



**TECNOLOGICO NACIONAL DE MEXICO**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ**

**INGENIERIA QUIMICA**

**INFORME TECNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL**

**TEMA:**

**DESINFECCIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL  
FRACCIONAMIENTO GRAND PEDREGAL PARA CUMPLIR LA  
NORMA 003-ECOL**

**LUGAR DE REALIZACIÓN:**

**SANEAMIENTO DEL SURESTE MEXICANO**

**ASESOR INTERNO:**

**ING. CUESTA DIAZ RENE**

**ASESOR EXTERNO:**

**LIC SANDOVAL ZUÑIGA MAURICIO**

**PRESENTADO POR:**

**PALOMEQUE MONTESINOS LUIS ANDRES**

**No. DE CONTROL:**

**12270569**

*Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 15 de Junio del 2017*

## INDICE

### Contenido

<b>1 INTRODUCCION</b> .....	<b>5</b>
<b>2 JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>6</b>
<b>3 OBJETIVO</b> .....	<b>7</b>
3.1 Objetivo General .....	7
3.2 Objetivo Especifico .....	7
<b>3 LAS AGUAS RESIDUALES</b> .....	<b>8</b>
3.1 RESEÑA HISTÓRICA.....	8
3.2 FUENTES DE CONTAMINACION.....	9
3.2.1 Aguas residuales domesticas .....	9
3.2.2 Aguas Residuales Industriales .....	10
3.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	12
3.3.1 Características físicas y químicas del agua residual doméstica.....	12
3.3.2 Características biológicas y microorganismos de las aguas residuales.....	12
3.3.3 Componentes biológicos de las aguas residuales .....	14
3.3.4 Ecología aplicada a las aguas residuales .....	15
<b>2 CALIDAD DEL AGUA Y NORMALIZACIÓN DE DESCARGAS</b> .....	<b>17</b>
2.1 Tratamiento y reúso de las aguas residuales en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEEPA) .....	17
2.2 Normas oficiales mexicanas .....	17
2.3 NOM-003-ECOL-1996 .....	18
<b>3 Tratamiento de Aguas Residuales</b> .....	<b>19</b>
3.2 Desarenado .....	19
3.3 Tanque de Homogenización.....	21
3.4 Digestor Anaerobio .....	22
3.5 Sedimentación.....	23
3.6 Filtro De Flujo Ascendente .....	24
3.7 Humedad artificial.....	26
3.8 Desinfección .....	26
<b>4 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS</b> .....	<b>30</b>
4.1 Evaluación para métodos de desinfección.....	30
4.2 Descripción General de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	30

<b>4.3 Cálculos</b> .....	<b>31</b>
4.3.1 DOTACION .....	31
4.3.2 COEFICIENTES DE VARIACIÓN DIARIA Y HORARIA .....	32
4.3.3 CLORACION.....	38
<b>5 Resultados</b> .....	<b>40</b>
<b>6 Conclusión y recomendaciones</b> .....	<b>42</b>
<b>7 Competencias desarrolladas y/o aprendidas</b> .....	<b>43</b>
<b>8 Referencias bibliográficas</b> .....	<b>44</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición típica del agua residual domestica .....	10
Tabla 2: Límites máximos permisibles de contaminantes .....	18
Tabla 3: Valores practicos sedimentación.....	20
Tabla 4: Comparación de las características normalmente utilizadas .....	27
Tabla 5: Eliminación o destrucción de bacterias mediante diversos procesos de tratamiento .....	29
Tabla 6: Resultados Totales.....	39

