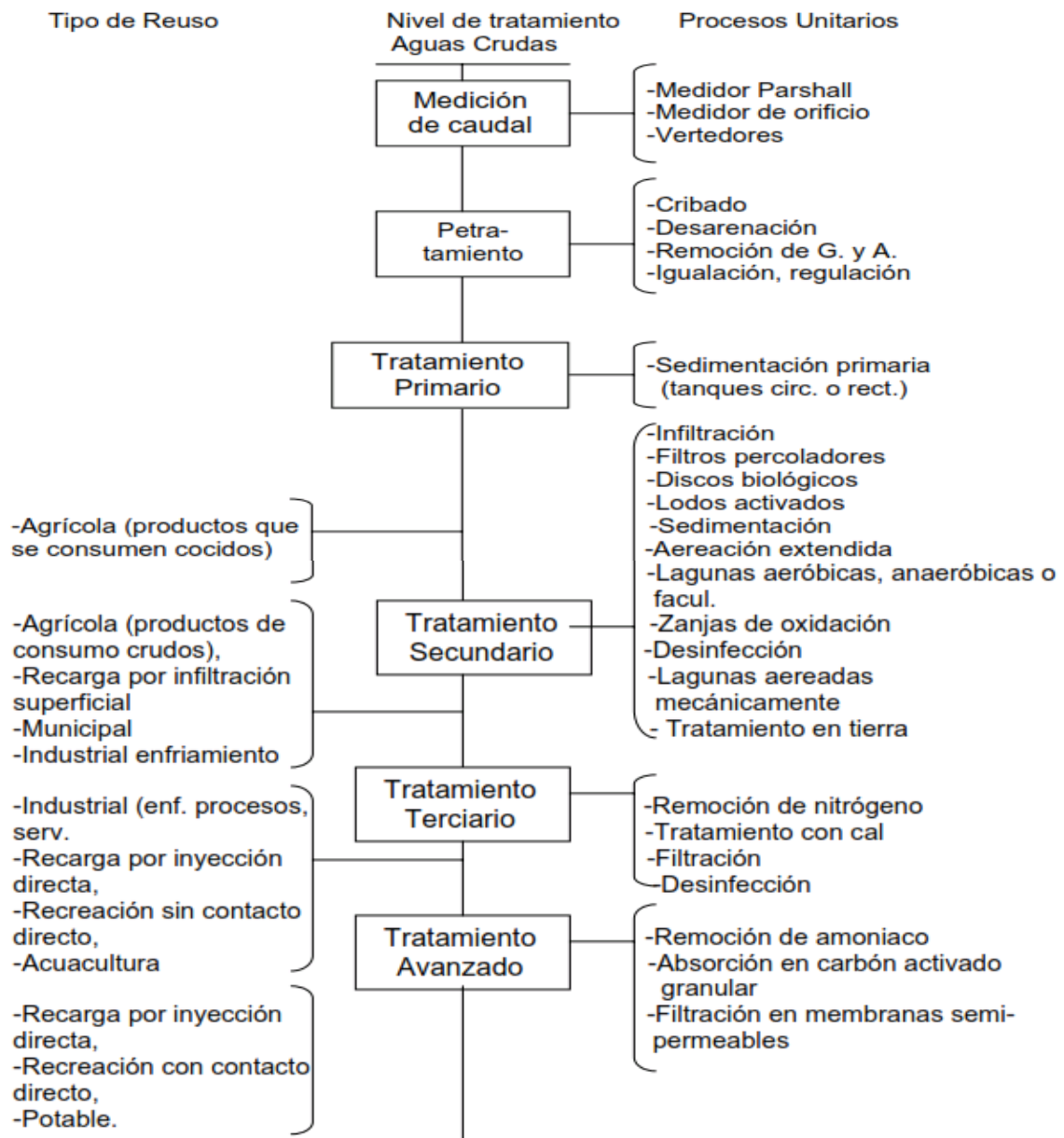
#### *v. Tratamiento terciario*

Son procesos destinados a conseguir una calidad de efluente superior al convencional. El tratamiento conclusivo más utilizado es la cloración, con lo que se tendrá un tratamiento parcialmente completo. Se dice que está parcialmente completo debido a que los metales pesados y sustancias tóxicas inorgánicas que se encuentran disueltas y no suspendidas no han sido eliminados aun. Para lograr esto se necesitaría la ejecución de un tratamiento terciario. Este último excede muchas veces las necesidades de tratamiento por lo que el tratamiento normalmente llega a un nivel secundario con cloración. Lo que asegura un agua clara, sin olores y baja en contenido microbiano.



i. Niveles de tratamiento de aguas residuales por la CONAGUA 2007

Figura. 3. Niveles de tratamiento para diferentes reúsos.



Fuente. CONAGUA, 2007.

Para el uso de las aguas tratadas existen parámetros específicos de la **NOM-001-SEMARNAT-1996** las cuales indican el nivel máximo permisible para uso de aguas residuales tratadas en distintas actividades y usos.

### **1.7 Nivel de Tratamiento 1**

Este nivel se ha considerado como el nivel mínimo de tratamiento a las aguas residuales municipales para su reúso. El sistema de tratamiento para lograr este nivel consiste de un pretratamiento seguido de un tratamiento primario.

Dicho sistema está constituido por un tren de tratamiento, que a su vez cuenta con los siguientes procesos unitarios:

- Pretratamiento; cribado y/o desarenación. Es importante notar que en este proceso se puede incluir, en caso de ser necesario, unidades de remoción de grasas y aceites, homogeneización y/o regulación. Además de desmenuzado o triturado.
- Tratamiento primario; tanques de sedimentación primarios, ya sean circulares o rectangulares. Los lodos producidos en este proceso pueden ser espesados, desaguados y/o digeridos biológicamente para su disposición final en el suelo o en rellenos sanitarios (CONAGUA, 2007).

### **Nivel de Tratamiento 2**

Este nivel puede ser logrado con el nivel de tratamiento 1 además de alguno de los siguientes procesos de tratamiento:

- Lodos activados convencionales con aireación por difusión, o aeración mecánica, o difusión con mezcla mecánica.
- Filtros biológicos, los cuales pueden ser, según convenga; filtros biológicos con medio sintético, filtros biológicos con roca de alta tasa, o filtros biológicos con roca de media tasa.
- Discos biológicos.
- Lagunas aireadas mecánicamente seguidas de infiltración.
- Lagunas anaerobias.
- Lagunas facultativas.

- Zanjas de oxidación.

El sistema de tratamiento seleccionado, para lograr este nivel de tratamiento, consistirá de algunos de los procesos referidos, sedimentación secundaria (tanques circulares o rectangulares) con provisiones para la recirculación de lodos, y desinfección mediante empleo de cloro. Estos procesos se encuentran como se señaló en secuencia de un sistema de pretratamiento más tratamiento primario (nivel 1).

Los lodos producidos en este proceso pueden ser enviados a un sistema adicional de tratamiento de lodos, el cual puede estar formado por uno o varios de los siguientes procesos u operaciones:

- Disposición de lodos en lagunas.
- Disposición de lodos en el suelo.
- Digestión aeróbica de lodos.
- Digestión anaeróbica de lodos.
- Espesamiento de lodos.
- Composteo de lodos.
- Deshidratación mecánica de lodos.
- Deshidratación en lechos de secado.
- Estabilización química.
- Filtración mecánica.

### **Nivel de Tratamiento 3**

Con sistemas de tratamiento de lodos activados con nitrificación, discos biológicos en dos pasos y aireación extendida, se puede lograr un nivel de tratamiento superior al anterior, por lo que cualquiera de estos tratamientos se ha considerado como nivel 3 de tratamiento. La nitrificación es similar al tratamiento secundario, con la diferencia principal de contar con períodos de aireación más largos. Después del pretratamiento y tratamiento primario, se incluye un tanque de aireación expresamente diseñado para la oxidación de materia orgánica carbonácea; a este tanque le continúa un sedimentador secundario, con provisiones para la recirculación de lodos. En suida del sedimentador, el sistema cuenta con un tanque de aireación para producir un efluente nitrificando, y posteriormente se tiene un tanque final de sedimentación, equipado también con instalaciones para la recirculación de lodos. La unidad de operación siguiente y final en el sistema es un tanque de contacto con cloro (CONAGUA, 2007).

### **Nivel de Tratamiento 4**

El intercambio iónico selectivo mediante el empleo de clinoptilolita, es un proceso recientemente desarrollado para la remoción de nitrógeno amoniacal de las aguas residuales. En este nivel de tratamiento el proceso se emplea después de un sistema de lodos activados suido de filtración en medio mixto; aunque la filtración no es imperativa

para este nivel de tratamiento, su empleo es necesario para evitar taponamientos en el medio de intercambio. La resina, una vez agotada su capacidad de intercambio, se regenera mediante el empleo de una solución saturada de cloruro de sodio que se conduce posteriormente a torres de separación de amoníaco (CONAGUA, 2007).

### **Nivel de Tratamiento 5**

En este nivel el proceso de filtración se sitúa a continuación del efluente del sedimentador secundario del proceso biológico de lodos activados. El influente del proceso de filtración es el correspondiente al nivel 2 sin cloración, la que se efectúa inmediatamente después. El empleo de productos químicos, especialmente polímeros, es necesario en algunas ocasiones como ayuda al proceso de filtración; es importante señalar que los flóculos biológicos, por lo general, presentan resistencia suficiente para ser removidos mediante filtración sin el empleo de productos químicos (CONAGUA, 2007).

### **Nivel de Tratamiento 6**

Para lograr este nivel se requiere de un sistema de tratamiento terciario empleando cal, la cual se suministra a un efluente de nivel 2, correspondiente a lodos activados convencionales. El sistema consiste en mezclar cal con el efluente secundario y agitar la mezcla suavemente en un tanque de floculación, pasando posteriormente a un tanque de sedimentación de los flóculos formados. El alto pH resultante del proceso se ajusta mediante el empleo de un sistema de recarbonatación en dos pasos, antes de la filtración de las aguas.

El sistema de recarbonatación incluye una unidad de aplicación de CO<sub>2</sub>, un clarificador y una senda-unidad de aplicación de CO<sub>2</sub>. El lodo recolectado en las unidades de clarificación se maneja conjuntamente con el proveniente de la unidad de clarificación que sigue a la floculación. Una alternativa al proceso de recarbonatación la constituye el empleo de ácido sulfúrico, después del proceso terciario con cal, para regular el pH, sin embargo, este sistema produce un efluente con un alto contenido de calcio que en algunos casos puede no ser aceptable para las normas de reúso. Después del ajuste del pH el efluente terciario se filtra en forma similar al nivel 5, utilizando polímeros como ayuda y desinfectando posteriormente con cloro (CONAGUA, 2007).

### **Nivel de Tratamiento 7**

En este nivel el sistema es tratamiento terciario con cal de afluentes nitrificados, el cual es esencialmente el mismo que el descrito en el inciso anterior, con la diferencia que se

sustituye el proceso de lodos activados convencional por un proceso de nitrificación en dos pasos. Asimismo, debido a que la alcalinidad del efluente nitrificando es menor que la de los lodos activados, los requerimientos de cal para la remoción de fósforo son menores, por lo tanto se obtiene, en este sistema, una menor producción de lodos de cal (CONAGUA, 2007).

### **Nivel de Tratamiento 8**

La adsorción en carbón activado de afluentes secundarios filtrados se ha considerado como el nivel 8 de tratamiento. Este sistema de tratamiento tiene especial importancia en la remoción de la DQO, siendo más eficiente cuando esta precedido por filtración, ya que ésta reduce significativamente el potencial de taponamientos en las torres de adsorción. En algunas ocasiones es recomendable el empleo de cloro antes del proceso de adsorción con objeto de evitar el crecimiento de microorganismos indeseables en las columnas, no requiriéndose decoloración antes de la adsorción ya que el carbón logra esto en forma satisfactoria. Este tren de tratamiento está formado por un sistema de nivel de tratamiento 4, seguido de columnas de carbón activado de flujo ascendente (CONAGUA, 2007).

### **Nivel de Tratamiento 9**

En este nivel se ha considerado un sistema de tratamiento de adsorción en carbón activado de efluente terciario con cal, que corresponde al tren de tratamiento del nivel 5, adicionando el proceso de adsorción en carbón activado descrito en el inciso anterior (nivel 8) (CONAGUA, 2007).

### **Nivel de Tratamiento 10**

En este nivel se considera al sistema de tratamiento de adsorción en carbón activado de afluentes nitrificados y terciario con cal, el cual es un tren de tratamiento correspondiente al nivel 9, adicionando el proceso de adsorción en carbón activado descrito en incisos previos (nivel 8) (CONAGUA, 2007).

### **Nivel de Tratamiento 11**

Este nivel consta de un sistema de tratamiento que incluye filtración en membranas semipermeables (ósmosis inversa), después de los tratamientos biológicos y físico-químicos. Este tren de tratamiento representa el efluente de más alta calidad que pueda obtenerse del grupo de sistemas alternos planteados en este informe. El nivel de calidad de las aguas renovadas mediante este sistema está prácticamente libre de DQO, además de haber sido desmineralizado mediante el proceso de ósmosis inversa; en muchos casos el efluente de este tren pudiera representar un nivel de calidad más alto que algunas de las fuentes actuales de agua potable en el país (CONAGUA, 2007).

En este tren de tratamiento el proceso de ósmosis inversa precede a la desinfección; el tren previo a la ósmosis inversa es igual al definido como nivel 10 (sin desinfección). La adición del proceso de ozonación, suida de cloración para mantener un residual en el efluente, será necesaria si se desea emplear el agua para fines potables (CONAGUA, 2007).

Tabla 8. Resúmenes de los niveles de tratamiento.

<b>NIVEL DE TRATAMIENTO</b>	<b>SISTEMA DE TRATAMIENTO</b>
<b>1</b>	-Preliminar suido de tratamiento
<b>2</b>	-Lodos activados convencionales. -Filtros biológicos. -Bio-discos. -Lagunas Aereadas suidas de infiltración. -Zanjas de oxidación.
<b>3</b>	-Remoción de Nitrógeno. -Bio-discos en dos pasos. -Aereación Extendida.
<b>4</b>	-Intercambio iónico selectivo. -Nitrificación-enitrificación en dos pasos.
<b>5</b>	-Filtración de Efluentes Secundarios.
<b>6</b>	-Tratamiento Terciario de Efluente -Adición de alumbre en Tanques de Aereación -Adición de cloruro Férrico a tanque Primario.
<b>7</b>	-Tratamiento Terciario de Efluente Nitrificado con cal
<b>8</b>	-Absorción en Carbón Activado de Efluentes Secundarios Filtrados
<b>9</b>	-Absorción en Carbón Activado de Efluentes Terciarios con cal
<b>10</b>	-Absorción en Carbón Activado de Efluentes Nitrificados y Terciarios con cal
<b>11</b>	-Filtración de Membranas Semipermeables después de Tratamiento Biológico y Físico-Químico.

Fuente. CONAGUA, 2007.

## 1.8 Tratamiento planteado para las descargas de AR de Cintalapa de Figueroa, Chiapas

### Pretratamiento

- Cribado

La operación de cribado se emplea para remover el material grueso, generalmente flotante, contenido en algunas aguas residuales crudas, que puede obstruir o dañar

bombas, tuberías y equipos de las plantas de tratamiento o interferir con la buena operación de los procesos de tratamiento. El cribado puede ser fino, por medio de mallas de alambre, o grueso, por medio de rejillas (CONAGUA, 2007).

- Desarenación

La desarenación es una operación unitaria que se emplea para remover gravillas, arenas, cenizas y otros materiales inorgánicos presentes en las aguas residuales municipales que pueden causar abrasión o desgaste excesivo en los equipos mecánicos de una planta de tratamiento. La desarenación se ubica generalmente después del cribado y antes de la sedimentación primaria (CONAGUA, 2007).

Con esta operación se busca remover el 100% de las partículas inorgánicas (densidad = 2.65 g/cm<sup>3</sup>) de un tamaño igual o mayor a 0.21 mm (malla # 65) y dejar en suspensión el material orgánico. Para lograr esta remoción es necesario conservar la velocidad del agua, entre 25 y 38 cm/s. La sedimentación gravitacional de las partículas es del tipo discreto (cada partícula se sedimenta independientemente, sin presentarse fenómenos de floculación de partículas). La eficiencia de remoción de partículas de tamaño inferior al tamaño de diseño es directamente proporcional a la relación de su velocidad de sedimentación con la velocidad de sedimentación de diseño (CONAGUA, 2007).

### *1.8.1 Tratamiento primario*

- Sedimentador

El proceso de coagulación-sedimentación consiste en: adición de productos químicos a las aguas residuales, para la remoción de sólidos y otros contaminantes mediante precipitación; mezclado rápido de los productos químicos con el agua para dispersar éstos en forma homogénea; mezcla lenta para permitir la formación de flóculos resultado de la adición de los productos químicos; y, sedimentación en condiciones de calma para permitir la separación de los flóculos formados en las aguas residuales (CONAGUA, 2007).

Se inyectan productos químicos en varios puntos del proceso de tratamiento para la remoción de material orgánico e inorgánico suspendido y disuelto en las aguas residuales (CONAGUA, 2007).

Los productos químicos que más se emplean como coagulantes se pueden dividir en cuatro categorías: cal, sales de aluminio, sales de hierro, y polímeros; cada uno de ellos con propiedades y aplicaciones propias características del producto (CONAGUA, 2007).

La cal se usa como coagulante para la remoción tanto de fósforo como de dureza de calcio. También, es eficiente en la remoción de sólidos suspendidos, turbiedad y de muchos contaminantes presentes, solo en trazas, en el agua residual. El efluente de este proceso

presenta un pH elevado que, de no requerirse para procesos subsecuentes, debe ser reducido antes de su descarga. Para la reducción del pH, el proceso de recarbonatación es el que se emplea comúnmente, aunque para plantas pequeñas (menores de 100 l/s) el uso de algún ácido es una alternativa viable (CONAGUA, 2007).

La recuperación de cal ha resultado económicamente factible, mediante el empleo de hornos de recalcinación de los lodos sedimentados en el proceso, particularmente en grandes plantas en donde se emplea cantidades elevadas de cal en el tratamiento de las aguas residuales. En plantas pequeñas el costo de la recalcinación de los lodos es poco justificado (CONAGUA, 2007).

El aluminio, en forma de sulfato de aluminio, reacciona con los ortofosfatos y la alcalinidad. En esta aplicación, la remoción de fósforo tiende a ser la más alta, si el producto se dosifica durante o después del tratamiento biológico; en esta etapa la proporción de ortofosfatos es mayor comparada con otras asociaciones de fósforo (CONAGUA, 2007).

En este caso, no existe a la fecha un método económicamente factible para la recuperación del sulfato de aluminio, por lo que su manejo y disposición recae dentro del manejo de lodos del sistema en su conjunto (CONAGUA, 2007).

Las sales de fierro, principalmente cloruro férrico, son efectivas en la remoción de sólidos suspendidos y fósforo de las aguas residuales. Estas sales se dosifican, en general, conjuntamente con cal e hidróxido de sodio, lo cual se requiere para aumentar el PH del agua y poder producir un buen flóculo. Como en el caso de las sales de aluminio, no existe un método económico para la recuperación del producto para su reúso (CONAGUA, 2007).

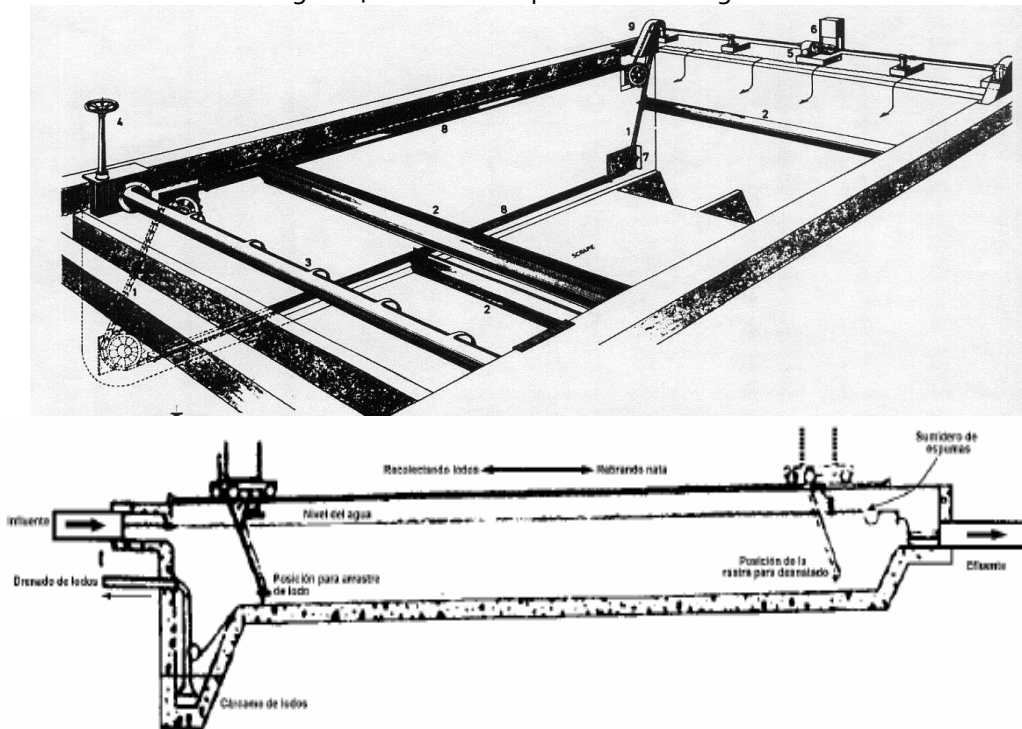
Los polímeros y los polielectrolitos se usan frecuentemente como ayuda adicional para la sedimentación. Estos productos incrementan la sedimentabilidad de flóculos finos y ligeros. La selección y dosificación de estos productos se hace, en forma general, mediante ensayos de prueba y error, que pueden efectuarse en el laboratorio en plantas en operación (CONAGUA, 2007).

- Sedimentación primaria tanques rectangulares

Los principios generales del proceso de sedimentación fueron presentados en la Ficha No. C.1 (Sedimentación Primaria, Tanques Circulares). En los tanques rectangulares el influente es distribuido a la entrada de la unidad por medio de baffles verticales o vertedores sumergidos; el objetivo de estas estructuras es lograr una mejor distribución del influente a lo ancho de la unidad. El efluente se recolecta por medio de vertedores triangulares colocados en canaletas, frecuentemente en forma de peine o de dedos que se extienden de la pared final del tanque hasta un 20% de la longitud del mismo. En algunos casos se emplean baffles verticales antes de las canaletas recolectoras para evitar contracorrientes superficiales (CONAGUA, 2007).



Figura 4. Decantador primario rectangular.



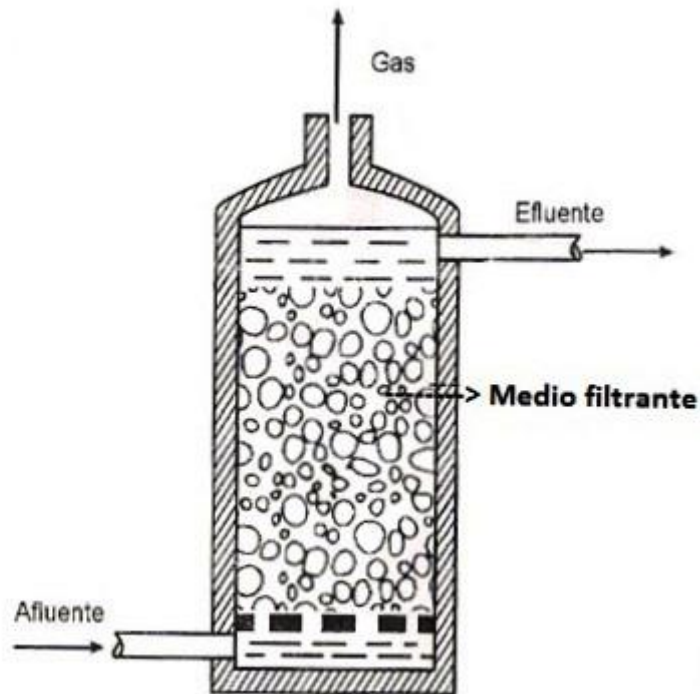
### 1.8.2 Tratamiento secundario biológico

- Filtros biológicos de flujo ascendente

El filtro anaerobio de flujo ascendente es un proceso de crecimiento adherido propuesto por Young y McCarty en 1969. Para el tratamiento de residuos solubles. De los sistemas de tratamiento anaerobio es el más sencillo de mantener porque la biomasa pertenece como un película microbiana adherida y porque como el flujo es ascensional, el riesgo de taponamiento es mínimo (Romero, 2004).

El filtro anaerobio está constituido por un taque o columna, relleno con un medio solido para soporte del crecimiento biológico anaerobio. El agua residual es puesta en contacto con el crecimiento bacteriano anaerobio adherido al medio y como las bacterias son retenidas sobre el medio y no salen en el efluente, es posible obtener tiempos de retención celular del orden de cien días con tiempos de retención hidráulica cortos. Los filtros anaerobios también pueden ser útiles para desnitrificar efluente ricos en nitratos o como pretratamiento en plantas de purificación de aguas.

Figura 5. Diagrama del sistema de filtración con medios múltiples (EPA, 1995).



Fuente. CONAGUA, 2007.

En el proceso de filtración biológica, el agua residual se deja escurrir sobre un filtro empacado con piedra o con algún medio sintético. En la superficie del medio se desarrollan crecimientos biológicos que bio-oxidan los contaminantes orgánicos presentes en el agua. El efluente es colectado al fondo del filtro.

El oxígeno necesario para la buena operación del proceso se obtiene del aire presente en los intersticios del medio. El flujo natural de aire debido a los gradientes de temperatura que se presentan en el interior del filtro es normalmente suficiente para el suministro del oxígeno necesario para el proceso. Para permitir este flujo de aire, es necesario dejar ventilas de tamaño adecuado en la parte inferior de los filtros (CONAGUA, 2007).

En algunos casos, cuando las torres de los filtros son muy altas y/o la concentración de DBO en el influente muy grande, puede ser necesario la inducción del flujo de aire por medio de ventiladores o sopladores instalados en las ventilas (CONAGUA, 2007).

El proceso de filtración biológica va precedido, generalmente, de una sedimentación primaria para remover los sólidos en suspensión que puedan obturar el filtro. Ya que la biomasa responsable del proceso de bio-oxidación está adherida al medio de empaque, y no en suspensión como en el caso del proceso de lodos activados, la biomasa no es arrastrada en el efluente y por lo tanto no es necesaria la recirculación de lodos biológicos. Sin embargo, el exceso de lodos sí es arrastrado en el efluente, razón por la cual es común la instalación de sedimentadores secundarios para la colección del exceso de lodo (CONAGUA, 2007).

Tabla 9. Ventajas y desventajas del proceso anaerobio.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tasa baja de síntesis celular y, por consiguiente, poca producción de lodos.</li> <li>- El lodo producido es razonablemente estable y puede secarse y disponerse por métodos convencionales.</li> <li>- No requiere oxígeno. Por tanto, usa poca energía eléctrica y es especialmente adaptable a aguas residuales de alta concentración orgánica.</li> <li>- Produce metano, el cual puede ser útil como energético.</li> <li>- Tiene requerimientos nutricionales bajos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para obtener grados altos de tratamiento requiere temperaturas altas.</li> <li>- El medio es corrosivo.</li> <li>- Tiene riesgos de salud por H<sub>2</sub>S.</li> <li>- Exige un intervalo de operación de pH bastante restringido.</li> <li>- Requiere concentraciones altas de alcalinidad.</li> <li>- Es sensible a la contaminación con oxígeno.</li> <li>- Puede presentar olores desagradables por H<sub>2</sub>S, ácidos grasos y amidas.</li> </ul>

Fuente. Romero, 2004.

En el proceso FAFA se debe incorporar un tratamiento primario que elimine material suspendido del agua, con miras a evitar tempranas obstrucciones del filtro, situación que no se presenta en el proceso de manto de lodos. Además en el FAFA no es necesaria la incorporación de separadores de fases, ya que los sólidos suspendidos arrastrados por el biogás hacia la superficie son inmediatamente retenidos por el material filtrante, situación que no ocurre en el proceso UASB.

Tanto en el proceso UASB como en el FAFA la remoción de materia orgánica en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno, oscila entre el 60 y 80%, valores típicos para aguas negras, que pueden elevarse en el caso de algunas aguas residuales industriales.

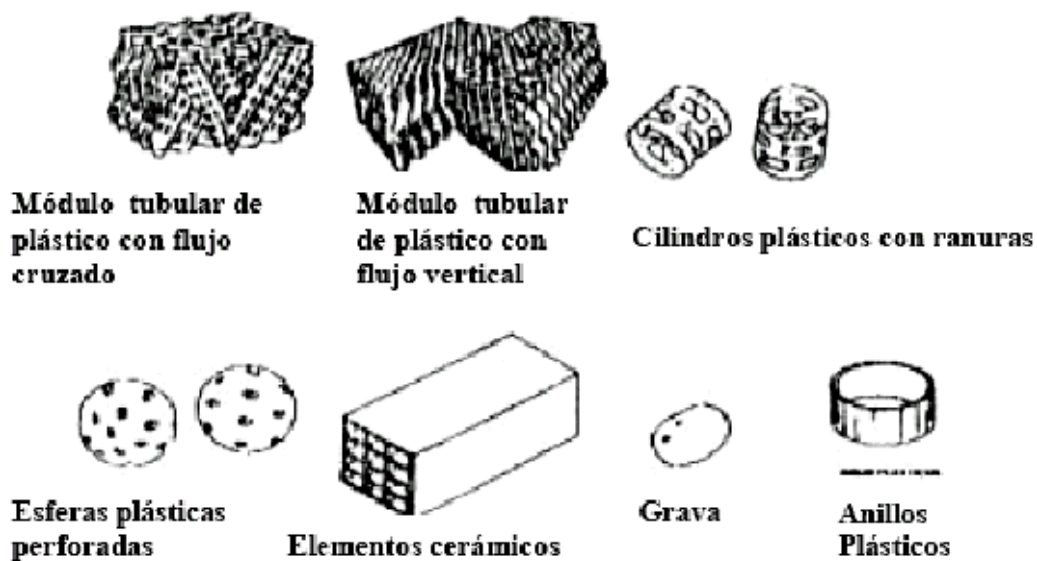
El arranque de un proceso de crecimiento adherido puede ser más lento que el de un proceso de crecimiento suspendido, puede demorar uno a seis meses en aguas residuales de baja concentración y de temperatura baja. Sin embargo, el filtro anaerobio es poco sensible a variaciones e carga hidráulica y a la operación discontinua pues el medio retiene los sólidos y la biomasa formada en él. En estudios hechos en Brasil se indican que estos filtros logran remociones de DBO<sub>5</sub> del 80%, con lechos de piedra de 4 a 7 mm y altura de 1.20 m. Otros estudios con residuo de DQO igual a 12000 mg/l, carga orgánica volumétrica

menor a 4kg DQO/m<sup>3</sup>.d, tiempo de retención hidráulica e 1 día, edad de los lodo de 56 días y temperaturas de 20 a 25 °C, indicaron remociones del 88% de DQO.

### Tipos de medios

Entre los tipos de medios más utilizados se encuentran la de piedra triturada angulosa o redonda (grava sin pico, de tamaño entre 4-7 cm), materiales cerámicos, vidrios, ladrillos, poliéster, poliuretano. Actualmente se han estudiado otras alternativas no convencionales como son la guadua, el bambú, la cascara de coco, tejas de barro; y otros más sofisticados como los anillos sintéticos, las matrices plásticas de flujo cruzado o tubular; estos ultimo de mayores costos por ser más eficientes. Estas nuevas alternativas han suprimido inconvenientes como atascamiento y colmatación que se presentaban en los tratamientos con grava, sobre todo cuando esta es pequeña, afectando negativamente la eficiencia con el paso del tiempo.

Figura 6 .Tipos de medios de empaque.



Fuente. Castañón, 2003.

Cierto número de medios de empaque de fabricación especial, contruidos de materiales ligeros como plásticos y otros materiales sintéticos, tienen un uso cada vez mayor ya que tienen una gran superficie de soporte para la película microbiana, así como para otras operaciones de contacto entre gases y líquidos, como por ejemplo, el enfriamiento evaporativo del agua.

Los medios sintéticos tienen grandes espacios de huecos, en general mayores del 90%, con amplios espacios intersticiales en el empaque, y pesan aproximadamente la décima parte de lo que pesan los medios minerales convencionales. Esta ligereza en el peso, permite utilizar lechos mucho más profundos, donde las capas inferiores del empaque son capaces

de resistir el peso de la biomasa adherida al empaque con una profundidad del lecho de 7 a 10 m.

Se debe observar, que con estos medios de empaque de peso ligero, el peso de la película de lama sobre el empaque puede ser tres o hasta cuatro veces mayor al peso del empaque seco. La alta fracción de espacios vacíos y los amplios espacios intersticiales permiten aplicar al lecho grandes cargas de nutrientes orgánicos sin correr el riesgo de obstruir el lecho, debido al excesivo crecimiento de la película microbiana.

Previniendo estas circunstancias, la configuración de ciertos tipos de medios de soporte fabricados, está diseñada para aumentar en desprendimiento. Las configuraciones de medios plásticos de soporte son especiales para operar con una alta tasa de carga orgánica y se les conoce comúnmente como medios a alta tasa.

Los costos de inversión de los sistemas de percolación tienden a ser altos, pero el costo de operación tiende a ser bajo debido a que los requerimientos de energía son mínimos, comparados con los costos de tratamiento de los sistemas de lodos activados.

#### Zona de salida

Esta zona cumple varias funciones importantes las cuales son: recibir el efluente del filtro, evacuarlo y garantizar una correcta y homogénea circulación del mismo a través de todo el sistema, así se evitan cortos circuitos o zonas muertas lo que proporcionara una adecuada eficiencia hidráulica. Cuando se presentan este tipo de inconvenientes los tiempos de retención hidráulicos calculados en el diseño serán mayores que los reales, como estos aspectos la zona de salida puede ser a través de una tubería perforada o por medio de un vertedero. Estas dos configuraciones garantizan una recolección homogénea a lo largo del sistema.

Tabla 10. Comparaciones de costos de las alternativas de tratamiento.

Proceso	Costo de instalación	Costo de operación	Costo de inversión
<b>India, pre-factibilidad: 50,000 m<sup>3</sup>/día, 400 mg/l DBO</b>			
Lodos activados con sedimentación primaria	100%	100%	100%
Filtros percoladores con medios de plástico	115%	60%	75%
Filtro percoladores con medios de piedra	105%	65%	75%
Estanques aerados con lagunas de pulimento	190%	55%	95%
Lagunas aerobias	290%	25%	100%
Aereación prolongada con sedimentación secundaria	105%	115%	110%
Zanjas de oxidación con sedimentación secundaria	135%	105%	115%
Canales triples	155%	110%	125%

<b>Tailandia: diseño preliminar de Rangsit</b>			
	Costo de inversión	O&M capitalizados*	Total
Alta tasa de lodo activado convencional	112%	64%	176%
Aereación prolongada de carga ligera	100%	73%	173%
Estanque aereados	109%	45%	154%
*costos de operación y mantenimiento.			

Fuente. India: Chemcontrol, 1991; Tailandia, TISTR, 1994.

El tabla anterior (tabla 10) muestra tres opciones (filtros percoladores con medios de plástico, filtros percoladores con medios de piedra y estanques aereados con lagunas de pulimento) con costos de inversión menores que los del sistema de lodos activados. La alternativa de la laguna aerobia muestra claramente la importancia de diferenciar los costos de instalación y operación. Los costos totales fueron iguales al sistema de lodos activados, pero el costo de instalación y de operación fue 25% menor.

Los filtros percoladores o biológicos pueden ser de tasa baja o alta tasa dependiendo de la carga superficial de trabajo. El filtro percolador consisten un lecho formado por un medio sumamente permeable al que se adhieren los microorganismos y a través del cual se filtra el agua residual. El medio residual consiste generalmente en piedra cuyo tamaño oscila de 2.5 a 10 cm. De diámetro. La profundidad de las piedras varía en cada diseño en particular, generalmente de 0.9 a 2.4 m con una profundidad media de 1.8 m. Existen unos filtros percoladores que utilizan unos medios filtrantes plásticos que se construyen con profundidades de 9 a 12 m. El lecho del filtro circular, el agua residual se distribuye por encima del lecho mediante un rociador giratorio. El lecho rectangular se aplica mediante unas boquillas rociadoras fijas; cada filtro posee un sistema de desagüe inferior para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos que se hallan separados del medio.

- Humedales artificiales

Los humedales, o las áreas donde la vegetación se adapta a la inundación periódica, pueden ser construidos en ubicaciones donde no existen naturalmente; se utilizan en el manejo ambiental de aguas impuras. Los humedales construidos con flujo subterráneo (SSF) son recomendados para el tratamiento de aguas negras ya que se puede obtener un aumento en la eficiencia sobre humedales construidos con flujo en el superficie, además de estar lejos del contacto humano, tener disminución de olores desagradables, y disminución en la proliferación de mosquitos. (Hammer 1989).

Estos sistemas consisten en una cama de grava plantada con vegetación, donde el agua fluye debajo de las superficies de grava, y la cual proporciona nutrientes a las plantas emergentes.

Un humedal artificial es un sistema de tratamiento de agua residual (estanque o cauce) poco profundo, construido por el hombre, en el que se han sembrado plantas acuáticas, y contado con los procesos naturales para tratar el agua residual.

Los humedales artificiales construidos tienen ventajas respecto de los sistemas de tratamiento alternativos, debido a que requieren poca o ninguna energía para operar. Si hay suficiente tierra barata disponible cerca de la instalación de los humedales artificiales de cultivo acuático, puede ser una alternativa de costo efectivo. Los humedales artificiales proporcionan el hábitat para la vida silvestre, y son, estéticamente, agradables a la vista.

#### Funciones de los humedales artificiales

Las actividades humanas han dado y siguen dando origen a varios tipos de humedales de interés para algunas especies vegetales y animales. Las graveras y otro tipo de excavaciones abandonadas, restauradas o poco alteradas, albergan distintos tipos de hábitats (Hammer, D.A. & R.K. Bastian, 1989; Russell, R.C., 1999).

#### *Proceso de remoción físico*

Los humedales artificiales son capaces de proporcionar una alta eficiencia física en la remoción de contaminantes asociado con material particulado. El agua superficial se mueve muy lentamente a través de los humedales artificiales, debido al flujo laminar característico y la resistencia proporcionada por las raíces y las plantas flotantes. La sedimentación de los sólidos suspendidos se promueve por la baja velocidad de flujo y por el hecho de que el flujo es con frecuencia laminar en los humedales artificiales. Las esteras de plantas en los humedales artificiales pueden servir como trampas de sedimentos, pero su rol primario es la remoción de sólidos suspendidos para limitar la resuspensión de material particulado.

La eficiencia de remoción de sólidos suspendidos es proporcional a la velocidad de particulado fijo y la longitud del humedal artificial. Para propósitos prácticos, la sedimentación es usualmente considerada como un proceso irreversible, resultando en acumulación de sólidos y contaminantes asociados sobre la superficie del suelo del humedal artificial. Sin embargo, la resuspensión de sedimento puede resultar en la exportación de sólidos suspendidos y reducir algo más bajo la eficiencia de remoción. Algo de resuspensión podría ocurrir durante periodos de velocidad de flujo alta en el humedal artificial. Más comúnmente la resuspensión es el resultado de la turbulencia de la dirección del viento, bioturbación (perturbación por animales y humanos) y desprendimiento de gas. El desprendimiento de gas resulta a partir de gases como el oxígeno, a partir de la fotosíntesis del agua, metano y dióxido de carbono, producido por los microorganismos en el sedimento durante la descomposición de la materia orgánica (Benefield, L.D. and C.W. Randall, 1980).

#### *Proceso de remoción biológico*

La remoción biológica es quizá el camino más importante para la remoción de contaminantes en los humedales artificiales. Extensamente reconocido para la remoción de contaminantes en los humedales artificiales es la captación de la planta. Los contaminantes que son también formas de nutrientes esenciales para las plantas, tales como nitrato, amonio y fosfato, son tomados fácilmente por las plantas del humedal artificial. Sin embargo, muchas especies de plantas del humedal artificial son capaces de captar, e incluso acumular significativamente metales tóxicos, como cadmio y plomo. La velocidad de remoción de contaminante por las plantas varía extensamente, dependiendo de la velocidad de crecimiento de la planta y de la concentración del contaminante en tejido de planta. Las plantas leñosas, es decir, árboles y arbustos, proporcionan un almacenamiento a largo plazo de contaminantes, comparado con las plantas herbáceas. Sin embargo, la velocidad de captación de la contaminante unidad de área de tierra es, a menudo, mucho más alta para las plantas herbáceas, o los macrophytes, tales como cattail. Las algas pueden también proporcionar una cantidad significativa de nutrientes captados, pero son más susceptibles a los efectos tóxicos de metales pesados.

El almacenaje de alimentos en algas es relativamente a corto plazo, debido al rápido ciclo de rotación (corto ciclo de vida) de algas. Las bacterias y otros microorganismos en el suelo también proveen, captan y almacenan nutrientes a corto plazo, y algunos otros contaminantes. En los humedales artificiales, el material de la planta muerta, conocido como detritus o basura, se acumula en la superficie del suelo. Algunos de los nutrientes, metales u otros elementos eliminados previamente del agua por captación de la planta son pérdidas del detritus de la planta por la lixiviación y descomposición, y reciclados nuevamente dentro del agua y del suelo. La lixiviación de contaminantes solubles en agua puede ocurrir rápidamente en la muerte de la planta o del tejido de planta, mientras que una pérdida más gradual de contaminantes ocurre durante la descomposición del detritus por las bacterias y otros organismos.

En la mayoría de los humedales artificiales, hay una acumulación significativa del detritus de la planta, porque la velocidad de descomposición disminuye substancialmente bajo condiciones anaerobias que prevalecen, generalmente, en suelo del humedal artificial. Si, sobre un período extenso de tiempo, la velocidad de descomposición de la materia orgánica es más baja que la velocidad de deposición de la materia orgánica en el suelo, la formación de turba ocurre en el humedal artificial. De esta manera, algunos de los contaminantes captados originalmente por las plantas se pueden atrapar y almacenar como turba. La turba se puede acumular a grandes profundidades en los humedales artificiales, y puede proporcionar el almacenamiento de larga duración para los contaminantes. Sin embargo, la turba es también susceptible a la descomposición si el humedal artificial se drena. Cuando sucede eso, los contaminantes incorporados en la turba se pueden liberar y/o reciclar o limpiar con un chorro de agua del humedal artificial.



Aunque los microorganismos pueden proporcionar una cantidad medible de contaminante captado y almacenado en sus procesos metabólicos, que desempeñan el papel más significativo en la remoción de compuestos orgánicos.

Los descompuestos microbianos, sobre todo bacterias del suelo, utilizan el carbono (C) de la materia orgánica como fuente de energía, convirtiéndola a gases de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) o metano (CH<sub>4</sub>). Esto proporciona un mecanismo biológico importante para la remoción de una amplia variedad de compuestos orgánicos, incluyendo éstos encontrados en aguas residuales municipales, aguas residuales de procesamiento de alimentos, plaguicidas y productos de petróleo. La eficiencia y la velocidad de degradación orgánica de C por los microorganismos es altamente variable para los diversos tipos de compuestos orgánicos. El metabolismo microbiano también produce la remoción de nitrógeno inorgánico, es decir, nitrato y amonio, en los humedales artificiales. Bacterias especializadas (*pseudomonas* sp.) transforman metabólicamente el nitrato en gas nitrógeno (N<sub>2</sub>), un proceso conocido como desnitrificación. El N<sub>2</sub> se pierde posteriormente a la atmósfera (Benefield, L.D. and C.W. Randall, 1980).

#### *Proceso de remoción químico*

El proceso químico más importante de la remoción de suelos del humedal artificial es la absorción, que da lugar a la retención a corto plazo o a la inmovilización a largo plazo de varias clases de contaminantes.

La absorción es un término ampliamente definido para la transferencia de los iones (moléculas con cargas positivas o negativas) a partir de la fase de la solución (agua) a la fase sólida (suelo). La absorción describe realmente un grupo de procesos, que incluye reacciones de adsorción y de precipitación. La adsorción se refiere a la unión de iones a las partículas del suelo, por intercambio catiónico o absorción química. El intercambio catiónico implica la unión física de los cationes (iones positivamente cargados) a las superficies de las partículas de la arcilla y de la materia orgánica en el suelo. Esto es una unión mucho más débil que la unión química, por lo tanto, los cationes no se inmovilizan permanentemente en el suelo. Muchos componentes de las aguas residuales y de escurrimiento existen como cationes, incluyendo el amonio (NH) y la mayoría de trazas de metales, tales como cobre (Cu<sub>4</sub>+).

La capacidad de los suelos para la retención de cationes, expresada como capacidad de intercambio catiónico (CEC), aumenta generalmente con el aumento de contenido de la arcilla y de la materia orgánica. La absorción química representa una forma más fuerte y más permanente de vinculación que el intercambio catiónico. Un número de metales y de compuestos orgánicos se puede inmovilizar en el suelo vía la absorción química de las arcillas, y los óxidos de hierro (Fe) y aluminio (Al), y materia orgánica. El fosfato también puede unirse con la arcilla y los óxidos de Fe y Al a través de la absorción química. El fosfato puede también precipitarse con los óxidos de hierro y aluminio para formar un nuevo mineral compuesto (fosfatos de Fe y Al), que son potencialmente muy estables en el suelo,

produciendo el almacenamiento de fósforo a largo plazo. Otra reacción importante de precipitación que ocurre en los suelos de humedales artificiales es la formación de sulfuros de metales. Tales compuestos son altamente insolubles y representan los medios eficaces para inmovilizar muchos metales tóxicos en humedales artificiales.

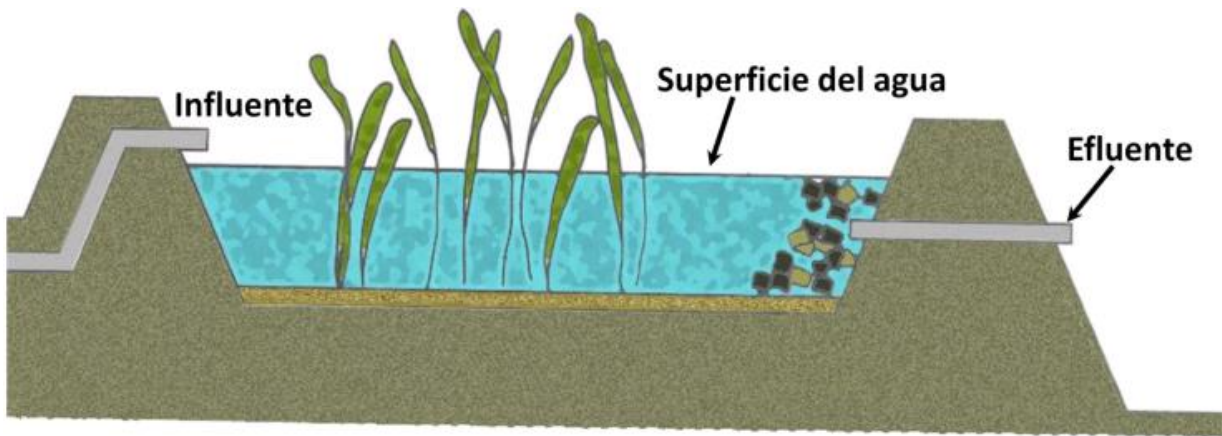
La volatilización, que implica la difusión de un compuesto disuelto desde el agua en la atmósfera, es otro mecanismo potencial de la remoción del contaminante en los humedales artificiales. La volatilización del amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) puede dar lugar a la remoción significativa de nitrógeno, si el pH del agua es alto (mayor que 8.5). Sin embargo, a pH más bajo cerca de 8.5, el nitrógeno del amoníaco existe casi exclusivamente en forma ionizada (amonio,  $\text{NH}_4^+$ ), que no es volátil. Muchos tipos de compuestos orgánicos son volátiles, y se pierden fácilmente a la atmósfera desde los humedales artificiales y de otras aguas superficiales. Aunque la volatilización puede remover con eficacia ciertos contaminantes del agua, puede demostrar ser indeseable en algunos casos, debido al potencial para contaminar el aire con los mismos contaminantes (Benefield, L.D. & C.W. Randall, 1980).

#### Tipos de humedales artificiales

- Sistema de agua superficial libre o superficial (SASL)

Estos sistemas consisten típicamente de estanques o canales, con alguna clase de barrera subterránea para prevenir la filtración, suelo u otro medio conveniente a fin de soportar la vegetación emergente, y agua en una profundidad relativamente baja (0.1 a 0.6 m) que atraviesa la unidad. La profundidad baja del agua, la velocidad baja del flujo, y la presencia de tallos de planta y basura regulan el flujo del agua. Se aplica agua residual pretratada estos sistemas, y el tratamiento ocurre cuando el flujo de agua atraviesa lentamente el tallo y la raíz de la vegetación emergente (ver Figura 7).

**Figura 7.** Sistema de Agua Superficial libre (HAFL).

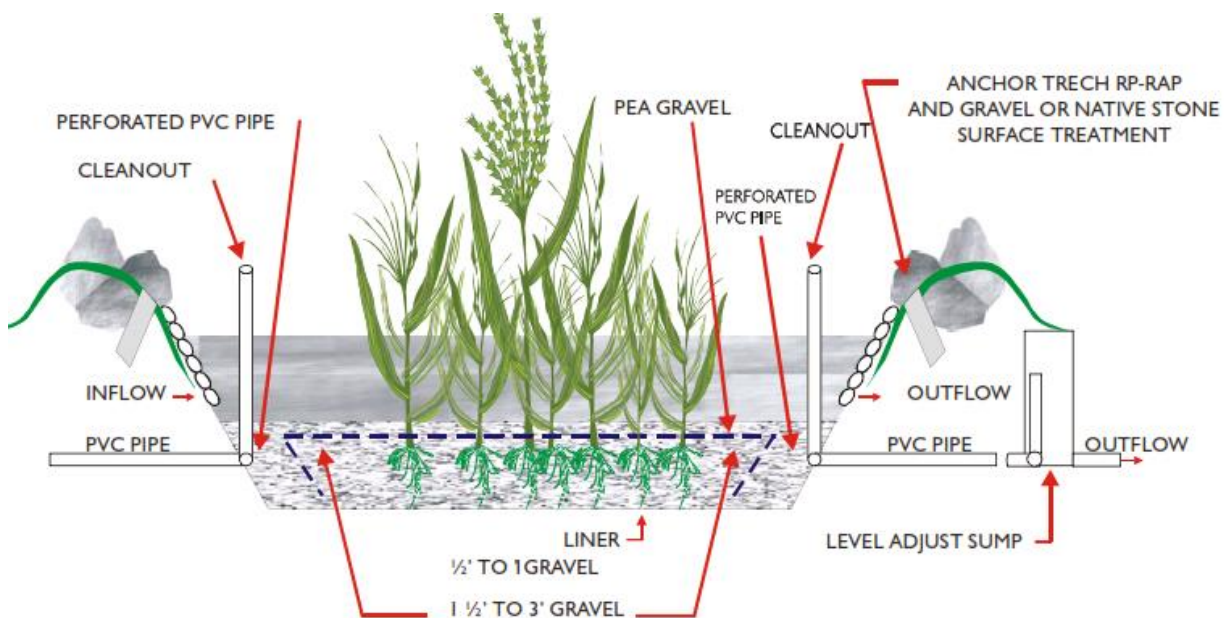


Fuente. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales, 2006.

- Sistemas de flujo bajo la superficie o subsuperficial (SFBS)

Estos sistemas son similares a los filtros horizontales por goteo en las plantas de tratamiento convencionales. Se caracterizan por el crecimiento de plantas emergentes usando el suelo, grava o piedras como sustrato de crecimiento en el lecho del canal. Dentro del lecho los microbios facultativos atacan al medio y las raíces de las plantas, contactando de este modo el agua residual que fluye horizontalmente a través del lecho; mientras que el sobrante baja a la superficie del medio (Kadlec et al., 1993). Estos sistemas de flujo bajo superficie son diseñados con el propósito de obtener niveles de tratamiento secundarios, son llamados «la zona de raíces» o «filtros de piedras de junco y caña» desarrollado en Alemania Oriental (ver Figura 5).

**Figura 8.** Sistemas de flujo bajo la superficie (HAFSS).



Fuente. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales, 2006.

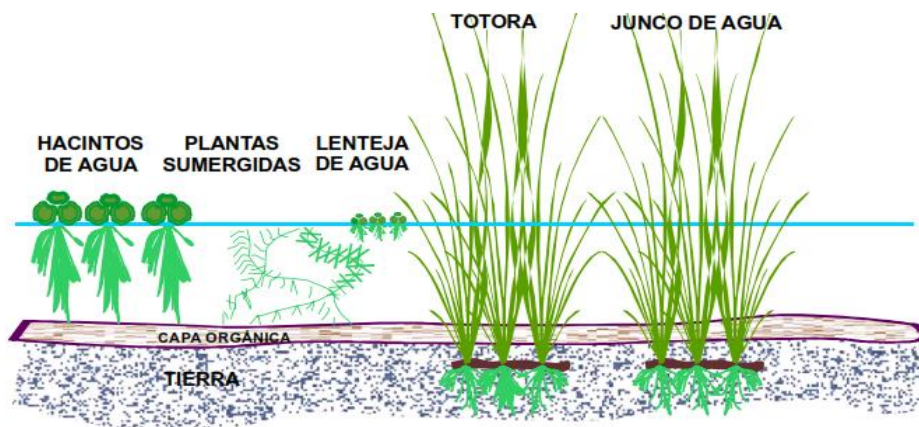
- Plantas acuáticas en el tratamiento de aguas residuales

Los sistemas de plantas acuáticas están en los estanques poco profundos como plantas acuáticas flotantes o sumergidas. Los sistemas más completamente estudiados son aquellos que usan el jacinto de agua o lenteja de agua. Estos sistemas incluyen dos tipos basados en tipos de plantas dominantes. El primer tipo usa plantas flotantes y se distingue por la habilidad de estas plantas para derivar el dióxido de carbono y las necesidades de oxígeno de la atmósfera directamente. Las plantas reciben sus nutrientes minerales desde el agua. El segundo tipo de sistema consiste en plantas sumergidas, se distingue por la habilidad de estas plantas para absorber oxígeno, dióxido de carbono, y minerales de la columna de agua. Las plantas sumergidas se inhiben fácilmente por la turbiedad alta en el agua porque sus partes fotosintéticas están debajo del agua.

A continuación las funciones de las plantas en sistemas de tratamiento acuático.

- |  |  |
|--|--|
| Raíces y/o tallos en la columna de agua.       | <ul style="list-style-type: none"><li>1.- Superficie sobre la cual la bacteria crece.</li><li>2.- Medio de filtración y absorción de sólidos.</li></ul>  |
| Tallos y/o hojas sobre la superficie del agua. | <ul style="list-style-type: none"><li>1.- Atenúan la luz del sol y así previenen el crecimiento de algas.</li><li>2.- Reducen los efectos del viento en el agua. Es decir, transferencia de gases entre la atmósfera y el agua.</li><li>3.- Importante en la transferencia de gases para y desde las partes sumergidas de la planta.</li></ul> |

Figura 9. Plantas acuáticas utilizadas para depurar el AR.



Fuente. Adaptado de Tchobanoglous, G. Aquatic plant systems for wastewater treatment, 1996.

Tabla 11. Procesos que contribuyen a la depuración de las aguas residuales en SPA: sistemas de plantas acuáticas, HFS: humedales de flujos superficial, HFSS: humedales de flujo subsuperficial y HFV: humedales con flujo vertical.

Contaminante	SPA	HFS	HFSS	HFV
<b>Materia orgánica</b>	Conversión biológica por intervención de las bacterias aerobias facultativas y anaerobias adheridas a las superficies de las plantas y a los detritos.	Reducción de la DBO soluble por conversión biológica por efecto de bacterias aeróbicas que crecen en la superficie de las plantas y sobre los detritos. La DBO particulada se elimina por absorción, filtración y sedimentación.	Reducción por conversión biológica por intervención de bacterias facultativas y anaeróbicas adheridas a las superficies de las plantas y los detritos del medio de relleno del humedal.	Reducción por conversión biológica por medio de bacterias facultativas y anaeróbicas adheridas a las superficies de las plantas y detritos.
<b>Materia en suspensión</b>	Sedimentación	Filtración y sedimentación	Filtración y sedimentación	Filtración
<b>Nitrógeno</b>	Procesos de nitrificación/desnitrificación	Procesos de nitrificación/desnitrificación, asimilación por las plantas y volatilización.	Nitrificación/desnitrificación, asimilación por las plantas y volatilización	Nitrificación/desnitrificación, asimilación por las plantas y volatilización
<b>Fosforo</b>	Reducción por precipitación y por asimilación por plantas y microorganismos	Reducción por sedimentación y por asimilación por medio de las plantas y microorganismos.	Por filtración, sedimentación, absorción, por asimilación por parte de las plantas y microorganismos	Filtración, sedimentación, absorción y asimilación por las plantas
<b>Metales pesados</b>	Sedimentación por absorción por plantas	Absorción a las plantas, superficie de detritos y por sedimentación.	Absorción a las raíces de las plantas y los detritos, sedimentación	Absorción a las raíces de las plantas, sedimentación y filtración

<b>Trazas de contaminantes orgánicos</b>	Volatilización, adsorción y biodegradación	Volatilización, adsorción y biodegradación	Absorción, biodegradación	Volatilización, adsorción, biodegradación.
<b>Patógenos</b>	Muerte natural, radiación UV, depredación por otros organismos	Muerte natural, depredación, radiación UV, sedimentación, secreción de antibióticos de las raíces de las plantas	Por muerte natural, por depredación, secreción de antibióticos desde las raíces de las plantas.	Por muerte natural, por depredación, secreción de antibióticos desde las raíces de las plantas.

Fuente. Crites & Tchobanoglous, 1998.

### 1.8.3 Tratamiento terciario

- Cloración

Cloración es el proceso de desinfección de aguas residuales más comúnmente usado. El proceso incluye la adición de cloro o hipoclorito al agua residual. Cuando se usa cloro, este se combina con agua para formar ácido hipocloroso (HOCl) y ácido clorhídrico (HCl). El ácido hipocloroso es el desinfectante primario en el agua. En aguas residuales, el desinfectante primario son las especies de monocloroaminas; Por lo tanto, la tendencia del ácido hipocloroso para disociarse a ácido hipoclorito debe evitarse manteniendo un pH menor de 7.5 (CONAGUA, 2007).

La demanda de cloro se determina mediante la diferencia entre el cloro suministrado y la concentración del cloro residual medido después de un tiempo de la aplicación del cloro, usualmente de 15 a 30 minutos. El tanque de contacto de cloro cuenta con baffles para tener buen mezclado y evitar los cortos circuitos (CONAGUA, 2007).

La cloración usada en desinfección tiene el objetivo de prevenir la proliferación de enfermedades y el control de crecimientos de algas y producción de olores.

### 1.8.4 Tratamiento de lodos

- Digestión anaerobia de lodos

La digestión anaerobia consiste en la degradación biológica de sustancias orgánicas complejas, en ausencia de oxígeno libre. Durante el desarrollo de estas reacciones se libera energía, y gran parte de la materia orgánica es transformada en metano, bióxido de carbono y agua. Como quedan disponibles poco carbono y energía, para sostener la continuación de la actividad biológica, los sólidos restantes son estabilizados.

El proceso anaerobio es controlado básicamente por las bacterias metanogénicas debido a su lento crecimiento y sensibilidad a cambios ambientales. Por consiguiente, todo diseño

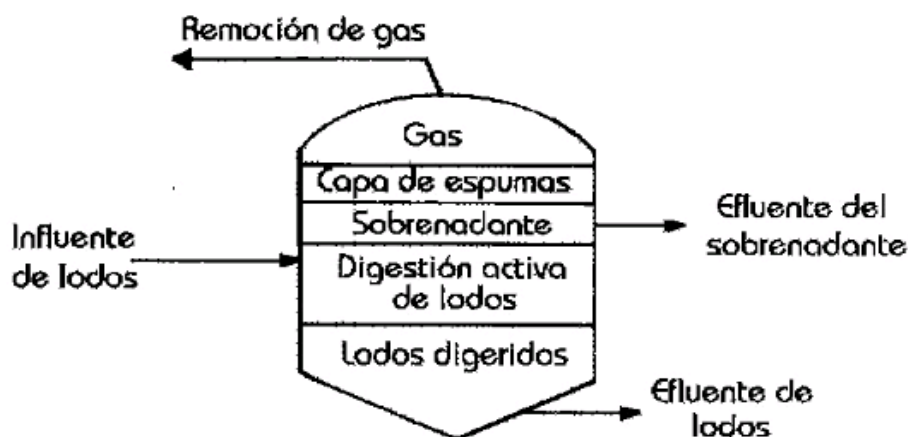
exitoso deberá estar basado en las características especiales limitantes de estos microorganismos.

**Digestión Convencional:** La digestión convencional se lleva a cabo en procesos de un paso o de dos pasos. El lodo es calentado normalmente dentro del tanque o con intercambiadores de calor localizados fuera de los tanques. En el proceso de un solo paso, la digestión, el espesamiento y la formación de material flotante se llevan a cabo separadamente dentro del tanque. Operacionalmente, el lodo crudo se alimenta en la zona de digestión activa y el gas producido se remueve del tanque por la parte superior.

Mientras el gas sube a la superficie, éste eleva consigo partículas de lodos y otros materiales, tales como grasas y aceites, formando una capa de natas. Como resultado de la digestión, el lodo se mineraliza (aumentando el porcentaje de lodos fijos), y por gravedad éste se espesa; lo que causa la formación de una capa de material flotante sobre la zona de digestión de lodo.

El volumen del tanque se utiliza únicamente a un 50% debido a la estratificación y falta de mezcla. Por lo anterior, la digestión convencional se lleva a cabo en un proceso de dos pasos. En el proceso de dos pasos, el primer tanque se usa para la digestión; es calentado y equipado con unidades mezcladoras. El segundo tanque se usa para el almacenamiento y concentración del lodo digerido y para la formación de un sobrenadante relativamente claro. En algunos casos la segunda unidad puede ser un tanque abierto o una laguna de lodos.

Figura.10 Diagrama de las características de este proceso.



Fuente. Guía para el manejo, tratamiento y disposición de lodos residuales de plantas de tratamiento municipales, 2007.

- Composteo de lodos

El composteo de lodos puede ser definido como la descomposición biológica de sólidos orgánicos a un producto final relativamente estable (abono). El contenido de humedad es normalmente de 40% a 70%. La descomposición aeróbica tiene lugar en el rango termofílico, arriba de 113°F (45°C) y, generalmente, hasta 140°F (60°C). Las temperaturas pico se aproximan a los 194°F (90°C). El proceso es de oxidación y termogénico. Los principales productos de la descomposición son humus, dióxido de carbono, y agua. Aunque cada técnica de composteo de lodos es única, el proceso fundamental es similar. El proceso es el siguiente:

- Al lodo se añade, si se requiere, agentes de abultamiento (tierra, aserrín o virutas de madera, abono no utilizado o de recirculación) para el control de la porosidad y la humedad.
- Se logra una temperatura en el rango de 130° a 150°F (55° a 65°C) para asurar la destrucción de organismos patógenos y prevenir la evaporación, lo que reduce el contenido de humedad. El abono es almacenado por períodos extensos de tiempo después de la operación primaria de composteo, para estabilizar aún más la mezcla a temperaturas menores.
- Si el abono es muy húmedo, después del curado, puede requerirse de un secado adicional con aire, para el proceso posterior.
- Si han de rehusares los agentes de abultamiento, sé requerirá de una operación por separado (CONAGUA, 2007).

El composteo representa una actividad combinada de poblaciones mezcladas de bacterias, actynomicetos, y hongos asociados con el medio ambiente. Los principales factores que afectan el proceso de composteo son humedad, temperatura, pH, concentración de nutrientes, y disponibilidad y concentración de suministro de oxígeno. El proceso se lleva a cabo en montículos, en pilas o hileras en la superficie de terreno a la intemperie (CONAGUA, 2007).

Composteo de Lodos en Montículos en Hileras: Los pasos secuenciales involucrados en este proceso son preparación, composteo, curado y terminado del producto (CONAGUA, 2007).

Preparación: El lodo deberá tener por lo menos una estructura mínima porosa y un contenido de humedad de 45% a 65%; por lo tanto, una masa de lodos, normalmente con un contenido de sólidos de 20 por ciento, no puede ser procesada por si sola y deberá combinarse con un agente de abultamiento. El lodo es así preparado y puesto en montículos (CONAGUA, 2007).



Composteo: El período de composteo se caracteriza por una descomposición rápida. Se suministra aire periódicamente. La reacción es exotérmica, y el lodo alcanza temperaturas de 140° a 160°F (60° a 71°C) o mayores. La muerte de organismos patógenos, inactivación de larvas de insectos y semillas es posible a estas temperaturas. El período de digestión es normalmente de aproximadamente seis semanas (CONAGUA, 2007).

Curado: Este se caracteriza por la disminución de la tasa de descomposición. La temperatura baja a la del ambiente, y el proceso se concluye. El período de esta etapa es de aproximadamente dos semanas (CONAGUA, 2007).

Terminado: Si se han incluido fracciones de sólidos municipales, conteniendo residuos no digeribles, o si el agente de abultamiento ha de ser separado y recirculado, se necesita de un proceso de remoción o cribado. El abono puede ser pulverizado, si se desea (CONAGUA, 2007).

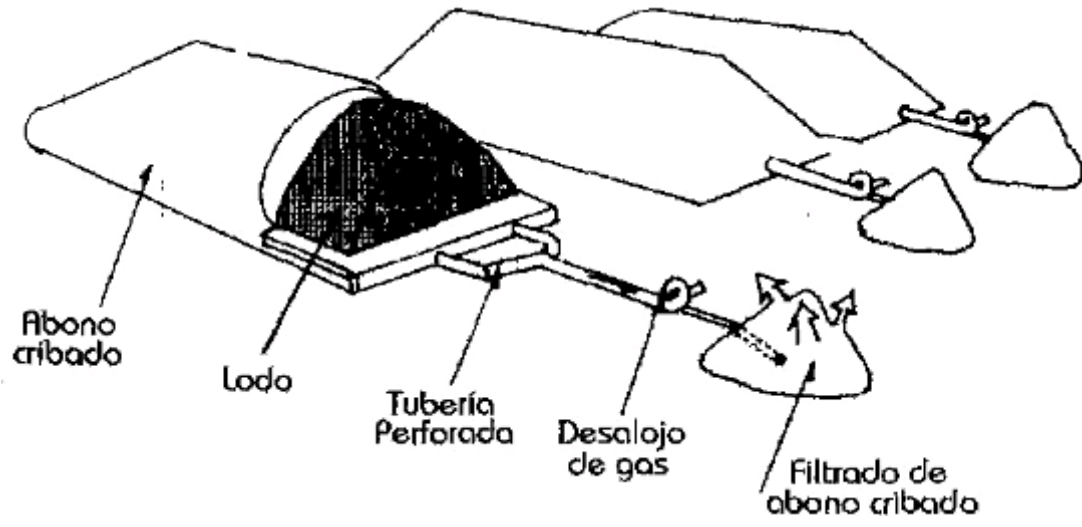
Composteo de Lodos en Montículos en Pilas: Los lodos de aguas residuales pueden ser convertidos en abono, en aproximadamente ocho semanas, con este proceso que incluye cuatro pasos; preparación, digestión, secado y cribado, y curado (CONAGUA, 2007).

Preparación: El lodo se tratará de igual manera que en el proceso anterior, se construyen las pilas de la mezcla sobre tubería porosa, por la cual el aire es inyectado. Las pilas se cubren para aislarlas (CONAGUA, 2007).

Digestión: Las pilas aireadas pasan por un período de descomposición por organismos termofílicos cuya actividad eleva la temperatura a 140°F (60°C) o mayor. Las condiciones de composteo aeróbicas se mantienen inyectando aire a una tasa predeterminada. El flujo de aire del efluente es conducido a unos pequeños montículos de abono curado y cribado, donde los gases olorosos son absorbidos efectivamente. Después de aproximadamente 21 días, la tasa de descomposición y la temperatura disminuyen, se remueve la tapa y la mezcla resultante es secada o curada, dependiendo de las condiciones ambientales (CONAGUA, 2007).

Curado: El abono se almacena por aproximadamente 30 días para asegurar que se pierda todo olor ofensivo y completar la estabilización. Así queda listo el abono para su utilización (CONAGUA, 2007).

Figura 11. Composteo de lodos.



Fuente. CONAGUA, 2007.

## CAPÍTULO 2

### ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO

#### 2.1. Ubicación geográfica.

El municipio de Cintalapa se encuentra en el extremo occidental del Estado, sus coordenadas geográficas son 16° 39' N y 93° 44' W su altitud es de 540 m s. n. m. Limita al norte, con el municipio de [Tecpatán](#), al oeste con [Belisario Domínguez](#) y el estado mexicano de Oaxaca, al este con [Jiquipilas](#) y [Ocozocoautla de Espinosa](#) y al sur con [Arriaga](#).

El municipio cuenta con una extensión territorial de 2,404.6 km<sup>2</sup> que representa el 19% del territorio de la región Centro y el 3.18% de la superficie estatal.

Figura 12. Cabecera municipal Cintalapa de Figueroa, Chiapas.



#### 2.2. Características físicas

##### 2.2.1. Orografía

De la Sierra Madre de Chiapas se desprenden dos contrafuertes en el lugar llamado "La Jineta", uno se dirige al noroeste y termina en los márgenes del río Grijalva, en el Cañón del Sumidero; teniendo como alturas principales las de Chilillo, Nanchital y Mono Pelado. El

otro se dirige hacia el norte hasta terminar frente a Pichucalco, los levantamientos de este contrafuerte se denominan Cinco Cerros, Tierra Blanca, La Colmena, Tsutsiaquioxmó (este con 1715 metros de altura), La Niebla, Chichonal (volcán), Ixtapangajoya y el Chiquihuite.

- Mesetas. Desde el punto de vista de la altura, se encuentran tres mesetas en Chiapas. Una de las tres mesetas la forman Comitán, la frailesca, Cintalapa y Cuxtepec, con una altura media de 600 metros sobre el nivel del mar; aclarando que el Municipio de Cintalapa está constituido por un pequeño Valle y la mayor parte es montañoso, perteneciente a la Sierra Madre de Chiapas.
- Depresión Central. El municipio de Cintalapa está comprendido dentro de la zona de una Depresión Central, Berriozábal, San Fernando, [Tuxtla Gutiérrez](#), Suchiapa, Villaflores, Villa Corzo, Jacaltenango, Chiapa de Corzo, Acala Venustiano Carranza, Socoltenango, La Concordia, Chicomuselo, Comalapa y Trinitaria.

El 70% de la superficie del municipio es plana y el resto está formado por zonas semiplanas.

#### 2.2.2. *Hidrografía*

Los principales ríos que hay en el municipio son: Cintalapa, Negro y La Venta; otras corrientes son los arroyos: Cubelete, San Miguel, Tenochtitlan, La Providencia, Macuilapa, Jardín, Cuajilote, San Mateo y Cárdenas.

#### 2.2.3. *Flora*

Con respecto a la flora encontramos maderas finas y de variadas especies que se encuentran en las montañas de pozo colorado, entre las que figuran las siguientes: caoba, cedro, guapinol, hormiguillo, madre cacao, bálsamo cascarillo, granadillo, guayacam, liquidámbar, guayabillo, Zapotillo, guanacastle. Por otro lado en las partes altas y frescas se producen los encinos y todas las especies de pino, que actualmente es aprovechada por 6 centros madereros. En las lomas y llanuras se produce el Brasil, tepézcohite, pompo flor, cuaulote y espino. Sin faltar en las lomas Coloradas: las espadañas, magueyes, nopales y biznagas; en los márgenes de sus arroyos y ríos: sauces, amates, mangos, guamúchil y huisaches. También en Cintalapa existe una gran variedad de plantas de Ornato como son: tulipán, geranios, jazmín, lirios, rosas, margaritas y la flor de noche buena.

#### 2.2.4. *Fauna*

### 2.3. *Clima*

El clima predominante es semicálido subhúmedo, en la cabecera municipal la temperatura media anual es de 24.5 °C con una precipitación pluvial de 800 milímetros anuales.

#### 2.4. Aspectos Socioeconómicos

Según datos del Censo Económico 2020, los sectores económicos que concentraron más unidades económicas en Cintalapa fueron Comercio al por Menor (1,636 unidades), Industrias Manufactureras (556 unidades) y Servicios de Alojamiento Temporal y de Preparación de Alimentos y Bebidas. (INEGI 2020)

##### 2.4.1. Población

La población total de Cintalapa en 2020 fue 88,106 habitantes, siendo 50.4% mujeres y 49.6% hombres.

Los rangos de edad que concentraron mayor población fueron 5 a 9 años (8,877 habitantes), 10 a 14 años (8,583 habitantes) y 0 a 4 años (8,416 habitantes). Entre ellos concentraron el 29.4% de la población total. ( INEGI 2020)

##### 2.4.2. Vivienda

Existe un total de 10,052 viviendas habitadas con un promedio de ocupación de 4.15 habitantes por vivienda, distribuidas en la ciudad con distintas tipologías: residencial, medio, institucional, popular de autoconstrucción, tradicional y precaria.

En la medida en que nos alejamos del centro urbano hacia las zonas periféricas, son más frecuentes las nuevas viviendas populares de autoconstrucción, ubicándose la vivienda precaria al final de la periferia urbana. En la actualidad existe un déficit de 663 viviendas, determinándose las necesidades a futuro en 1,435, 3,000 y 6,334 viviendas, para los años 2012, 2018 y 2030, respectivamente.(PDUC)

##### 2.4.3. Servicios públicos

AGUA POTABLE. Las principales fuentes de abastecimiento de agua potable son las galerías filtrantes y los pozos semiprofundos que ya son insuficientes para dotar a la población.

Actualmente se tiene un déficit de 35.78 lps. Para el horizonte 2030 se estima un gasto máximo horario de 292.40 lps. Ello implicaría la necesidad de contar con nuevas fuentes para atender las necesidades futuras de la población. No obstante, con el debido mantenimiento de las fuentes de abastecimiento, equipos de bombeo, líneas de

conducción, tanques de regularización, red de distribución y tomas domiciliarias, se podría hacer más eficiente el sistema y disminuir las pérdidas, lo cual nos llevaría a garantizar el suministro de la demanda media de la población a largo plazo.

Las colonias que cuentan con el servicio de agua potable son 30 (58.82%), con una longitud de tubería instalada de 141,728.94 m (80.24%) y las colonias donde no se cuenta con el servicio son 21 (41.18%) con una longitud de tubería por instalar de 34,907.84 m (19.76%), esto nos indica que existe un déficit en la cobertura de este servicio, fundamentalmente en la periferia urbana, donde el servicio se obtiene de manera no apropiada (a través de mangueras conectadas a la red). (PDUC).

**ALCANTARILLADO SANITARIO.** El servicio de alcantarillado sanitario es deficiente, debido a que desde su construcción no se le ha dado mantenimiento, provocando que existan tuberías y pozos de visita dañados y azolvados. La longitud estimada de la red es de 138,446.46 m (78.38%), en tubería de concreto simple, faltando por instalar 38,190.32 m (21.62%). Igual que con el agua potable, el servicio es inexistente en la periferia urbana. En la actualidad no se cuenta con un sistema de saneamiento que permita dar un tratamiento previo a las aguas antes de ser vertidas al río Cintalapa, provocando problemas de salud y contaminación del medio ambiente.

**PAVIMENTACIÓN.** El 30.01% es de concreto hidráulico, el 4.79% es carpeta asfáltica, el 0.20% es adoquinado, el 0.19% es mixto (piedra y rodada en concreto hidráulico), el 64.81% está sin pavimentar.

**ELECTRICIDAD Y ALUMBRADO.** La red de distribución de electricidad es de tipo aéreo, a base de postes de concreto armado y en algunos casos todavía se utilizan de postes de madera, teniendo una cobertura del 90% de la mancha urbana, con excepción de algunas colonias de la periferia urbana, que por su escasa densidad habitacional y condición de irregular, no cumplen con los requisitos para contar formalmente con este servicio.

**LA TELEFONÍA** es un servicio privado, brindado por parte de la empresa Teléfonos de México, éste se extiende en todas las colonias del centro cubriendo el 80% de la ciudad, solamente en las zonas de la periferia no se cuenta con el servicio.

## CAPITULO 3

### METODOLOGÍA

#### 3.1. Cuantificación de la población actual

Proyectar la generación de las aguas residuales a 20 años, requerimos el crecimiento de población en la cabecera municipal de Cintalapa de Figueroa, por 20 años 2020 al 2040.

Proyección de la población en 20 años.

Año	Población
2020	88,106 habitantes
2040	88,978 habitantes

#### 3.2. Caracterización de los líquidos residuales

La optimización del diseño del sistema para tratamiento del agua residual, independientemente de los procesos como tales, requirieron del conocimiento real de la cantidad y composición de los líquidos residuales que se generan.

La caracterización de los líquidos residuales se llevó a cabo con un programa de muestreo, el cual tuvo como objetivo determinar los gastos del líquido residual descargado, sus variaciones y las características físico-químicas del agua residual.

El cronograma para la toma de muestras se desarrolló con base en 5 muestreos realizados en los periodos de estiaje y de lluvias, respectivamente (según **NMX-AA-003-1980**). Para la planificación y caracterización del líquido residual se examinó el sitio de captación, los muestreos, toma de muestras, los análisis en sitio y laboratorio.

La cantidad de cinco muestreos, se empleó para obtener resultados precisos y observar el comportamiento de los contaminantes en el agua residual, durante el tiempo en que se realizó la caracterización.

##### 3.2.1. Delimitación del sitio de captación

Para la recolección de las muestras del agua residual se harán en dos puntos principales; la descarga De la candelaria (Figura 14) y la descarga El centro (Figura 15).

Figura 14. Descarga De la candelaria, Cintalapa de Figueroa, Chiapas.



Fuente. Campo.

Figura 15. Descarga del Centro, Cintalapa de Figueroa, Chiapas



Fuente. Campo.



### 3.2.2. Muestreos y toma de muestras

Se llenaron dos muestras en cada descarga (De la candelaria y Del centro), que en total fueron 4 muestras analizadas para la obtención de datos precisos, las muestras fueron simples, La que se tomaron en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que reflejó cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición.

Las tomas de las muestras se realizaron según la norma mexicana NMX-AA-003-1980. Que establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas, debiéndose observar las modalidades indicadas en las normas de métodos de prueba correspondientes.

Tabla 18 . Fechas de muestreos en las descargar de AR de Cintalapa de Figueroa, 2012.

Actividad	Fecha de muestro
Muestreo 1	07 de mayo
Muestreo 2	23 de mayo
Muestreo 3	04 de junio
Muestreo 4	21 de junio
Muestreo 5	13 de julio

Fuente: campo.

Las muestras de agua fueron recolectadas en los recipientes siguientes:

- Dos garrafas de 4 litros utilizando la técnica del triple lavado según norma, para los análisis de Dióxido de Carbono, Dureza, Nitratos, Fosfatos, Alcalinidad, Sólidos Sedimentables (SSD), Sólidos Totales (ST), Sólidos Volátiles Totales (SVT), Sólidos Fijos Totales (SFT), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) y Sólidos Suspendidos Fijos (SSF), Demanda Química de Oxígeno (DQO). Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).
- 2 bolsas estériles marca NASCO WHIRL-PAK de 0.25 litros para los análisis de coliformes fecales y totales.

Una vez tomadas las muestras representativas, se siguió una cadena de custodia para los muestreos, para asegurar la integridad de la muestra, desde su recolección hasta el reporte de datos. Esta cadena de custodia llevó los siguientes datos:

- Rótulos de muestras. En donde se incluyó la siguiente información: Número de la muestra, Nombre del colector, Fecha y hora del muestreo.
- Sellos de muestras.
- Registro de la carta de custodia. Esta incluyó la siguiente información: Número de la muestra, Nombre y firma del responsable del muestreo, Fecha, hora y dirección del sitio de muestreo, Tipo de muestra, Fecha de envío al laboratorio y recepción, Forma de envío, y Firmas de las personas involucradas en el manejo de la muestra, incluida la fecha de su manipulación.
- Hoja de remisión de muestras.
- Transporte de las muestras al laboratorio. Las muestras se transportaron en una hielera a una temperatura de 4 °C al laboratorio, lo más pronto posible (en un lapso de tiempo de 5 horas).
- Recepción y registro de muestras. En el laboratorio recibieron las muestras e inspeccionaron sus condiciones de seguridad.

A continuación se citan en la tabla 19 los ejemplos para el manejo de preservación y almacenamiento de las muestras.

Tabla 19. Preservación de muestras.

Determinación	Recipiente	Tamaño min. de la muestra (ml)	Preservación	Almacenamiento máx. recomendado/regulatorio
DBO	P, V, B	1000	refrigerar	6 h /48 h
DQO	P, V	100	Analizar pronto o refrigerar adicionando H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> < 2 pH	7 días / 28 días
Conductividad	P, V	500	refrigerar	28 días /28 días
Dureza	P, V	100	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> < 2 pH	6 meses/ 6 meses
Nitratos	P, V	1200	Analizar pronto	2-7 días / 28 días
Oxígeno Disuelto	P, botella de DBO.	300	Analizar inmediatamente	2 h / stat
pH	P, V		Analizar inmediatamente	2 h / stat

Temperatura	P, V		Analizar inmediatamente	Stat / stat
Coliformes fecal y total	P	500	Analizar inmediatamente	6 h/ 48 h
SST y SSD	P, V	2000	Refrigerar analizar pronto	2-7 días

Fuente: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, Colombia, 2000.

### 3.2.3. Análisis en laboratorio

La determinación de caudal en la descarga De la candelaria y para la descarga Del centro se llevó a cabo por el método de aforo volumétrico (Briones et al, 1997) mediante el uso de un recipiente de plástico con capacidad de 8 litros. El recipiente se introdujo en la caída de la descarga del agua residual, esto se realizó 5 veces a cada 3 horas (a partir de las 4:00 a.m. a 10:00 p.m. para la descarga Del centro y de 5:00 a.m. a 11:00 p.m. para la descarga De la candelaria) para obtener el tiempo promedio de llenado del recipiente y así conocer el caudal máximo del agua residual en litros/segundo en las dos descargas.

Los análisis que se realizaron en el sitio de captación (in situ) son: pH, Temperatura y Oxígeno Disuelto. Estos se tomaran empleando un Potenciómetro marca HANNA instruments HI 9811 para pH y temperatura y el Oxígeno Disuelto (OD) con el kit back.

El resto de los análisis de las muestras tomadas se efectuaron en el laboratorio de la Facultad de ingeniería ambiental de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), los cuales se trasladaron después de haber sido tomadas en el sitio de estudio, estas fueron transportadas en una hielera a una temperatura menor o igual a 4 °C según el ensayo analizado (NMX-AA-003-1980).

En el laboratorio se realizaron los siguientes parámetros:

Dióxido de Carbono, Dureza, Nitratos, Fosfatos, Alcalinidad, Sólidos Sedimentables (SSD), Sólidos Totales (ST), Sólidos Volátiles Totales (SVT), Sólidos Fijos Totales (SFT), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) y Sólidos Suspendidos Fijos (SSF), Demanda Química de Oxígeno (DQO). Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Coliformes Fecales y Coliformes Totales. de las dos descargas de aguas residuales municipales.

### 3.3. Métodos para la caracterización de los parámetros físico-químicos y biológicos

Los parámetros analizados fueron los siguientes:

- Parámetros Físicos; Temperatura, Sólidos Sedimentables (SSD), Sólidos Totales (ST), Sólidos Volátiles Totales (SVT), Sólidos Fijos Totales (SFT), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) y Sólidos Suspendidos Fijos (SSF).

- Parámetros Químicos; Potencial de Hidrogeno (pH), Oxígeno Disuelto (OD), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Dureza, Nitratos, Fosfatos, Alcalinidad, Demanda Química de Oxígeno (DQO). Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).

- Parámetros Biológicos; Coliformes Totales y Coliformes Fecales.

Los métodos empleados para la caracterización de los parámetros físico-químicos y biológicos, se llevaron a cabo bajo las respectivas normas mexicanas (tabla 20).

Tabla 20. Normas utilizadas.

Parámetro	Método
pH	NMX-AA-008-SCFI-2000
Temperatura	NMX-AA-007-SCFI-2000
Oxígeno Disuelto	NMX-AA-012-SCFI-2001
Dureza	NMX-AA-072-SCFI-2000
Nitratos	NMX-AA-079-SCFI-2001
Fosfatos	NMX-AA-029-SCFI-2001
Alcalinidad	NMX-AA-036-SCFI-2001
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	NMX-AA-006-SCFI-2000
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Volátiles Totales (SSV)	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Sedimentables (SSD)	NMX-AA-004-SCFI-2000
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	NMX-AA-030-SCFI-2001
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	NMX-AA-028-SCFI-2001
Coliformes Fecales	NMX-AA-102-SCFI-2006
Coliformes Totales	NMX-AA-102-SCFI-2006

Fuente: Normas Mexicanas, SEMARNAT.

### 3.4. Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de las aguas residuales (PTAR)

Las aguas residuales que se generan en la localidad de Cintalapa de Figueroa, Chiapas son recolectadas por un sistema de drenaje combinado, por ello el agua pluvial es mezclada con las aguas residuales en épocas de lluvia aumentando así la carga hidráulica de las descargas y disminuyendo la concentración de contaminantes los cuales no favorecen a un tratamiento biológico por lo que se presenta la siguiente alternativa.

En la cabecera municipal debido a que el drenaje está dividido en dos descargas;

La descarga "El Del centro" que recolecta las aguas residuales que se generan en la zona del centro y oriente de esta localidad y que constituye aproximadamente el 60.14% del total de las descargas, incorporadas al sistema de alcantarillado, de las cuales son vertidas en la margen izquierda del cauce del río conocido como "El Del centro".

La segunda descarga es del "El De la candelaria" recolecta las aguas residuales que actualmente se generan en la parte alta y parte de la zona poniente y que constituye aproximadamente el 39.68% de las que se incorporan al sistema de alcantarillado misma que vierte sus aguas al cauce del mismo río aproximadamente a 500 m aguas abajo de la descarga principal.

Existen diversas descargas que vierten sus aguas residuales directamente en varios puntos a lo largo del cauce del río Nicolás Bravo, así como a arroyos que son afluentes de este mismo y que aportan un mínimo porcentaje de AR del total de las descargas.

Actualmente en esta localidad se están realizando las obras para ampliar la cobertura del sistema de alcantarillado, sin embargo debido a las características topográficas del terreno parte de la población no se incorporara a este sistema de drenaje.

Con los resultados de los parámetros que se analizaron en el estudio de caracterización, se realizaron dos propuestas de diseño para la implementación de una planta de tratamiento de las aguas residuales correspondiente a las dos descargas de AR El De la candelaria y El Del centro originadas en la cabecera municipal de Cintalapa de Figueroa, Chiapas.

Tomando en cuenta que el efluente debe cumplir con las normas de descarga a un cuerpo receptor, estipuladas en la NOM-001-SEMARNAT-2006 y NOM-003-SEMARNAT-2006, se comparó la eficiencia de remoción de coliformes fecales, DBO<sub>5</sub> y SST, para tener el mejor sistema de tratamiento que pueda ser empleada en dicha comunidad.

Para las propuestas de diseño para la depuración del agua servida incluyeron tres niveles de tratamiento:

- El pretratamiento. Conformado por un sistema de rejillas para retener los sólidos gruesos, un desarenador y un vertedero rectangular.
- Tratamiento primario. Se empleó un tanque sedimentador después de aplicar un coagulante (sulfato de aluminio) para conglomerar la mayor cantidad de sólidos, materia orgánica y coliformes fecales, y de un sedimentador para separar las partículas y clarificar el agua tratada.
- Tratamiento secundario. Para este caso se dispuso dos alternativas para cada descarga, para El De la candelaria; un humedal de flujo subsuperficial (HAFSS) y un humedal artificial de flujo libre o superficial (HAFS) con plantas flotantes, y para la descarga El Del centro; un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente con medio filtrante de piedra bola y un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente con medio filtrante de plástico tratando de utilizar el área mínima por dificultades topográficas del lugar.
- Tratamiento terciario. Cloración para desinfectar el agua tratada.

Las propuestas de diseño para la depuración del agua servida incluyeron el tratamiento de los lodos generados, mediante las siguientes:

- Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) para lodos primarios.
- Composteo aerobio de lodos estabilizados mediante un RAFA.

### 3.4.1. *Alternativa 1 para la descarga de AR El De la candelaria*

#### **Pre-tratamiento**

El sistema de pretratamiento se diseña para el gasto máximo considerado en el horizonte de proyecto establecido e integrado en dos trenes de tratamiento, consta de canal de rejillas, desarenador y medición y control de flujo, mismos que operaran en forma manual tomando en cuenta todas medidas para facilitar su operación y mantenimiento.

##### Canal de rejillas

La función de las rejillas es la de retener la materia flotante y sólidos gruesos presentes en el agua residual, y que afectan al funcionamiento del sistema de tratamiento, el canal de rejillas está conformado por dos trenes de tratamiento controlados por compuertas deslizantes de operación manual para facilitar la extracción de estos sólidos, sin detener la operación normal del proceso de tratamiento, las rejillas serán a base de solera y en la parte superior de estas rejillas se instalara una charola para depositar los sólidos gruesos, para su posterior disposición en algún relleno sanitario.

##### Desarenador

La función de esta unidad es la de retener las arenas y detritos minerales presentes en el agua residual y que pueden afectar el funcionamiento del proceso de tratamiento. El canal desarenador también estará conformado por dos trenes de tratamiento para cuando se realice la limpieza no se interfiera en el funcionamiento normal del proceso de tratamiento y se considerara una tolva en cada canal para concentrar el material inerte y facilitar su extracción.

##### Vertedor rectangular (VR)

El agua residual de una vez que pasa por este sistema de pretratamiento descarga a una caja cuya función es repartir equitativamente el flujo de agua hacia los módulos considerados en el sistema de tratamiento.

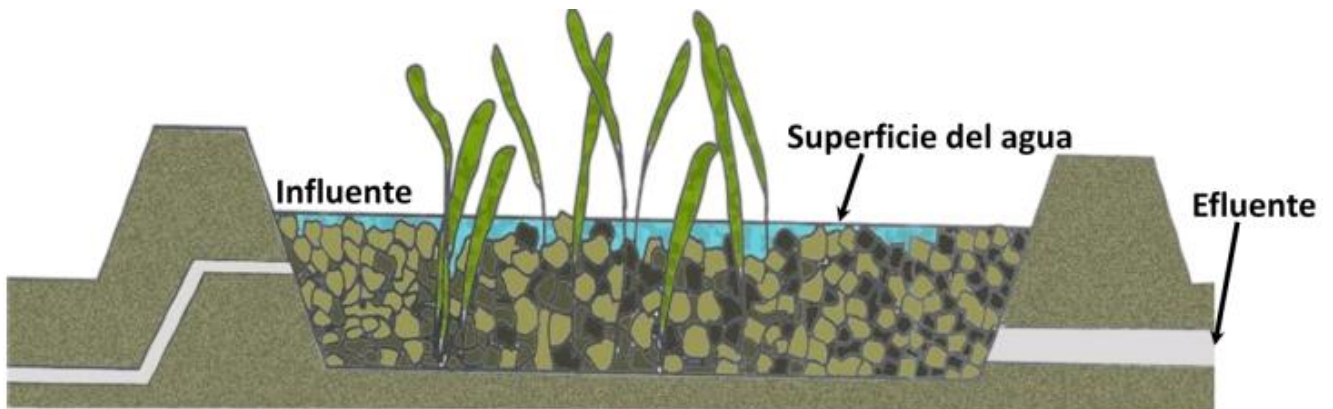
#### **Tratamiento primario**

Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA)

#### **Tratamiento secundario biológico**

Humedal artificial de flujo subsuperficial (HAFSS)

Figura 16. Sistema de flujo subsuperficial (HAFSS),



Fuente: Vesilind y Morgan, 2004.

### Tratamiento terciario

Tanque de contacto de cloro. Con objeto de asegurar que el agua residual tratada esté libre de patógenos, se aplicara una dosificación de hipoclorito de sodio.

El cloro es el oxidante más económico que puede emplearse en la desinfección de aguas residuales tratadas, además de tener la ventaja de proporcionar un residual medible al ser aplicado en cantidades suficientes.

La efectividad del cloro como desinfectante depende de numerosos factores, incluyendo temperatura, pH y turbiedad de las aguas residuales; la presencia de sustancias inhibidoras; la concentración de cloro disponible; la configuración del tanque de contacto; y el grado de mezcla alcanzado entre el agua residual y el cloro.

### Tratamiento de lodos

Lecho de secado de lodos con arena

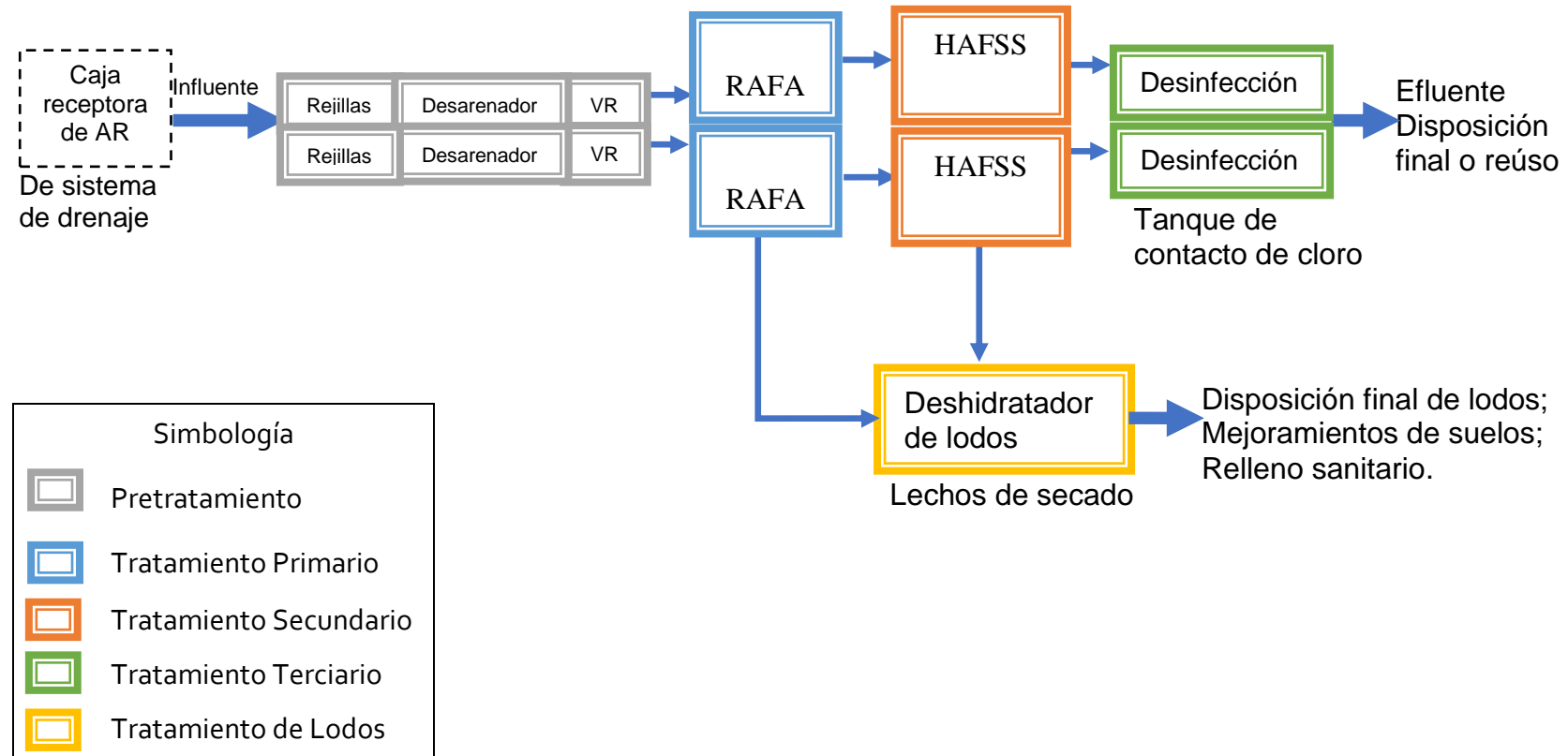
Para el tratamiento de los lodos que se generen en el sistema de tratamiento se considera la instalación de lechos de secado los lodos en base seca podrán disponerse adecuadamente en terrenos de cultivo o como mejorador de suelos y el agua recuperada en estos tanques se conducirá hasta un cárcamo de bombeo donde también descargarán



las del digester de lodos y combinadas se enviaran hacia el inicio del proceso de tratamiento.

Figura 17. Diagrama de flujo del tren de tratamiento propuesto para la descarga El De la candelaria (alternativa 1).

El caudal se dividió en dos módulos para tener un rango de seguridad óptimo.



Parámetros/ Remoción (R)	Valores en efluente				Valor en el efluente
	Pretratamiento	T. Primario	T. Secundario	T. Terciario	
	0 %	65%	70%	98%	R=99.78%
DQO	995	348.25	104.47	2.09	2.09
DBO <sub>5</sub>	256.4	89.74	26.94	0.54	0.54
SST	334	116.90	35.07	0.70	0.70

### 3.4.2. Alternativa 2 para la descarga de AR El De la candelaria

#### **Pre-tratamiento.**

El sistema de pretratamiento se diseña para el gasto máximo considerado en el horizonte de proyecto establecido e integrado en dos trenes de tratamiento, consta de canal de rejillas, desarenador y medición y control de flujo, mismos que operaran en forma manual tomando en cuenta todas medidas para facilitar su operación y mantenimiento.

#### Canal de rejillas

La función de las rejillas es la de retener la materia flotante y sólidos gruesos presentes en el agua residual, y que afectan al funcionamiento del sistema de tratamiento, el canal de rejillas está conformado por dos trenes de tratamiento controlados por compuertas deslizantes de operación manual para facilitar la extracción de estos sólidos, sin detener la operación normal del proceso de tratamiento, las rejillas serán a base de solera y en la parte superior de estas rejillas se instalara una charola para depositar los sólidos gruesos, para su posterior disposición en algún relleno sanitario.

#### Desarenador

La función de esta unidad es la de retener las arenas y detritos minerales presentes en el agua residual y que pueden afectar el funcionamiento del proceso de tratamiento. El canal desarenador también estará conformado por dos trenes de tratamiento para cuando se realice la limpieza no se interfiera en el funcionamiento normal del proceso de tratamiento y se considerara una tolva en cada canal para concentrar el material inerte y facilitar su extracción.

#### Vertedor rectangular (VR)

El agua residual de una vez que pasa por este sistema de pretratamiento descarga a una caja cuya función es repartir equitativamente el flujo de agua hacia los módulos considerados en el sistema de tratamiento.

#### **Tratamiento primario**

#### Tanque de Sedimentación (SDR)

El proceso de coagulación-sedimentación consiste en: adición de productos químicos a las aguas residuales, para la remoción de sólidos y otros contaminantes mediante precipitación; mezclado rápido de los productos químicos con el agua para dispersar éstos en forma homogénea; mezcla lenta para permitir la formación de flóculos resultado de la adición de los productos químicos; y, sedimentación en condiciones de calma para permitir la separación de los flóculos formados en las aguas residuales. Se inyectan productos químicos en varios puntos del proceso de tratamiento para la remoción de material orgánico e inorgánico suspendido y disuelto en las aguas residuales.

Los productos químicos que más se emplean como coagulantes se pueden dividir en cuatro categorías: cal, sales de aluminio, sales de hierro, y polímeros; cada uno de ellos con propiedades y aplicaciones propias características del producto.

El aluminio, en forma de sulfato de aluminio, reacciona con los ortofosfatos y la alcalinidad. En esta aplicación, la remoción de fósforo tiende a ser la más alta, si el producto se dosifica durante o después del tratamiento biológico; en esta etapa la proporción de ortofosfatos es mayor comparada con otras asociaciones de fósforo. En este caso, no existe a la fecha un método económicamente factible para la recuperación del sulfato de aluminio, por lo que su manejo y disposición recae dentro del manejo de lodos del sistema en su conjunto.

### **Tratamiento secundario biológico**

Humedal artificial de flujo superficial con plantas flotantes (HAFS o HAFL).

Un humedal artificial de flujo superficial (figura 7), es un sistema de tratamiento de agua residual (estanque o cauce) poco profundo, construido por el hombre, en el que se han sembrado plantas acuáticas, y contado con los procesos naturales para tratar el agua residual. Los humedales artificiales construidos tienen ventajas respecto de los sistemas de tratamiento alternativos, debido a que requieren poca o ninguna energía para operar. Si hay suficiente tierra barata disponible cerca de la instalación de los Humedales artificiales de cultivo acuático, puede ser una alternativa de costo efectivo. Los humedales artificiales proporcionan el hábitat para la vida silvestre, y son, estéticamente, agradables a la vista.

### **Tratamiento terciario**

Tanque de contacto de cloro.

Con objeto de asegurar que el agua residual tratada esté libre de patógenos, se aplicara una dosificación de hipoclorito de sodio.

El cloro es el oxidante más económico que puede emplearse en la desinfección de aguas residuales tratadas, además de tener la ventaja de proporcionar un residual medible al ser aplicado en cantidades suficientes.

La efectividad del cloro como desinfectante depende de numerosos factores, incluyendo temperatura, pH y turbiedad de las aguas residuales; la presencia de sustancias inhibitoras; la concentración de cloro disponible; la configuración del tanque de contacto; y el grado de mezcla alcanzado entre el agua residual y el cloro.

### **Tratamiento de lodos**

Reactor Anaerobio de flujo Ascendente lodos primarios.

La digestión anaerobia consiste en la degradación biológica de sustancias orgánicas complejas, en ausencia de oxígeno libre. Durante el desarrollo de estas reacciones se libera energía, y gran parte de

la materia orgánica es transformada en metano, bióxido de carbono y agua. Como quedan disponibles poco carbono y energía, para sostener la continuación de la actividad biológica, los sólidos restantes son estabilizados.

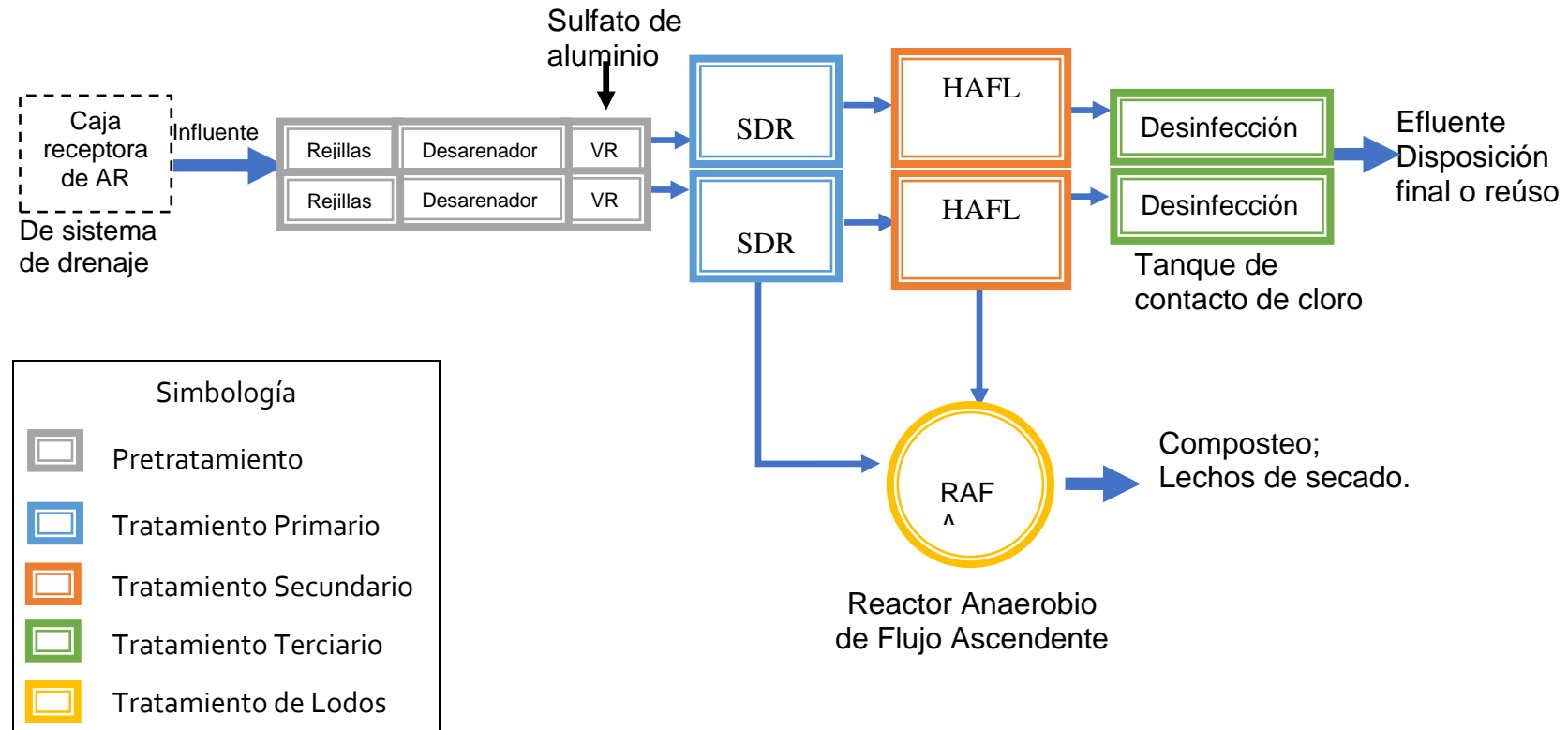
El proceso anaerobio es controlado básicamente por las bacterias metanogénicas debido a su lento crecimiento y sensibilidad a cambios ambientales. Por consiguiente, todo diseño exitoso deberá estar basado en las características especiales limitantes de estos microorganismos.

#### Composteo de lodos estabilizados

El composteo de lodos puede ser definido como la descomposición biológica de sólidos orgánicos a un producto final relativamente estable (abono). El contenido de humedad es normalmente de 40% a 70%. La descomposición aeróbica tiene lugar en el rango termofílico, arriba de 113 °F (45°C) y, generalmente, hasta 140°F (60 °C). Las temperaturas pico se aproximan a los 194°F (90°C). El proceso es de oxidación y termogénico. Los principales productos de la descomposición son humus, dióxido de carbono, y agua. Aunque cada técnica de composteo de lodos es única, el proceso fundamental es similar.

Figura 18. Diagrama de flujo del tren de tratamiento propuesto para la descarga El De la candelaria (alternativa 2).

El caudal se dividió en dos módulos para tener un rango de seguridad óptimo.



Parámetros/ Remoción (R)	Valores en influente				Valores en el efluente
	Pretratamiento	T. Primario	T. Secundario	T. Terciario	
	0 %	70%	80%	98%	R=99.84%
DDO (mg/l)	995	398	79.6	1.59	1.59
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	256.4	102.56	20.51	0.41	0.41
SST (mg/l)	334	133.6	26.72	0.53	0.53

### 3.4.3. Alternativa 1 para la descarga de AR El Del centro

#### **Pre-tratamiento**

el sistema de pretratamiento se diseña para el gasto máximo considerado en el horizonte de proyecto establecido e integrado en dos trenes de tratamiento, consta de canal de rejillas, desarenador y medición y control de flujo, mismos que operaran en forma manual tomando en cuenta todas medidas para facilitar su operación y mantenimiento.

#### Canal de rejillas

La función de las rejillas es la de retener la materia flotante y sólidos gruesos presentes en el agua residual, y que afectan al funcionamiento del sistema de tratamiento, el canal de rejillas está conformado por dos trenes de tratamiento controlados por compuertas deslizantes de operación manual para facilitar la extracción de estos sólidos, sin detener la operación normal del proceso de tratamiento, las rejillas serán a base de solera y en la parte superior de estas rejillas se instalara una charola para depositar los sólidos gruesos, para su posterior disposición en algún relleno sanitario.

#### Desarenador

La función de esta unidad es la de retener las arenas y detritos minerales presentes en el agua residual y que pueden afectar el funcionamiento del proceso de tratamiento. El canal desarenador también estará conformado por dos trenes de tratamiento para cuando se realice la limpieza no se interfiera en el funcionamiento normal del proceso de tratamiento y se considerara una tolva en cada canal para concentrar el material inerte y facilitar su extracción.

#### Vertedor rectangular (VR)

El agua residual de una vez que pasa por este sistema de pretratamiento descarga a una caja cuya función es repartir equitativamente el flujo de agua hacia los módulos considerados en el sistema de tratamiento.

#### **Tratamiento primario**

#### Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA)

#### **Tratamiento secundario biológico**

#### El Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente con medio filtrante de piedra bola de río (FAFA<sub>1</sub>).

Es un proceso de crecimiento adherido propuesto por Young y McCarty en 1969, para el tratamiento de residuos solubles. De los sistemas de tratamiento anaerobio es el más sencillo de mantener por que la biomasa permanece como una película microbiana adherida y porque como el flujo es ascensional. El riesgo de taponamiento es mínimo.

## **Tratamiento terciario**

Tanque de contacto de cloro. Con objeto de asegurar que el agua residual tratada esté libre de patógenos, se aplicara una dosificación de hipoclorito de sodio.

El cloro es el oxidante más económico que puede emplearse en la desinfección de aguas residuales tratadas, además de tener la ventaja de proporcionar un residual medible al ser aplicado en cantidades suficientes.

La efectividad del cloro como desinfectante depende de numerosos factores, incluyendo temperatura, pH y turbiedad de las aguas residuales; la presencia de sustancias inhibidoras; la concentración de cloro disponible; la configuración del tanque de contacto; y el grado de mezcla alcanzado entre el agua residual y el cloro.

## **Tratamiento de lodos**

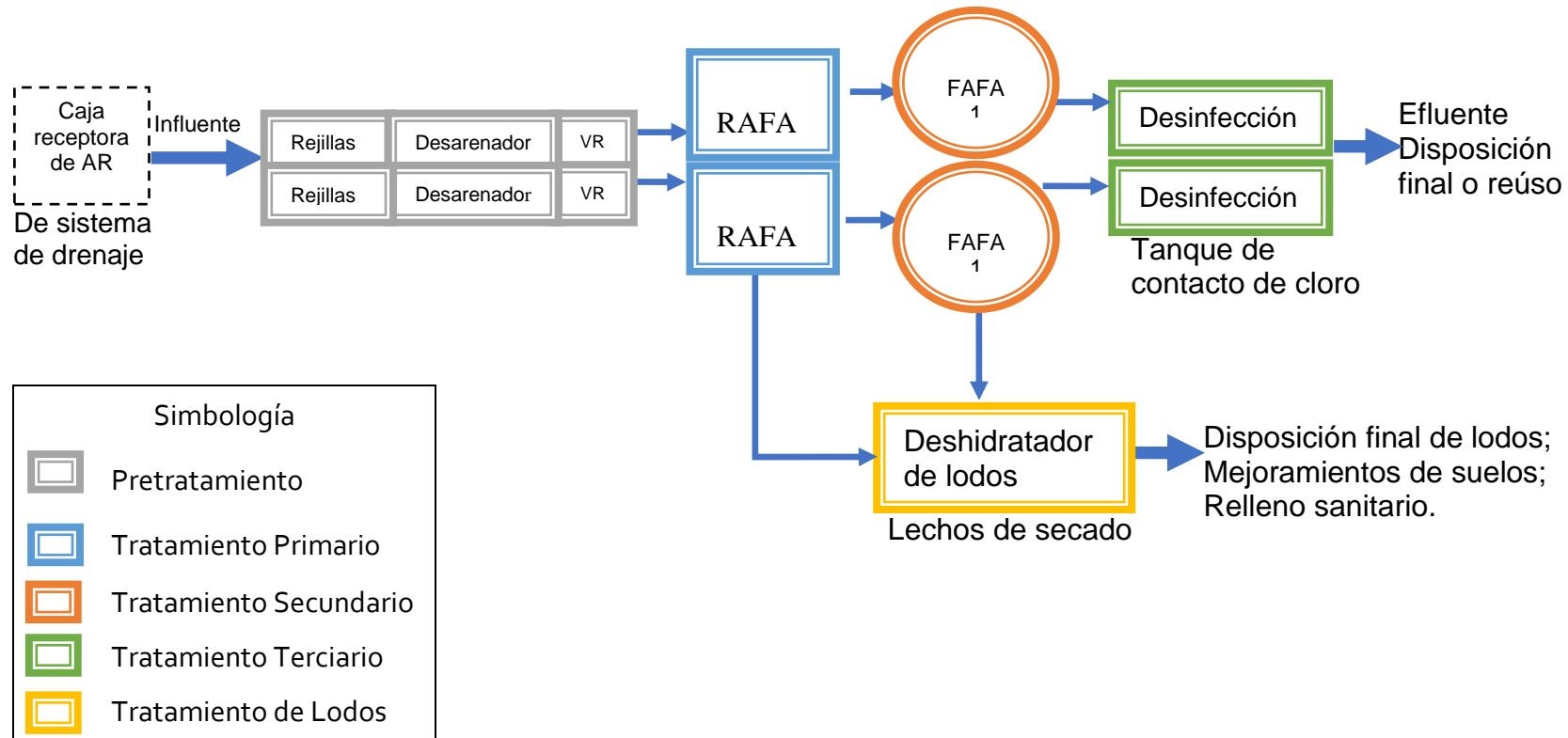
Lechos de secado de arena

Para el tratamiento de los lodos que se generen en el sistema de tratamiento se considera la instalación de lechos de secado los lodos en base seca podrán disponerse adecuadamente en terrenos de cultivo o como mejorador de suelos y el agua recuperada en estos tanques se conducirá hasta un cárcamo de bombeo donde también descargarán las del digester de lodos y combinadas se enviarán hacia el inicio del proceso de tratamiento.



Figura 19. Diagrama de flujo del tren de tratamiento propuesto para la descarga Del centro (alternativa 1).

El caudal se dividió en dos módulos para tener un rango de seguridad óptimo.



Parámetros/ Remoción (R)	Remoción en efluente				Valores en efluente R=99.78%
	Pretratamiento	T. Primario	T. Secundario	T. Terciario	
DOO (mg/l)	0 %	65%	70%	98%	2.18
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	1034	361.9	109.2	2.18	2.18
SST (mg/l)	258.4	90.44	27.13	0.54	0.54
	354	123.9	37.17	0.74	0.74

### 3.4.4. Alternativa 2 para la descarga de AR El Del centro

#### **Pre-tratamiento.**

el sistema de pretratamiento se diseña para el gasto máximo considerado en el horizonte de proyecto establecido e integrado en dos trenes de tratamiento, consta de canal de rejillas, desarenador y medición y control de flujo, mismos que operaran en forma manual tomando en cuenta todas medidas para facilitar su operación y mantenimiento

#### Canal de rejillas

La función de las rejillas es la de retener la materia flotante y sólidos gruesos presentes en el agua residual, y que afectan al funcionamiento del sistema de tratamiento, el canal de rejillas está conformado por dos trenes de tratamiento controlados por compuertas deslizantes de operación manual para facilitar la extracción de estos sólidos, sin detener la operación normal del proceso de tratamiento, las rejillas serán a base de solera y en la parte superior de estas rejillas se instalara una charola para depositar los sólidos gruesos, para su posterior disposición en algún relleno sanitario.

#### Desarenador

La función de esta unidad es la de retener las arenas y detritos minerales presentes en el agua residual y que pueden afectar el funcionamiento del proceso de tratamiento. El canal desarenador también estará conformado por dos trenes de tratamiento para cuando se realice la limpieza no se interfiera en el funcionamiento normal del proceso de tratamiento y se considerara una tolva en cada canal para concentrar el material inerte y facilitar su extracción.

#### Vertedero rectangular (VR)

El agua residual de una vez que pasa por este sistema de pretratamiento descarga a una caja cuya función es repartir equitativamente el flujo de agua hacia los módulos considerados en el sistema de tratamiento.

#### **Tratamiento primario**

#### Tanque sedimentador (SDR)

El proceso de coagulación-sedimentación consiste en: adición de productos químicos a las aguas residuales, para la remoción de sólidos y otros contaminantes mediante precipitación; mezclado rápido de los productos químicos con el agua para dispersar éstos en forma homogénea; mezcla lenta para permitir la formación de flóculos resultado de la adición de los productos químicos; y, sedimentación en condiciones de calma para permitir la separación de los flóculos formados en las aguas residuales. Se inyectan productos químicos en varios puntos del proceso de tratamiento para la remoción de material orgánico e inorgánico suspendido y disuelto en las aguas residuales.

Los productos químicos que más se emplean como coagulantes se pueden dividir en cuatro categorías: cal, sales de aluminio, sales de hierro, y polímeros; cada uno de ellos con propiedades y aplicaciones propias características del producto.

El aluminio, en forma de sulfato de aluminio, reacciona con los ortofosfatos y la alcalinidad. En esta aplicación, la remoción de fósforo tiende a ser la más alta, si el producto se dosifica durante o después del tratamiento biológico; en esta etapa la proporción de ortofosfatos es mayor comparada con otras asociaciones de fósforo. En este caso, no existe a la fecha un método económicamente factible para la recuperación del sulfato de aluminio, por lo que su manejo y disposición recae dentro del manejo de lodos del sistema en su conjunto.

### **Tratamiento secundario biológico**

Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente con medio filtrante de plástico (FAFA<sub>2</sub>).

Un humedal artificial es un sistema de tratamiento de agua residual (estanque o cauce) poco profundo, construido por el hombre, en el que se han sembrado plantas acuáticas, y contado con los procesos naturales para tratar el agua residual. Los humedales artificiales construidos tienen ventajas respecto de los sistemas de tratamiento alternativos, debido a que requieren poca o ninguna energía para operar. Si hay suficiente tierra barata disponible cerca de la instalación de los Humedales artificiales de cultivo acuático, puede ser una alternativa de costo efectivo. Los humedales artificiales proporcionan el hábitat para la vida silvestre, y son, estéticamente, agradables a la vista.

### **Tratamiento terciario**

Tanque de contacto de cloro. Con objeto de asegurar que el agua residual tratada esté libre de patógenos, se aplicara una dosificación de hipoclorito de sodio.

El cloro es el oxidante más económico que puede emplearse en la desinfección de aguas residuales tratadas, además de tener la ventaja de proporcionar un residual medible al ser aplicado en cantidades suficientes.

La efectividad del cloro como desinfectante depende de numerosos factores, incluyendo temperatura, pH y turbiedad de las aguas residuales; la presencia de sustancias inhibidoras; la concentración de cloro disponible; la configuración del tanque de contacto; y el grado de mezcla alcanzado entre el agua residual y el cloro.

### **Tratamiento de lodos**

Reactor anaerobio lodos primarios.

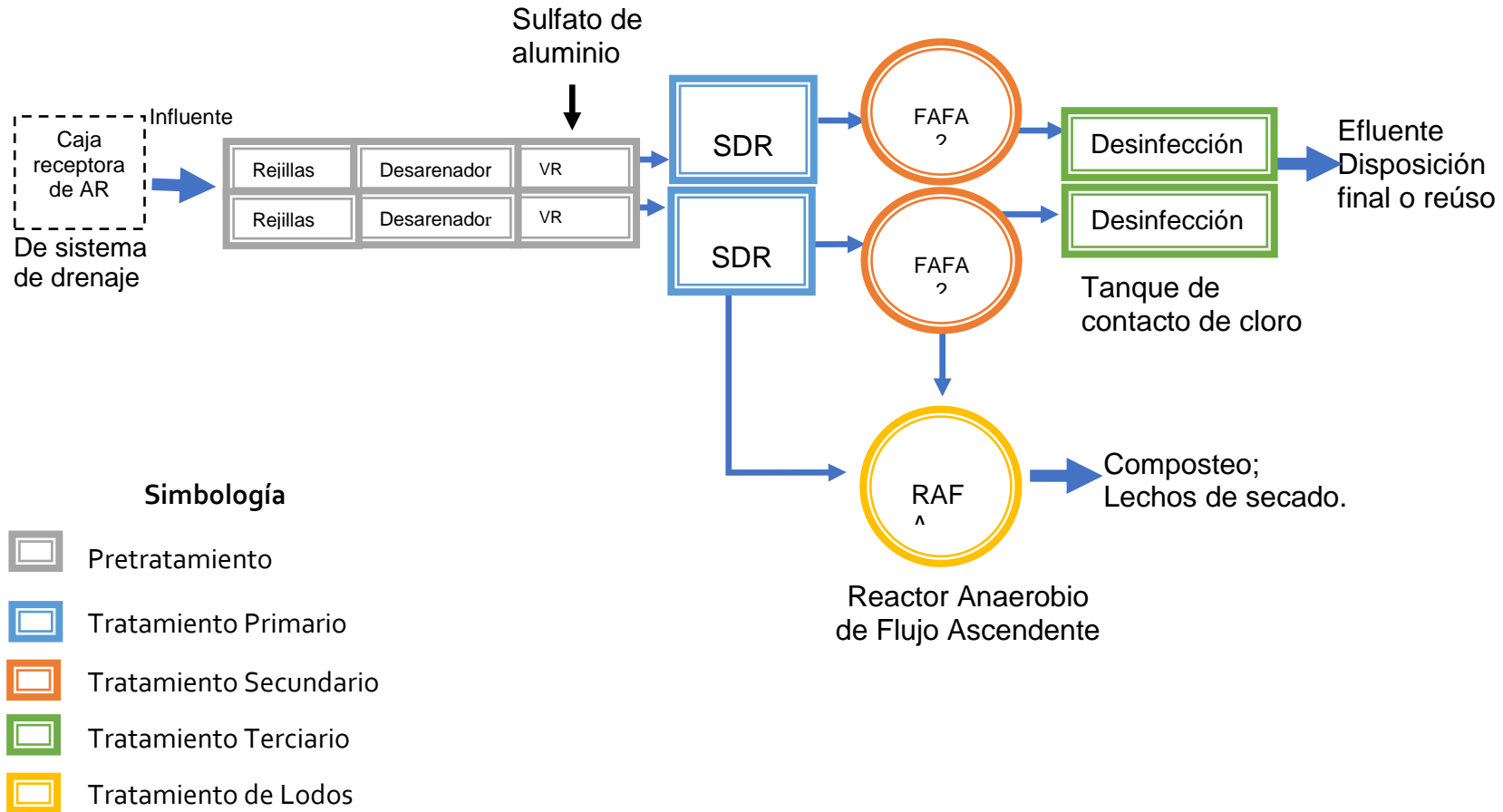
La digestión anaerobia consiste en la degradación biológica de sustancias orgánicas complejas, en ausencia de oxígeno libre. Durante el desarrollo de estas reacciones se libera energía, y gran parte de la materia orgánica es transformada en metano, bióxido de carbono y agua. Como quedan disponibles poco carbono y energía, para sostener la continuación de la actividad biológica, los sólidos restantes son estabilizados.

El proceso anaerobio es controlado básicamente por las bacterias metanogénicas debido a su lento crecimiento y sensibilidad a cambios ambientales. Por consiguiente, todo diseño exitoso deberá estar basado en las características especiales limitantes de estos microorganismos.

#### Composteo aeróbico de lodos

El composteo de lodos puede ser definido como la descomposición biológica de sólidos orgánicos a un producto final relativamente estable (abono). El contenido de humedad es normalmente de 40% a 70%. La descomposición aeróbica tiene lugar en el rango termofílico, arriba de 113 °F (45°C) y, generalmente, hasta 140°F (60 °C). Las temperaturas pico se aproximan a los 194°F (90°C). El proceso es de oxidación y termogénico. Los principales productos de la descomposición son humus, dióxido de carbono, y agua. Aunque cada técnica de composteo de lodos es única, el proceso fundamental es similar.

Figura 20. Diagrama de flujo del tratamiento propuesto para la descarga Del centro (alternativa 2).



Parámetros/ Remoción	Valores en efluente				Valores en el efluente R=99.84%
	Pretratamiento	T. Primario	T. Secundario	T. Terciario	
DQO (mg/l)	1034	413.6	82.72	1.65	1.65
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	258.4	103.36	20.67	0.41	0.41
SST (mg/l)	354	141.6	28.32	0.57	0.57

## CAPITULO 4

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Resultados de la caracterización; Parámetros Físicos

A continuación el análisis de los parámetros Físicos del AR provenientes de la cabecera municipal Cintalapa de Figueroa; Temperatura, Sólidos Sedimentables (SSD), Sólidos Totales (ST), Sólidos Volátiles Totales (SVT), Sólidos Fijos Totales (SFT), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) y Sólidos Suspendidos Fijos (SSF).

La temperatura es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas, velocidades de reacción y en la aplicabilidad del agua a usos útiles, como en este caso la temperatura más alta se tomó en el primer muestreo en época de estiaje donde se encontró un mayor número de microorganismos que elevan la temperatura por la actividad bacteriológica en el agua residual, además de que las muestras se tomaron en época de lluvias por ello la temperatura bajó con la inyección de agua pluvial, presenciando así que la descarga De la candelaria mantiene una temperatura mayor a la del centro.

Los sólidos sedimentable afectan directamente a la penetración de luz, aumentan la  $DBO_5$ , en la gráfica 7 se observan las variaciones de los SSD en las descargas siendo la del Del centro la que presenta cargas mayores de 12 y 15 ml/L esto debido a que el agua residual va directo de la fuente al punto final de descarga al río y el agua residual de la descarga El De la candelaria cuenta con un pozo de visita las cuales tiene de 1.3 a 6.4 ml/L, claro está, que se debe mayormente al número de habitantes conectados a esta descarga, la descarga de AR del Del centro tiene un número de habitantes mayor a la descarga de AR del De la candelaria.

Considerando que la prueba de sólidos sedimentables constituye una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual la descarga del Del centro tendrá una cantidad mayor de lodos en la sedimentación primaria en comparación de la descarga de la candelaria.

El comportamiento de los sólidos totales, es mayor en el primer muestreo con 1950-1550 mg/L debido a la época de estiaje y mayor en la descarga el De la candelaria por la concentración del agua residual en un pozo de visita antes de ser vertido.

El comportamiento de los sólidos volátiles tomando en cuenta que son sólidos biodegradables presenta una fluctuación de 210-600 mg/L y 110-620 mg/L para las descargas Del centro y De la candelaria respectivamente, donde se observa que la descarga

con mayor cantidad de sólidos volátiles es la del Del centro, también relacionado al número de habitantes que alimentan el caudal.

El comportamiento de los sólidos fijos totales tomando en cuenta que son sólidos no biodegradables presenta una fluctuación de 130-950 mg/L y 300-1330 mg/L para las descargas Del centro y De la candelaria respectivamente, donde se observa que la descarga con mayor cantidad de sólidos fijos totales es la del De la candelaria.

El comportamiento de los sólidos suspendidos totales que se obtienen filtrando una cantidad de la muestra capturando en el filtro los sólidos que se encuentran en suspensión, lo cual es mayor en el primer muestreo con 570 y 510 mg/L debido a la época de estiaje en De la candelaria y Del centro, siendo mayor en la descarga el De la candelaria por la concentración del agua residual en un pozo de visita antes de ser vertido y posteriormente se invierten las cantidades quedando con mayor cantidad de SST el Del centro con 320 y 460 mg/L en los últimos dos muestreos.

El comportamiento de los sólidos suspendidos volátiles que se obtienen filtrando una cantidad de la muestra capturando en el filtro los sólidos que se encuentran en suspensión y después de calentarlo a temperaturas de 105°C se obtienen los SSV que son sólidos suspendidos biodegradables, lo cual es mayor en el primer muestreo con 420 y 460 mg/L debido a la época de estiaje en De la candelaria y Del centro respectivamente, siendo mayor en la descarga el Del centro por el número de personas que sustentan el caudal

El comportamiento de los sólidos suspendidos fijos que se obtienen filtrando una cantidad de la muestra capturando en el filtro los sólidos que se encuentran en suspensión y después de calentarlo a temperaturas elevadas de 600°C se obtienen los SSF que son sólidos suspendidos no biodegradables, lo cual es mayor en los últimos muestreos con 260 y 320 mg/L debido a la época de estiaje en De la candelaria y Del centro respectivamente, siendo mayor en la descarga el Del centro por el número de personas que sustentan el caudal y la presencia de lluvias por lo cual las escorrentías arrastran arenas y otros materiales no degradable.

#### 4.2. Resultados de la caracterización; Parámetros Químicos

Parámetros Químicos; pH, Oxígeno Disuelto, Dióxido de Carbono, Dureza, Nitratos, Fosfatos, Alcalinidad, Demanda Química de Oxígeno (DQO). Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).

*En esta gráfica se observa un pH alto en el tercer muestreo para ambas descargas. Debido a que la muestra tomada estaba diluido por la precipitación ocurrida un día anterior a la toma de muestra, viendo que la descarga De la candelaria es ligeramente más ácida que la descarga Del centro.*

Todos los organismos vivientes dependen de una u otra forma del oxígeno para mantener los procesos metabólicos que producen la energía para el crecimiento y la reproducción. Los procesos aeróbicos son objeto de alto interés debido a su necesidad de oxígeno libre. La falta de Oxígeno Disuelto además de ser un indicador de polución, es dañino para los animales acuáticos como los peces.

También demuestras el grado de contaminación en la descarga por ejemplo en el primer muestreo el OD es menor a 1 o nulo por ello podemos argumentar que está muy contaminado y en los siguientes muestreos se fue elevando el OD debido a la presencia de lluvia y la dilución de los contaminantes generando así el aumento del OD excepto el 4 de junio que también presenta un grado de contaminación mayor debido al horario y día de la toma de muestra, donde la descarga De la candelaria tiende a incrementar la cantidad de OD presente en el líquido residual.

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ofrece muchas ventajas para la neutralización de aguas residuales alcalinas. Para flujos parciales contaminados con sustancias persistentes, el ozono (O<sub>3</sub>) es el remedio ideal. El Dióxido de carbono es utilizado en química para el control de la temperatura en reactores.

*En el muestreo del 7 de mayo se observa una mayor cantidad de CO<sub>2</sub> debido a la carga de contaminante elevada y en el segundo muestreo disminuye por la dilución de contaminantes por la presencia de lluvia el día anterior a la toma de muestra, donde la descarga Del centro tiene en los últimos tres muestreos un ascenso e la cantidad de CO<sub>2</sub>.*

En la mayoría de los casos se debe principalmente a la presencia de iones calcio y magnesio, y algunas veces también se unen hierro, aluminio, manganeso y estroncio.

No se encontró la presencia de nitratos en las dos descargas, esto da a entender que el agua residual es exclusivamente domestica sin componentes de fertilizantes principalmente que son los generadores de nitratos en las aguas residuales.

En ciertas condiciones las aguas naturales pueden ser alcalinas debido a cantidades apreciables de hidróxido y carbonatos, esto sucede en aguas superficiales con algas en



crecimiento que toman el dióxido de carbono que se encuentra de forma libre y combinada de tal forma que la alcalinidad del agua alcanza un pH de 9 y 10.

El agua de las dos descargas resultaron ser altamente alcalinas esencialmente la del 7 de mayo temporada de estiaje donde la concentración de contaminantes y compuestos que influyen en la alcalinidad era mayor que en la temporada de lluvias del 23 de mayo al 13 de julio, fechas de muestreo.

Es de gran importancia que se conozca la cantidad de materia orgánica presente en el AR y que se determine la cantidad de oxígeno requerido para su estabilización.

Se encontraron concentraciones típicas con variaciones debido a la concentración el épocas de lluvia siendo el más alto 328 mg DBO/L y 325 mg DBO/L en las descargas De la candelaria y Del centro respectivamente en época de estiaje las son el resultado de tres tipos de materia:

- Materiales orgánicos carbónicos, utilizables como fuente de alimentación por organismos aeróbicos.
- Nitrógeno oxidable, derivado de la presencia de nitritos, amoníaco, y en general compuestos orgánicos nitrogenados que sirven como alimentación para bacterias específicas (Nitrosomas y Nitrobacter).
- Compuestos orgánicos reductores (ion ferroso, sulfitos, sulfuros, que se oxidan por oxígeno disuelto).

#### 4.3. Resultados de la caracterización; Parámetros Biológicos

Análisis de los Parámetros Biológicos del AR de la cabecera municipal Cintalapa de Figueroa, Chiapas; Coliformes Totales y Coliformes Fecales.

Tabla 21. Resultados del análisis biológicos del agua residual.

<b>COLIFORMES TOTALES UFC/100 mL</b>		
FECHA	DE LA CANDELARIA	DEL CENTRO
07 de mayo	Incontable	Incontable
04 de junio	$1.74 \times 10^7$	$2.78 \times 10^7$
13 de julio	$7.70 \times 10^7$	$3.30 \times 10^7$

Tabla 22. Resultados del análisis biológicos del agua residual.

<b>COLIFORMES FECALES UFC/100 mL</b>		
FECHA	DE LA CANDELARIA	DEL CENTRO
07 de mayo	Incontable	Incontable
04 de junio	$1.52 \times 10^7$	$1.10 \times 10^7$
13 de julio	$4.05 \times 10^7$	$1.80 \times 10^7$

NOTA: PRESENCIA DE E. COLI EN EL MUESTREO DEL 13 DE JULIO EN LAS DOS DESCARGAS.

El análisis arrojó una elevada presencia de coliformes totales y C. fecales lo cual rebasa lo establecido para comunidades rurales la cual es de  $1 \times 10^8$  NMP/100 ml (Romero, 1999).

El caudal del día domingo 17 de junio se realiza el volumen de AR por la tarde y noche debido a la presencia de lluvia. Tomando como caudal medio 5 L/seg redondeado.

El caudal del día domingo 17 de junio se proyecta por la tarde y noche debido a la presencia de lluvia. Tomando como caudal medio 8 L/seg redondeado.

4.4. Valores obtenidos en los parámetros analizados y la normatividad en la descarga de AR El De la candelaria

Tabla 23. Valores promedio de los parámetros obtenidos en la descarga de AR El De la candelaria y la normatividad vigente.

DESCARGA EL DE LA CANDELARIA					
PARÁMETRO c.n.	UNIDAD	Valor obtenido	Límite Máximo**		Observaciones
			Pm	Pd	
<b>Parámetros Físicos</b>					
Temperatura	°Celcius	22.46	40	40	Dentro de norma
SSD	mg/L	2.84	1	2	Fuera de norma
ST	mg/L	1006			
SVT	mg/L	336			
SFT	mg/L	670			
SST	mg/L	334	40	60	Fuera de norma
SSV	mg/L	196			
SSF	mg/L	138			
<b>Parámetros Químicos</b>					
pH		7.86	05-oct	05-oct	Dentro de norma
Oxígeno Disuelto	mg/L	3.45			
Dióxido de Carbono	mg/L	44.4			
Dureza	mg/L	142.2			
Nitratos	mg/L	0	15	25	Dentro de norma
Fosfatos	mg/L	7	5	10	Dentro de norma
Alcalinidad	mg/L	489			
DQO	mg/L	995			
DBO <sub>5</sub>	mg/L	256.4	30	60	Fuera de norma
<b>Parámetros Biológicos</b>					
Coliformes Totales	UFC/ 100 ml	>4.72x10 <sup>7</sup>			
Coliformes Fecales	UFC/ 100 ml	>2.78x10 <sup>7</sup>			

Límite máximo diario permisible establecido en la nom-001-semarnat-1996 para descarga a río y protección a la vida acuática.

c.n. condiciones naturales

Pm promedio mensual

Pd promedio diario

Valores obtenidos en los parámetros analizados y la normatividad en la descarga de AR El Del centro

Tabla 24. Valores promedio de los parámetros obtenidos en la descarga de AR El Del centro y la normatividad vigente.

DESCARGA EL DEL CENTRO					
PARÁMETRO c.n.	UNIDAD	Valor obtenido	Límite máximo **		Observaciones
			Pm	Pd	
<b>Parámetros Físicos</b>					
Temperatura	°Celcius	21.62	40	40	Dentro de norma
SSD	mg/L	6.68	1	2	Fuera de norma
ST	mg/L	978			
SVT	mg/L	414			
SFT	mg/L	564			
SST	mg/L	354	40	60	Fuera de norma
SSV	mg/L	222			
SSF	mg/L	132			
<b>Parámetros Químicos</b>					
pH		7.98	05-oct	05-oct	Dentro de norma
Oxígeno Disuelto	mg/L	3.1			
Dióxido de Carbono	mg/L	49.8			
Dureza	mg/L	178.8			
Nitratos	mg/L	0	15	25	Dentro de norma
Fosfatos	mg/L	5.6	5	10	Dentro de norma
Alcalinidad	mg/L	426.8			
DQO	mg/L	1034			
DBO <sub>5</sub>	mg/L	258.4	30	60	Fuera de norma
<b>Parámetros Biológicos</b>					
Coliformes Totales	UFC/ 100 ml	>3.04x10 <sup>7</sup>			
Coliformes Fecales	UFC/ 100 ml	>1.45x10 <sup>7</sup>			

Límite máximo diario permisible establecido en la nom-001-semarnat-1996 para descarga a río y protección a la vida acuática

c.n. condiciones naturales

Pm promedio mensual Pd promedio diario

#### 4.5. Cuestiones generales de diseño de la planta de tratamiento de AR

El sistema de alcantarillado en el pueblo de Cintalapa de Figueroa es combinado, es decir, solo se cuenta con un sistema de drenaje de agua sanitaria y pluvial lo cual hace muy variable las concentraciones en DQO, DBO<sub>5</sub> y SST, así como el aumento de caudal de manera exagerada en época de lluvias, convirtiendo al tratamiento biológico el menos factible para sanear las aguas residuales, y que el proceso requiere una entrada de nutrientes y microorganismos altos y constantes para que este tipo de sistemas pueda operar, lo cual nos lleva a analizar procesos físico-químicos para la depuración de las aguas servidas.

Otra razón por la cual se optó por este tipo de trenes de tratamiento, es la disponibilidad de área: en la descarga El De la candelaria a 500 metros cerca del río Nicolás Bravo se cuenta con el terreno necesario para la implementación de la PTAR a lado de la unidad deportiva y la topografía se presta a un sistema de mayor superficie de 30 m por 70 m para tratar al AR, por el contrario, en la descarga del Centro se encuentra a orilla del río la Venta y la topografía es muy accidentada lo cual se dispone a aprovechar la máxima disponible que es de 12 m por 50 m.

##### 4.5.1. Consideraciones generales

Para el tratamiento del agua residual de la descarga de la candelaria de la cabecera municipal Cintalapa de Figueroa se implementará dos sistemas de tren de tratamiento mediante coagulación-Floculación, sedimentador, reactor biológico aeróbico (alternativa 1) y humedal artificial (alternativa 2): y para la descarga del centro se implementará dos sistemas de tren de tratamiento mediante coagulación-Floculación, sedimentador, biofiltro (alternativa 1) y humedal artificial escalonado (alternativa 2). Así también su sistema de pretratamiento antes de ingresar a la planta. Estas cuatro propuestas de tratamiento se compararán para ver cuál de ellas tiene la mejor eficiencia en remoción de coliformes fecales y materia orgánica.

Basándose en información empírica, en cuanto a tratamiento de aguas residuales, si la relación DBO<sub>5</sub>/DQO < 0.3, se pueden utilizar procesos biológicos de tratamiento (Romero, 1999). La relación de DBO<sub>5</sub>/DQO obtenida en el estudio para la descarga de la candelaria y del centro son de 0.257 y 0.249 respectivamente, por lo tanto se puede utilizar procesos biológicos.

#### 4.5.2. Datos de diseño

Con el objeto de que la planta cumpla con la vida útil establecida, se calcula el crecimiento de la población para los próximos 20 años. Para esto se empleó la tasa anual de crecimiento que de acuerdo con el INEGI (2010) es de 2.125% anual para el municipio. La población requerida para el diseño es de 11372 habitantes para el año 2032, la cual es el periodo de vida útil de la planta ver tabla 25.

Tabla 25. Caudales para 20 años para las descargas AR Totales en la cabecera municipal Cintalapa de Figueroa.

Año	Qmed L/seg	Qmín L/seg	QMáxDiario L/seg	QMáxHorario L/seg	Qmáx Inst. L/seg	Qmáx Extr. L/seg
2012	12.97	6.49	18.16	20.10	39.93	59.90
2032	19.74	9.87	27.64	30.60	57.23	85.85

Los caudales obtenidos son de la descarga total tomando en cuenta la aportación de 150 l/hab/día tomado de la aportación mínima de AR domestica las cuales se muestran en la tabla 25. En la cual un porcentaje es para la descarga De la candelaria y la descarga Del centro (tabla 26).

Los resultados del aforo son los siguientes establecidos en la tabla 26 ,utilizando datos obtenidos del Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (Libro 5) de la Comisión Nacional del Agua, 2010, y aplicándolo en las formulas para calcular caudales:

Tabla 26. Caudales obtenidos mediante el aforo de caudal.

	Qmed		Qmín		QMáxInst.		QMáxExt.		% de Aportación
<b>Descarga Total de Agua Residual en la cabecera municipal Cintalapa de Figueroa</b>									
UNIDADES	L/seg	m³/día	L/seg	m³/día	L/seg	m³/día	L/seg	m³/día	
<b>Domingo 17 de julio</b>	14.32	1237.11	7.16	618.62	44.09	3809.38	66.14	5714.50	
<b>Lunes 18 de julio</b>	11.52	995.17	5.76	497.66	35.47	3064.61	53.21	4597.34	<b>100%</b>
<b>Promedio</b>	12.92	1116.14	6.46	558.14	39.78	3436.99	59.67	5155.92	
<b>Proyección a 20 años</b>	19.67	1699.49	9.84	850.18	57.02	4926.53	85.53	7389.79	
<b>Caudal en la descarga Del centro</b>									
UNIDADES	L/seg	m³/día	L/seg	m³/día	L/seg	m³/día	L/seg	m³/día	<b>60.14%</b>

<b>Domingo 17 de julio</b>	8.86	765.85	4.43	382.75	27.28	2356.99	40.92	3535.49	
<b>Lunes 18 de julio</b>	6.68	577.21	3.34	288.58	20.57	1777.25	30.86	2666.30	
<b>Promedio</b>	7.77	671.53	3.89	335.66	23.93	2067.12	35.89	3100.90	
<b>Proyección a 20 años</b>	11.83	1022.11	5.92	511.49	34.30	2963.52	51.45	4445.28	
<b>Caudal en la descarga De la candelaria</b>									
UNIDADES	L/seg	m <sup>3</sup> /día	L/seg	m <sup>3</sup> /día	L/seg	m <sup>3</sup> /día	L/seg	m <sup>3</sup> /día	
<b>Domingo 17 de julio</b>	5.45	471.26	2.73	235.87	16.78	1449.79	25.17	2174.69	<b>39.86%</b>
<b>Lunes 18 de julio</b>	4.84	417.96	2.42	209.09	14.9	1287.36	22.35	1931.04	
<b>Promedio</b>	5.15	444.61	2.58	222.48	15.84	1368.58	23.76	2052.86	
<b>Proyección a 20 años</b>	7.84	677.38	3.92	338.69	22.73	1963.87	34.10	2946.24	

Por lo tanto se obtienen los siguientes datos según formulas de la CONAGUA (ver anexo de fórmulas) en la proyección a 20 años los cuales fueron utilizados para diseñar el tren de tratamiento de cada descarga de AR tomando en cuenta el porcentaje de cada descarga con respecto al total de la cabecera municipal presentadas en la tabla 26.

Tabla 27. Caudales para la descarga de AR El De la candelaria.

<b>Gastos</b>	<b>Año 0 (2012)</b>		<b>Año 20 (2032)</b>		<b>Redondeo para el Año 2032</b>	
	L/s	m <sup>3</sup> /día	L/s	m <sup>3</sup> /día	L/s	m <sup>3</sup> /día
<b>Gasto Medio, Qmed</b>	5.17	446.67	7.87	679.83	<b>8.00</b>	<b>691.20</b>
<b>Gasto Mínimo, Qmín</b>	2.59	223.51	3.93	339.91	<b>4.00</b>	<b>345.60</b>
<b>Gasto Máximo diario, QMáxDia</b>	7.24	625.34	11.02	951.76	<b>12.00</b>	<b>1036.80</b>
<b>Gasto Máximo Horario, QMáxHor</b>	8.01	692.35	12.20	1053.73	<b>13.00</b>	<b>1123.20</b>
<b>Gasto Máximo Instantáneo, QMáxIns</b>	15.92	1375.15	22.81	1970.95	<b>23.00</b>	<b>1987.20</b>
<b>Gasto Máximo Extraordinario, QMáxExt</b>	23.88	2062.90	34.22	2956.59	<b>35.00</b>	<b>3024.00</b>

Los datos tomados para los cálculos siguientes son del año 2032, año en el cual culmina la proyección de 20 años.

Tabla 28. Caudales para la descarga de AR Del centro.

Gastos	Año 0 (2012)		Año 20 (2032)		Redondeo para el Año 2032	
	L/s	m <sup>3</sup> /día	L/s	m <sup>3</sup> /día	L/s	m <sup>3</sup> /día
Gasto Medio, <b>Qmed</b>	7.80	673.93	11.87	1025.71	<b>12.00</b>	<b>1036.80</b>
Gasto Mínimo, <b>Qmín</b>	3.90	337.23	5.94	512.85	<b>6.00</b>	<b>518.40</b>
Gasto Máximo diario, <b>QMáxDia</b>	10.92	943.51	16.62	1435.99	<b>17.00</b>	<b>1468.80</b>
Gasto Máximo Horario, <b>QMáxHor</b>	12.09	1044.60	18.40	1589.85	<b>19.00</b>	<b>1641.60</b>
Gasto Máximo Instantáneo, <b>QMáxIns</b>	24.01	2074.80	34.42	2973.73	<b>35.00</b>	<b>3024.00</b>
Gasto Máximo Extraordinario, <b>QMáxExt</b>	36.02	3112.46	51.63	4460.85	<b>52.00</b>	<b>4492.80</b>

Los datos tomados para los cálculos siguientes son del año 2032, año en el cual culmina la proyección de 20 años.

#### 4.6. Propuesta de diseño para la descarga de AR De la candelaria

##### 4.6.1. Dimensionamiento del sistema común de Pretratamiento

El pretratamiento a dimensionar para el agua residual de la cabecera municipal de Cintalapa de Figueroa, Chiapas, consta de un sistema de rejillas, desarenador y vertedero rectangular. Los datos necesarios para dimensionar el sistema de pretratamiento se muestra en la [tabla 29](#).

**Tabla 29.** Bases de diseño para el sistema de pretratamiento para la descarga El De la candelaria.

Información global de las Aguas Residuales (AR) Domesticas de la Cabecera municipal Cintalapa de Figueroa.		
Población proyecto (año 2032)	11372	Habitantes
Gasto medio	19.74	l/s



Gasto mínimo	9.87	l/s
Gasto Máximo Diario	27.64	l/s
Gasto Máximo Horario	30.60	l/s
Gasto Máximo Instantáneo	57.23	l/s
Gasto Máximo Extraordinario	85.85	l/s
Aportación de AR	150	l/hab/día
<b>Descarga de Aguas Residuales El De la candelaria con un 39.86% de la descarga Total</b>		
Gasto medio de AR	7.87	l/s
Capacidad de Pretratamiento (QMáxIns)*	23	l/s
Carga orgánica (DBO <sub>5</sub> )	256.4	mg/l
Numero de módulos	2	
Capacidad por modulo	11.5	l/s
	993.6	m <sup>3</sup> /día
Carga orgánica aplicada por modulo	254.75	Kg DBO <sub>5</sub> /día
Tipo de tratamiento	Biológico	
Eficiencia de tratamiento		
Cuerpo receptor	Rio Nicolás Bravo	
Norma aplicable	NOM-001-SEMARNAT-2006	

\*Datos obtenidos de la [tabla 27](#).

## Canal de rejillas

Tabla 30. Datos de diseño

Gasto máximo Instantáneo (Q <sub>MáxInst</sub> )	23 l/s
Numero de módulos	2
Gasto por módulo	11.5 l/s
Claro entre barras (CB)	25 mm (1")
Espesor de barras (EB)	6,3 mm (1/4")
Ancho de barras (W)	3,81 mm (1/2")
Angulo de inclinación (Θ)	60°
Velocidad de aproximación (V <sub>a</sub> )	0,60 m/s
Velocidad a través de rejas (V <sub>R</sub> )	>0.7 m/s

	Cálculos para un módulo	Para los dos módulos
Área transversal (A <sub>t</sub> )	A <sub>t</sub> = 0.019 m <sup>2</sup>	A <sub>t</sub> = 0.038 m <sup>2</sup>
Tirante de canal	a= 0.098 m	a= 0.098 m
Ancho de canal	b= 0.196 m	b= 0.392 m

Para fines constructivos de los dos módulos;

El ancho del canal (b) se considera de 40 cm.

Tirante de agua (h) de 10 cm

Un bordo libre (BL) de 0.50 m

Altura total (H) del canal será de 0.60 m.

*Para alojar las rejillas y la charola de secado de sólidos se considera una longitud de 3,0 m, lo que facilitara la operación y mantenimiento de estas rejillas.*

Número de barras = 13 para los dos módulos

Ancho de canal (b) = 0.40 m

Tirante del agua = 0.10 m

Velocidades entre barras para los dos módulos (V) = 0.7103 m/s

*Se considera que esta en el límite de velocidades y no afecta a el funcionamiento de las mismas*

Pérdida de carga a través de la rejilla en los dos módulos (h<sub>f</sub>) = 0.01286 m

*La perdida de carga es mínima de 0.01286 m.*

## Canal desarenador

Tabla 31. Datos de diseño

Gasto máximo Instantáneo (Q <sub>MáxInst</sub> )	23 l/s
Numero de módulos	2
Gasto por modulo	11.5 l/s
Diámetro mínimo de partícula (arena típica)	0,20 mm
Gravedad especifica de arena (típica)	2,65 gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico (materia orgánica)	1,1 gr/cm <sup>3</sup>
Velocidad de sedimentación (Vs)	0,020 m/s
Velocidad de arrastre (arena) (Va)	0,23 m/s
Velocidad de arrastre (materia orgánica)	0,056 m/s
Velocidad de arrastre considerada (Vac)	0,20 m/s

	Cálculos de un modulo	Total de los dos módulos
Área superficial (As)	AS= 0.575 m <sup>2</sup>	AS= 1.15 m <sup>2</sup>
Carga superficial (Cs)	CS= 1728 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día	CS= 3456 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día
Área transversal (At)	At= 0.058 m <sup>2</sup>	At= 1.16 m <sup>2</sup>

De la ecuación  $A_t = b \times h$  considerando un tirante de agua de 0.30 m

$$b = \frac{0.058 \text{ m}^2}{0.30} = 0.19 \text{ m}$$

Para fines constructivos de los dos módulos se considera;

Un ancho de canal (b) de 40 cm.  
Una altura o tirante de agua (h) de 0.30 m.

*Calculando un modulo se obtiene el largo de los dos ya que cuentan con las mismas dimensiones.*

Longitud del desarenador

$$L = 3 \text{ m}$$

Por efecto de turbulencia en la entrada y salida del desarenador, se recomienda un incremento de longitud que va de  $2h$  a  $0.5L$ .

$$2h = 2 (0.30 \text{ m}) = 0.60 \text{ m}$$

$$0.5L = 0.5 (3 \text{ m}) = 1.5 \text{ m}$$

Para este caso se considera una longitud adicional de 1.0 m por lo que la longitud total del canal desarenador será de:

$$L_t = 3 + 1 = 4.0 \text{ m}$$

Con objeto de tener un volumen adicional para almacenamiento de arenas se considera una altura de 25 cm., adicionales en el fondo del canal.

Es decir que el volumen de arenas será de:

$$\text{Vol. Arena} = 4.0 \times 0.25 \times 0.40 = 0.40 \text{ m}^3$$

#### Dispositivo de medición (vertedor rectangular)

En este caso no se consideran contracciones laterales, por lo que el ancho de la cresta será igual al ancho del canal, resultando la ecuación siguiente: :  $L = b$  (ancho de canal) = 0.2 m.

$$Q = 0.01822(L)(h)^{3/2}$$

A continuación en la **tabla 32** se presentan los gastos para diferentes alturas de agua (nivel de agua).

**Tabla 32.** Gastos con respecto a la altura del vertedero.

Nivel de agua sobre vertedor (cm), h.	Gasto de descarga (l/s)	volumen de descarga (m <sup>3</sup> /día)
1.0	0.3644	0.0004
2.0	1.0307	0.0010
3.0	1.8935	0.0019
4.0	2.9152	0.0029
5.0	4.0741	0.0041
6.0	5.3556	0.0054
7.0	6.7488	0.0067
8.0	8.2454	0.0082
9.0	9.8388	0.0098
10.0	11.5233	0.0115
11.0	13.2944	0.0133
12.0	15.1478	0.0151
13.0	17.0802	0.0171
14.0	19.0884	0.0191
15.0	21.1697	0.0212



#### 4.6.2. Dimensionamiento del sistema común de Tratamiento

Tabla 33.

<b>Información global de las Aguas Residuales (AR) Domesticas de la Cabecera municipal Cintalapa de Figueroa.</b>		
Población proyecto (año 2032)	11372	Habitantes
Gasto medio	19.74	l/s
Gasto mínimo	9.87	l/s
Gasto Máximo Diario	27.64	l/s
Gasto Máximo Horario	30.60	l/s
Gasto Máximo Instantáneo	57.23	l/s
Gasto Máximo Extraordinario	85.85	l/s
Aportación de AR	150	l/hab/día
<b>Descarga de Aguas Residuales De la candelaria con un 39.86% de la descarga Total</b>		
Gasto medio de AR	7.87	l/s
Capacidad de Tratamiento (QMáxHor)*	13	l/s
Numero de módulos	2	
Capacidad por modulo	6.5	l/s
	561.6	m <sup>3</sup> /día
Carga orgánica aplicada por modulo	143.99	Kg DBO <sub>5</sub> /día
Tipo de tratamiento	Biológico	
Eficiencia de tratamiento		
Cuerpo receptor	Rio Nicolás Bravo	
Norma aplicable	NOM-001-SEMARNAT-2006	

\*Datos obtenidos de la [tabla 27](#).

#### Tanque sedimentador primario rectangular

A continuación se presentan los datos utilizados para el cálculo de las dimensiones del sedimentador primario.

**Tabla 34.** Datos de diseño.

Gasto máximo Horario (QMáxHor)	13 l/s (1123.2 m <sup>3</sup> /día)
Numero de módulos	2
Capacidad por modulo (Qd)	6.5 l/s (561.6 m <sup>3</sup> /día)
Carga orgánica (DBO <sub>5</sub> )	256.4 mg / l
Carga volumétrica por modulo	32.4 Kg. DBO / día

Eficiencia considerada (So)

70 %

**Tabla 35.** Características operacionales

<b>Factor de carga orgánica</b>	<b>36– 50 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/día</b>
Tiempo de retención hidráulica	0.5 – 1.5 horas
Concentración en el Efluente	<b>0-5 gr SSV / l</b>
Velocidad Ascensional	<b>0.8-1.80 m / h (0.036 /s)</b>

En la siguiente tabla se presenta el dimensionamiento del tanque empleando los datos de las tablas anteriores (**Tabla 36** ).

**Tabla 36.** Dimensiones del sedimentador rectangular.

<b>Parámetros</b>	<b>Para un módulo</b>	<b>Para dos módulos</b>
volumen	35.1 m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
profundidad	3 m	3 m
Área total	11.7 m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Tiempo de retención hidráulica	1.5 horas	1.5 horas
Ancho	2 m	4 m
Largo	6 m	6 m
Tirante útil	3 m	3 m
Velocidad en canales de entrada	0.3 m/s	0.3 m/s
Velocidad en la sección del desarenador	0.000555 m/s	0.000555 m/s
Carga orgánica volumétrica	15.92 kg DQO/m <sup>3</sup> d	kg DQO/m <sup>3</sup> d
Bordo libre	0.5 m	0.5
Profundidad total	3.5 m	3.5 m

### Humedal Artificial de flujo superficial con plantas flotantes

Tabla 37.

<b>Parámetros</b>	<b>Para un módulo</b>	<b>Para dos módulos</b>
volumen	707.62 m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
profundidad	2 m	2 m
Área superficial del humedal	354.74 m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Tiempo de retención hidráulica	1.26 días	1.26 horas
Ancho	14 m	28 m
Largo	28 m	28 m
Tirante útil	2 m	2 m

Altura de tubería de distribución	0.5 m	0.5 m
Carga orgánica volumétrica	15.92 kg DQO/m <sup>3</sup> d	kg DQO/m <sup>3</sup> d
Bordo libre	0.5 m	0.5
Profundidad total	3.0 m	3.0 m

## Diseño del sistema de desinfección

Tabla 38 .Base de diseño

Gasto máximo Horario (QMáxHor)	13 l/s
Numero de módulos	2
Gasto por modulo	6.5 l/s
Dosificación máxima (D)	6 mg/Lts (561.6 m <sup>3</sup> /día)
Tiempo de contacto mínimo (Tc)	45 min
Reactivo desinfectante	Hipoclorito de calcio
Concentración de cloro)	65 %

Tabla 39. Dimensiones del taque de desinfección.

Parámetros	Para un módulo	Para dos módulos
Consumo de clora gas, Cc	3.3696 kg/día	6.7392 kg/día
Consumo de Hipoclorito de Calcio, Ch	5.184 kg/día	10.37 kg/día
Reserva mínima en 20 días	103.68 kg	207.36 kg
Cuñetes de 40 kg por 20 días	3	6
Volumen	17.55 m <sup>3</sup>	35.1 m <sup>3</sup>
Tirante útil	2.5 m	2.5 m
Área	7.02 m <sup>2</sup>	14.04 m <sup>2</sup>
ancho	2 m	4 m
Largo	3.80 m	3.80 m
Bordo libre	0.5 m	0.5
Profundidad	3 m	3

Para propiciar la mezcla adecuada se considera la instalación de mamparas deflectoras en el interior del tanque de contacto de cloro las mamparas serán para propiciar el flujo horizontal y la separación de cada mampara será 105 cm.

### Diseño del manejo de lodos

Por lo que el volumen de lodos considerados será:



$$V = 7.2 \text{ m}^3$$

Por modulo es decir;

Que en total el volumen estimado de lodos que se genera será de  $14.4 \text{ m}^3$  por los dos módulos +  $22 \text{ m}^3$  de la Ptar el Del centro,  $V_t = 36.4 \text{ m}^3$

Considerando que este lodo se evacue en un periodo de 8 días.

$$\frac{36.4 \text{ m}^3}{8 \text{ dia}} = 4.55 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

Para el deshidratado de lodo se considera la utilización de 3 lechos de arena para el deshidratado de lodo.

Las características de este lecho son las siguientes:

Espesor de grava	=	0,30 m
Espesor de arena	=	0,30 m
Altura útil	=	1.5 m
Bordo libre	=	0.40 m
Altura total	=	2.5 m

Las dimensiones de los tanques donde se alojaran los lechos de arena para secado de lodos son:

Largo	=	4,00 m
Ancho	=	2,5 m
Tirante útil	=	1.5 m

Por lo tanto el volumen total de los tres tanques con lechos de arena será:

$$V = 45 \text{ m}^3$$

El volumen es mayor al estimado, por lo que se considera adecuado.

#### 4.7. Propuesta de diseño para la descarga de AR Del centro

##### 4.7.1. Dimensionamiento del sistema común de Pretratamiento

**Tabla 40.** Datos de diseño para el sistema de pretratamiento para la descarga de AR El Del centro.

<b>Información global de las Aguas Residuales (AR) Domesticas de la Cabecera municipal Cintalapa de Figueroa.</b>		
Población proyecto (año 2032)	11372	Habitantes
Gasto medio	19.74	l/s
Gasto mínimo	9.87	l/s
Gasto Máximo Diario	27.64	l/s
Gasto Máximo Horario	30.60	l/s
Gasto Máximo Instantáneo	57.23	l/s
Gasto Máximo Extraordinario	85.85	l/s
Aportación de AR	150	l/hab/día
<b>Descarga de Aguas Residuales Del centro con un 60.14% de la descarga Total</b>		
Gasto promedio de AR*	12	l/s
Capacidad de Pretratamiento (QMáxIns)*	35	l/s
Carga orgánica (DBO <sub>5</sub> )	258.4	mg/l
Numero de módulos	2	
Capacidad por modulo	17.5	l/s
	1512	m <sup>3</sup> /día
Carga orgánica aplicada por modulo	390.70	Kg DBO <sub>5</sub> /día
Tipo de tratamiento	Biológico	
Eficiencia de tratamiento		
Cuerpo receptor	Rio El Del centro	
Norma aplicable	NOM-001-SEMARNAT-2006	

\*Datos obtenidos de la [tabla 28](#).

## Canal de rejillas

Tabla 41 . Datos de diseño

Gasto máximo Instantáneo (Q <sub>MáxInst</sub> )	35 l/s
Numero de módulos	2
Gasto por módulo	17.5 l/s
Claro entre barras (CB)	25 mm (1")
Espesor de barras (EB)	6,3 mm (1/4")
Ancho de barras (W)	3,81 mm (1/2")
Angulo de inclinación ( $\Theta$ )	60°
Velocidad de aproximación (V <sub>a</sub> )	0,60 m/s
Velocidad a través de rejas (VR)	>0.7 m/s

	Cálculos para un módulo	Para los dos módulos
Área transversal (At)	At= 0.03 m <sup>2</sup>	At= 0.038 m <sup>2</sup>
Tirante de canal	a= 0.12 m	a= 0.24 m
Ancho de canal	b= 0.25 m	b= 0.50 m

Para fines constructivos de los dos módulos;

El ancho del canal (b) se considera de 60 cm.

Tirante de agua (h) de 15 cm

Un bordo libre (BL) de 0.55 m

Altura total (H) del canal será de 0.70 m.

*Para alojar las rejillas y la charola de secado de sólidos se considera una longitud de 3,0 m, lo que facilitara la operación y mantenimiento de estas rejillas.*

Número de barras = 19 para los dos módulos

Ancho del canal = 0.60 m

Tirante del agua = 0.15 m

Velocidades entre barras para los dos módulos, V = 0.48 m/s

*Se considera que esta en el límite de velocidades y no afecta a el funcionamiento de las mismas*

Pérdida de carga a través de la rejilla en los dos módulos, hf= 0.0059 m

*La perdida de carga es mínima de 0.0059 m.*

## Canal desarenador

Tabla 42 . Datos de diseño

Gasto máximo Instantáneo (QMáxInst)	35 l/s
Numero de módulos	2
Gasto por modulo	17.5 l/s
Diámetro mínimo de partícula (arena típica)	0,20 mm
Gravedad especifica de arena (típica)	2,65 gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico (materia orgánica)	1,1 gr/cm <sup>3</sup>
Velocidad de sedimentación (Vs)	0,020 m/s
Velocidad de arrastre (arena) (Va)	0,23 m/s
Velocidad de arrastre (materia orgánica)	0,056 m/s
Velocidad de arrastre considerada (Vac)	0,20 m/s

	Cálculos de un modulo	Total de los dos módulos
Área superficial (As)	AS= 0.875 m <sup>2</sup>	AS= 1.75 m <sup>2</sup>
Carga superficial (Cs)	CS= 1728 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día	CS= 3456 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día
Área transversal (At)	At= 0.088 m <sup>2</sup>	At= 0.176m <sup>2</sup>

De la ecuación  $At = b \times h$  considerando un tirante de agua de 0.30 m

$$b = \frac{0.088 \text{ m}^2}{0.30} = 0.29 \text{ m}$$

$$b = 0.30 \text{ m por modulo.}$$

Para fines constructivos de los dos módulos se considera;

Un ancho de canal (b) de 60 cm.

Una altura o tirante de agua (h) de 0.30 m.

Calculando un modulo se obtiene el largo de los dos ya que cuentan con las mismas dimensiones.

Longitud del desarenador L= 3 m

Por efecto de turbulencia en la entrada y salida del desarenador, se recomienda un incremento de longitud que va de  $2h$  a  $0.5L$ .

$$2h = 2 (0.30 \text{ m}) = 0.60 \text{ m}$$

$$0.5L = 0.5 (3 \text{ m}) = 1.5 \text{ m}$$

Para este caso se considera una longitud adicional de 1.0 m por lo que la longitud total del canal desarenador será de:

$$L_t = 3 + 1 = 4.0 \text{ m}$$

Con objeto de tener un volumen adicional para almacenamiento de arenas se considera una altura de 25 cm., adicionales en el fondo del canal.

Es decir que el volumen de arenas será de:

$$\text{Vol. Arena} = 4.0 \times 0.25 \times 0.60 = 0.60 \text{ m}^3$$

#### Dispositivo de medición (vertedor rectangular)

En este caso no se consideran contracciones laterales, por lo que el ancho de la cresta será igual al ancho del canal, resultando la ecuación siguiente:  $L = b$  (ancho de canal) = 0.3 m.

$$Q = 0.01822(L)(h)^{3/2}$$

A continuación en la [tabla 43](#) se presentan los gastos para diferentes alturas de agua (nivel de agua).

**Tabla 43.** Gastos con respecto a la altura del vertedero.

Nivel de agua sobre vertedor (cm), h.	Gasto de descarga (l/s)	Volumen de descarga (m <sup>3</sup> /día)
1.0	0.5466	0.0005
2.0	1.5460	0.0015
3.0	2.8402	0.0028
4.0	4.3728	0.0044
5.0	6.1112	0.0061
6.0	8.0333	0.0080
7.0	10.1232	0.0101
8.0	12.3681	0.0124
9.0	14.7582	0.0148
10.0	17.2850	0.0173
11.0	19.9415	0.0199
12.0	22.7217	0.0227
13.0	25.6203	0.0256
14.0	28.6327	0.0286
15.0	31.7546	0.0318

## Dimensionamiento del sistema común de Tratamiento

Para el diseño del sistema de tratamiento el caudal se dividió en 2 para tener una mayor seguridad en cada proceso.

**Tabla 44.** Datos de diseño para el sistema de tratamiento para la descarga de AR El Del centro.

<b>Información global de las Aguas Residuales (AR) Domesticas de la Cabecera municipal Cintalapa de Figueroa.</b>		
Población proyecto (año 2032)	11372	Habitantes
Gasto medio	19.74	l/s
Gasto mínimo	9.87	l/s
Gasto Máximo Diario	27.64	l/s
Gasto Máximo Horario	30.60	l/s
Gasto Máximo Instantáneo	57.23	l/s
Gasto Máximo Extraordinario	85.85	l/s
Aportación de AR	150	l/hab/día
<b>Descarga de Aguas Residuales Del centro con un 60.14% de la descarga Total</b>		
Gasto medio de AR*	8	l/s
Capacidad de Tratamiento (QMáxHor)*	19	l/s
Numero de módulos	2	
Capacidad por modulo	9.5	l/s
	820.8	m <sup>3</sup> /día
Carga orgánica aplicada por modulo	212.09	Kg DBO <sub>5</sub> /día
Tipo de tratamiento	Biológico	
Eficiencia de tratamiento		
Cuerpo receptor	Rio Nicolás Bravo	
Norma aplicable	NOM-001-SEMARNAT-2006	

\*Datos obtenidos de la [tabla 28](#).

### Tanque sedimentador primario rectangular

A continuación se presentan los datos utilizados para el cálculo de las dimensiones del sedimentador primario.

**Tabla 45.** Datos de diseño.

Gasto máximo Horario (QMáxHor)	19 l/s (1641.6 m <sup>3</sup> /día)
Numero de módulos	2
Capacidad por modulo (Qd)	9,5 l/s (820.8 m <sup>3</sup> /día)
Carga orgánica (DBO <sub>5</sub> )	258.4 mg/l

Carga volumétrica por modulo	212,094 Kg. DBO / día
Eficiencia considerada (So)	70 %

**Tabla 46.** Características operacionales

Factor de carga orgánica	36– 50 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> /día
Tiempo de retención hidráulica	0.5 – 1.5 horas
Concentración en el Efluente	0-5 gr SSV / l
Velocidad Ascensional	0.8-1.80 m / h (0.036 /s)

En la siguiente tabla se presenta el dimensionamiento del tanque empleando los datos de las tablas anteriores (**Tabla 47**).

**Tabla 47.** Dimensiones del sedimentador rectangular.

Parámetros	Para un módulo	Para dos módulos
volumen	34.2 m <sup>2</sup>	68.4 m <sup>2</sup>
profundidad	3.5 m	3.5 m
Área total	9.77 m <sup>2</sup>	19.54 m <sup>2</sup>
Ancho	2 m	4 m
Largo	5.5 m	5.5 m
Tirante útil	3.5 m	3.5 m
Velocidad en canales de entrada	0.3 m/s	0.3 m/s
Velocidad en la sección del desarenador	0.000277 m/s	0.000277 m/s
Carga orgánica volumétrica	24.82 kg DQO/m <sup>3</sup> d	49.63 kg DQO/m <sup>3</sup> d
Bordo libre	0.5 m	0.5
Profundidad total	4 m	4 m

### Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente con medio filtrante de plástico convencional.

**Tabla 48.** Condiciones de diseño

Gasto máximo Horario (QMáxHor)	19 l/s (1641.6 m <sup>3</sup> /día)
Numero de módulos	2
Capacidad por modulo (Qd)	9,5 l/s (820.8 m <sup>3</sup> /día)
Carga orgánica (DBO <sub>5</sub> )	90.44 mg / l
Carga volumétrica por modulo	77.52 Kg. DBO / día
Materia filtrante	Soporte plástico
Espesor del lecho	2 m
Diámetro del material	600x600x1200 mm
Eficiencia considerada (So)	90 %

**Tabla 49.** Características operacionales del proceso

Densidad de carga orgánica	0,15 a 30 kg DQO/m <sup>3</sup> /día
Concentración en el reactor	10-20 gr SSV/l
Concentración en el Efluente	0-10 gr SSV/l
Tiempo de arranque	20 - 70 días

**Tabla 50.** Dimensiones del FAFA.

Parámetros	Para un módulo
Carga orgánica volumétrica	254.51 kg/día
Diámetro	2 m
Profundidad	6 m
Área	3.1416 m <sup>2</sup>
Volumen vacío del tanque	18.85 m <sup>3</sup>
Volumen real con medio filtrante	17.91 m <sup>3</sup>
Carga volumétrica hidráulica	14.21 kg DQO/ m <sup>3</sup> d
TRH	33.07 mín.
TRHr	31.41 mín.
Carga orgánica COV	3.553 kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> .d
Carga orgánica COS	20.254 kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> .d

El caudal total se dividió en dos dando por resultado dos cilindros de las mismas dimensiones para depurar el AR de la descarga El Del centro.

### Diseño del sistema de desinfección

**Tabla 51.** Base de diseño

Gasto máximo Horario (QMáxHor)	19 l/s ( m <sup>3</sup> /día)
Numero de módulos	2
Gasto por modulo	9.5 l/s
Dosificación máxima (D)	6 mg/Lts
Tiempo de contacto mínimo (Tc)	45 min
Reactivo desinfectante	Hipoclorito de calcio
Concentración de cloro)	65 %
Eficiencia	

**Tabla 52.** Dimensiones del taque de desinfección.

Parámetros	Para un módulo	Para dos módulos
Consumo de clora gas, Cc	4.9248 kg/día	9.8496 kg/día



Consumo de Hipoclorito de Calcio, Ch	7.58 kg/día	15.16 kg/día
Reserva mínima en 20 días	151.6 kg	303.2 kg
Cuñetes de 40 kg por 20 días	4	8
Volumen	25.65 m <sup>3</sup>	51.3 m <sup>3</sup>
Tirante útil	3 m	3 m
Área	8.55 m <sup>2</sup>	17.1 m <sup>2</sup>
Ancho	2.10 m	4.20 m
Largo	4.20 m	4.20 m
Bordo libre	0.5 m	0.5
Profundidad	3.5 m	3.5

Para propiciar la mezcla adecuada se considera la instalación de mamparas deflectoras en el interior del tanque de contacto de cloro las mamparas serán para propiciar el flujo horizontal y la separación de cada mampara será 105 cm.

Diseño del manejo de lodos

Por lo que el volumen de lodos considerados será:

$$V = 11 \text{ m}^3$$

Por modulo es decir;

Que en total el volumen estimado de lodos que se genera será de **22 m<sup>3</sup>**

Considerando que este lodo se evacue en un periodo de 8 días.

$$\frac{22 \text{ m}^3}{8 \text{ dia}} = 2.75 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

Para el deshidratado de lodo se considera la utilización de 3 lechos de arena para el deshidratado de lodo, las cuales serán enviados a la Planta de la descarga zona alta, en la unidad deportiva de Nicolás Bravo.

# CAPITULO 5

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

#### 5.1.1. *Análisis de la caracterización del agua residual; Descarga de AR De la candelaria*

Con base en el estudio de caracterización realizado a la descarga de agua residual De la candelaria de la cabecera municipal de Cintalapa de Figueroa, Chiapas, los resultados demuestran valores pertenecientes a aguas residuales domésticas, además, las concentraciones de DBO<sub>5</sub> se encuentran en rangos de 186-328 mg/L con tendencia alta.

Las concentraciones más bajas de los parámetros característicos del agua residual se registraron durante la temporada de lluvia (23 de mayo-21 de junio).

La relación entre las concentraciones de DBO<sub>5</sub>/DQO es de 0.26 lo que corresponde a que contienen una elevada cantidad de residuos biodegradables, con esto podemos decir que el líquido residual se puede depurar con procesos biológicos.

Cabe destacar que los valores de pH 7.86 y temperatura 22.46°C en el agua residual se mantienen dentro de los valores óptimos para la correcta actividad microbiana, ya que esto es de suma importancia para el consumo de la materia orgánica.

La concentración de sólidos suspendidos totales (SST) en líquido residual durante el tiempo de muestreo se encontró por encima del límite máximo permisible con 334 mg/L (40-60 mg/l establecido en la NOM-001-SEMARNAT-2006).

Los valores significativos de SST y DQO en el agua residual durante la época de estiaje corresponden a aguas muy contaminadas. Así mismo, la concentración de dureza (CaCO<sub>3</sub>) se mantiene en valores de 114-162 mg/L clasificados en agua dura a poco dura.

El aporte unitario de DBO<sub>5</sub> (38.46 g/hab/d) es mayor al reportado en la literatura (30-35 g/pers.\*d), evidenciando la importancia de caracterizar cada situación particular así como generar parámetros de diseño y operación representativos de la realidad socioeconómica y ambiental del país. Con respecto al aporte unitario volumétrico (149.5 L/hab/d) se encuentra por ligeramente debajo o igual a lo establecido bibliográficamente (150 l/hab/d), ya que es una zona muy lluviosa y donde la dotación de agua potable es mayor que en otros municipios, pero en horas de la madrugada se presentan caudales inferiores.

En tanto a los valores de Coliformes Totales mayores a  $4.72 \times 10^7$  UFC/100ml y Coliformes Fecales mayor que  $2.78 \times 10^7$  UFC/100ml que se presentaron, son mayores que a los establecidos en bibliografías certificadas para poblaciones pequeñas.

#### *5.1.2. Análisis de la caracterización del agua residual; Descarga de AR Del centro*

Con base en el estudio de caracterización realizado a la descarga de agua residual Del centro de la cabecera municipal de Cintalapa de Figueroa, Chiapas, los resultados demuestran valores pertenecientes a la igual que "El De la candelaria" a aguas residuales domésticas, además, las concentraciones de  $DBO_5$  se encuentran en rangos de 205-325 mg/L con tendencia alta.

Las concentraciones más bajas de los parámetros característicos del agua residual se registraron durante la temporada de lluvia (23 de mayo-21 de junio).

La relación entre las concentraciones de  $DBO_5$ /DQO es de 0.25 lo que corresponde a que contienen una elevado cantidad de residuos biodegradables, con esto podemos decir que el líquido residual se puede depurar con procesos biológicos.

Cabe destacar que los valores de pH 7.98 y temperatura  $21.62^\circ\text{C}$  en el agua residual se mantienen dentro de los valores óptimos para la correcta actividad microbiana, ya que esto es de suma importancia para el consumo de la materia orgánica.

La concentración de sólidos suspendidos totales (SST) en líquido residual durante el tiempo de muestreo se encontró por encima del límite máximo permisible con 354 mg/L (40-60 mg/l establecido en la NOM-001-SEMARNAT-2006).

Los valores significativos de SST y DQO en el agua residual durante la época de estiaje corresponden a aguas muy contaminadas. Así mismo, la concentración de dureza ( $\text{CaCO}_3$ ) se mantiene en valores de 162-186 mg/L clasificados para un agua dura.

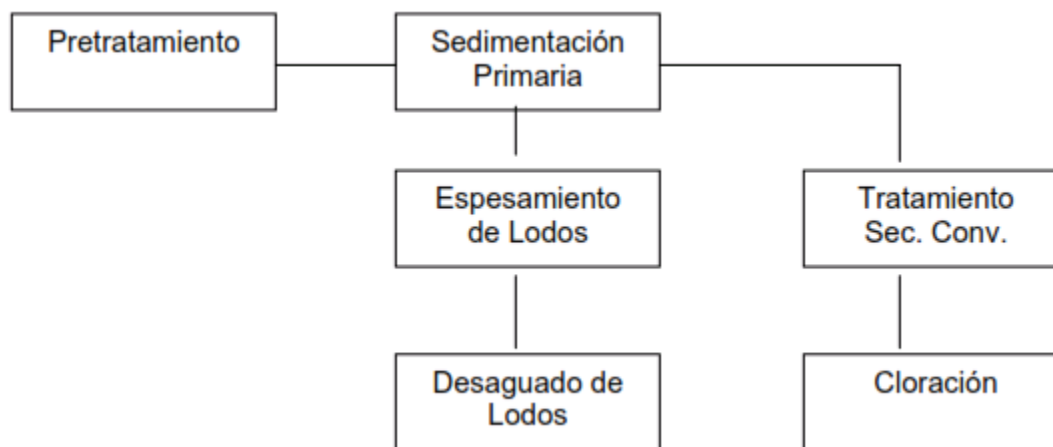
El aporte unitario de  $DBO_5$  (38.76 g/hab/d) es mayor al reportado en la literatura (30-35 g/pers.\*d), evidenciando la importancia de caracterizar cada situación particular así como generar parámetros de diseño y operación representativos de la realidad socioeconómica y ambiental del país. Con respecto al aporte unitario volumétrico (149.5 L/hab/d) se encuentra por ligeramente debajo o igual a lo establecido bibliográficamente (150 l/hab/d), ya que es una zona muy lluviosa y donde la dotación de agua potable es mayor que en otros municipios, pero en horas de la madrugada se presentan caudales inferiores.

En tanto a los valores de Coliformes Totales mayor que  $3.04 \times 10^7$  UFC/100ml y Coliformes Fecales mayor a  $1.45 \times 10^7$  UFC/100ml que se presentaron son mayores que a los establecidos en bibliografías certificadas para poblaciones pequeñas.

## Propuestas de diseño de una planta de tratamiento del agua residual

### Nivel 2. Tren Convencional de Tratamiento Secundario

Figura 21. Diagrama de flujo del nivel dos de la CONAGUA para depuración de AR.



Fuente. CONAGUA, 2007

Tren convencional de tratamiento secundario a partir de un proceso de lodos activados completamente mezclado, conformado por pretratamiento, tratamiento primario y tanques de aereación y sedimentación secundaria. Nuevamente, en este tren se calcularon los costos de cloración del efluente secundario, así como los costos de espesamiento de efluente secundario, así como los costos de espesamiento de lodos y filtros prensa para el desaguado de los mismos (CONAGUA, 2007).

La creciente demanda sobre el adecuado manejo de los recursos, ha hecho necesario la implementación de mecanismos que permitan la reutilización de los mismos.

La implementación de una Planta de Tratamiento para las Aguas Residuales en la cabecera municipal Cintalapa de Figueroa, Chiapas, representa una oportunidad en el plan ambiental ya que con ello se reducirá el nivel de descarga de contaminantes a los ríos intermitentes que existen en esta región denominado El Del centro y Nicolás Bravo que posteriormente conforman al río "El Grande", y con ello también aminorar los riesgos a la salud de la población y mitigar el daño ambiental tratando las descargas del agua residual antes de ser vertidas a fuentes hídricas que son utilizadas como un destino turístico y recreativo en la comunidad de Rio Grande por los pobladores del municipio de Cintalapa de Figueroa, Chiapas.

## FUENTES DOCUMENTALES

- ARIZABALO, R. D. Y DÍAZ, G.; La contaminación del agua subterránea y su transporte en medios porosos; universidad autónoma de México.
- BERNARD J. NEBEL, RICHARD T. VRIGHT. Ciencias Ambientales: Ecología y desarrollo sostenible.1996.
- Cuaderno Estadístico Municipal de Cintalapa de Figueroa, Chiapas. edición 2005.
- DA ROS, GIUSEPPINA; La contaminación de aguas en Ecuador: una aproximación económica.
- FERREIRA, PEDRO. Recursos Naturales y Sostenibilidad Agrícola en Mesoamérica. SAGAR, CORECA, IFPRI, México D.F. 1996.
- HUTTON, CHICO Y BARTRAM, JAMIE; Los costos mundiales del logro del Objetivo de Desarrollo del Milenio sobre el abastecimiento de agua y saneamiento; Boletín de la Organización Mundial de la Salud 86 no.1 13-19 January 2008.
- INEGI, 2010. II Censo Nacional de Población y Vivienda. Cintalapa de Figueroa, Chiapas.
- JIMÉNEZ CISNEROS, BLANCA ELENA; la contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. México: Limusa. Colegio de Ingenieros Ambientales de México. A. C., Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA, 2001. 926p. ilus.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente.
- MARA, D. 1976. Sewage Treatment in Hot Climates, Wiley Interscience, NewYork, 168 Pp.
- MARIAS, G.V.R. Y VAN HAANDEL, A.C. 1996. Design of Grit Channels controlled by ParshallFlumer, Water Science and Tecnology. Vol. 33.
- METCALF & EDDY, 1985. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento vertido y reutilización. Tomo 1, Editorial Mc Graw Hill, 752 Pp.
- NOYOLA, A. 1995. El tratamiento anaerobio de aguas residuales como tecnología sustentable, en Memorias Segundo Minisimposio Internacional sobre Eliminación de Contaminantes de Aguas y Suelos, Instituto de Ingeniería-UNAM, México, 106-109.

- RAMALHO S., RUBÉN. 1993. Tratamiento de aguas residuales. Faculty of Science and Engineering Laval University Quebec, Canada. Editorial Reverté, S.A. México.
- RAMALHO S., RUBENS; Jimenez beltrán, Domingo; De Lorca, Federico: Introduction to wastewaters Treatment Processes, Second Edition, Sevilla, 1996.
- ROMERO ROJAS, JAIRO ALBERTO. 1999. Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño. Escuela colombiana de ingeniería.
- SALAZAR, D. 2003. Guía para el manejo de excretas y aguas residuales municipales. PROARCA/SIGMA. Guatemala.
- SEÓANEZ, CALVO MARIANO. 1999. Aguas Residuales: tratamiento por humedales artificiales. Editorial Mundi-Prensa.
- T.H.Y. TEBBUTT. Principles of water quality control. Departamento de ingeniería civil, Universidad de Birmingham, LIMUSA.
- VAN KOPPEN B., SMITS S., MORIARTY P., Penning de Vries F., Mikhail M., Boelee E., Ascendiendo la escala del agua: servicios de abastecimiento de agua de usos.

#### ANEXOS

## ANEXOS FOTOGRAFICOS

Figura 22. Descarga de AR De la candelaria al río "La venta", Cintalapa de Figueroa, Chiapas.



Fuente. Campo.

Figura 23. Descarga de AR Del centro al río "Del centro", Cintalapa de Figueroa, Chiapas.



Fuente. Campo.

Figura 24. Descargas no contempladas en sistema de alcantarillado municipal las cuales son vertidas directamente al río Del centro sin previo tratamiento.



Fuente. Campo.





## ANEXOS NORMATIVOS

### **NOM-001-SEMARNAT-2006.**

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

### **NOM-003-SEMARNAT-2006.**

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reutilicen en servicios al público.

### **NOM-004-SEMARNAT-2002.**

Que establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final.

### **NMX-AA-003-1980.**

Que establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales.

### **NMX-AA-079-2001**

Análisis de aguas, determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.

### **NMX-AA-093-2000**

Análisis de agua, determinación de la conductividad electrolítica, método de prueba.

### **NMX-AA-102-SCFI-2006**

Calidad del agua, detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva, método de filtración en membrana.

### **NMX-AA072-2001**

Análisis de agua, determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, método de prueba.

### **NMX-AA-036-2001**

Análisis de agua, determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, método de prueba.

**NMX-AA-034-2001**

Análisis de agua, determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, método de prueba.

**NMX-AA-030-2001**

Análisis de agua, determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, método de prueba.

**NMX-AA-028-2001**

Análisis de agua, determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (db<sub>5</sub>) y residuales tratadas, método de prueba.

**NMX-AA-012-2001**

Análisis de agua, determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, método de prueba.

**NMX-AA-008-SCFI-2011**

Análisis de agua, determinación del pH, método de prueba.

**NMX-AA007-1980**

Análisis de agua, determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, método de prueba.

## ANEXOS DE FORMULAS

A continuación se presentan la formulas para calcular los gastos proyectados a 20 años:

Formulas para obtener Gastos

*Población de Proyecto (Pp):*

$$Pp: Pa * (1 + r) ^ n$$

Donde:

Pp =Población de proyecto

Pa =Población actual.

r =Tasa anual de crecimiento de la poblacional

n =Periodo de proyección del proyecto.

*Gasto Medio Diario*

$$Qmed: Pa \times Aportación / 86,400$$

Donde:

Qmed=Gasto medio diario (l/s)

Pa =Población Actual (hab)

Dotación =Cantidad de Agua asignada a cada habitante (l/hab/día)

86,400 =Numero de segundos que componen un día (seg/día)

*Gasto Mínimo Diario*

$$Qmín= Qmed \times Cmín$$

Donde:

Qmín =Gasto mínimo diario

Qmed =Gasto medio

Cmín= Coeficiente para gasto mín (0.5.)

*Gasto Máximo Diario*

$$QMáxDia=Qmed \times CDiario$$

QMáxDia=Gasto Máximo Diario

Qmed=Gasto medio

CDiario= Coeficiente para gasto máximo diario (1.4)

*Gasto Máximo Horario*

$$Q_{\text{MáxHor}} = Q_{\text{med}} \times C_{\text{Horario}}$$

$Q_{\text{MáxHor}}$  = Gasto Máximo Horario

$Q_{\text{med}}$  = Gasto medio

$C_{\text{Horario}}$  = Coeficiente para gasto máximo horario (1.55)

*Gasto Máximo Instantáneo*

$$Q_{\text{máx Inst}} = Q_{\text{md}} \times C_{\text{Charmon}}$$

Donde:

$Q_{\text{máx Inst}}$  = Gasto máximo instantáneo

$Q_{\text{md}}$  = Gasto medio

$C_{\text{Charmon}}$  = Coeficiente de Harmon

Cálculo del coeficiente de harmon

$$C_{\text{Charmon}} = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}}$$

Donde:

$P$  = Población servida en miles

$$C_{\text{Charmon}} = 1 + (14 / (4 + \sqrt{7.468P}))$$

*Gasto de Máximo Extraordinario*

$$Q_{\text{máx Ext}} = Q_{\text{máx Inst}} \times C_s$$

Donde:

$Q_{\text{máx Ext}}$  = Gasto máximo extraordinario

$Q_{\text{máx Inst}}$  = Gasto máximo Instantáneo

$C_s$  = Coeficiente de seguridad (1.5)