## 1 INTRODUCCION

El tratamiento de aguas residuales, es un proceso de tratamiento que incorpora transformaciones físicas, químicas y biológicas, con el objeto de tratar y remover los contaminantes físicos, químicos y biológicos del agua, efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua ya limpia o reutilizable en el ambiente. Las aguas residuales están constituidas fundamentalmente por las aguas de abastecimiento después de haber pasado por las diversas actividades o usos por parte de la población y son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Esto puede ser tratado dentro del sitio en el cual es generado o recogido y llevado mediante una red de tuberías y eventualmente bombas a una planta de tratamiento local. Los esfuerzos para coleccionar y tratar las aguas residuales de las descargas están típicamente sujetos a regulaciones y estándares locales, estatales y federales (regulaciones, controles, normatividades). Cuando hablamos de recursos industriales de aguas residuales o de procesos que exigen una mayor limpieza del efluente al momento de descargarlo, decimos que requieren tratamientos minuciosos con una tecnología alta (lo cual significan mayores costos de inversión y mantenimiento), es por esto que se hace alusión a la normatividad, todo esto acorde al lugar donde se hará la descarga del líquido. Si estas aguas no se manejan adecuadamente, generan impactos ambientales adversos y diversos en el medio y por esto es que es muy importante cumplir con las exigencias de la normatividad. Es por ello que son necesarias las plantas de tratamiento para mejorar la calidad de vida de la población además de poder darle una reutilización al agua para actividades básicas del ser humano. En México cerca del 80% de las aguas residuales municipales e industriales, se vierten a los cuerpos de agua sin recibir tratamiento alguno. Actualmente se están viviendo graves problemas con la distribución del agua. Gran parte de la realidad es consecuencia de la baja eficiencia en el uso del agua y, sumándolo a los problemas del crecimiento poblacional, se ha provocado que el agua de los ríos y lagos sea insuficiente en algunas zonas, que las fuentes subterráneas sean sobreexplotadas y que la calidad general del agua se haya deteriorado. Todo esto, hace que la labor de preservar el agua no sea fácil y aumenta la necesidad de un cambio total en la forma en la que nos enfrentamos a este recurso natural. Enfocándonos a los problemas de contaminación del agua que se presentan en la localidad, se desarrolló el proyecto de la PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES con la finalidad de abrir camino a la conciencia. Al fusionarla con el uso de la tecnología para la mejora de la vida cotidiana, para que en nuestro estado y en el país, se comience a presentar un cambio, que en nuestros días, se presenta la necesidad de actuar, no pensando simplemente en el presente. El diseño de la planta presenta un tratamiento poco utilizado, con el cual se pretende reducir los costos a comparación al de un tratamiento común y generar una menor inversión económica que cumpla con los parámetros establecidos acorde a la normatividad, y que satisfaga las necesidades que presenta la localidad.

## 2 JUSTIFICACIÓN

El proyecto de la construcción del fraccionamiento Grand Pedregal que se ubica sobre la carretera Tuxtla Gutiérrez- Berriozábal, en el que se tiene contempladas construir 125 viviendas tipo, mismas que albergaran a un promedio de 600 personas de clase media-alta, el cual contara con los servicios básicos (agua, luz y drenaje); conviene señalar que por la ubicación del predio el costo de la incorporación de las aguas residuales a la red de drenaje más cercana sería muy elevado por lo que se optó por construir una planta integral de tratamiento, la cual aparte de purificar dichos residuos contribuirá al cuidado del medio ambiente.

Dicha planta tiene la capacidad de recibir un gasto de aportación del drenaje 1.18 L/s y un gasto máximo extraordinario 6.96 L/s con la cual se pretende reutilizar las aguas tratadas mediante un sistema de riego sobre las ares verdes del fraccionamiento, lo que permite determinar la sustentabilidad del proyecto.

## **3 OBJETIVO**

### **3.1 Objetivo General**

- Evaluar métodos desinfección de las aguas residuales del Fraccionamiento Grand Pedregal para cumplir la norma 003-ECOL

### **3.2 Objetivo Especifico**

- Calcular los volúmenes de los equipos para el tratamiento de aguas residuales.

## 3 LAS AGUAS RESIDUALES

### 3.1 RESEÑA HISTÓRICA

Los métodos de depuración de residuos se remontan a la antigüedad y se han encontrado instalaciones de alcantarillado en lugares prehistóricos de Creta y en las antiguas ciudades. Las canalizaciones de desagüe construidas por los romanos todavía funcionan en nuestros días. Aunque su principal función era el drenaje, la costumbre romana de arrojar los residuos hacia el contenido de los pozos negros se empleaba como fertilizante en las granjas cercanas o era vertido en los cursos de agua o en tierras no explotadas.

Unos siglos después se recuperó la costumbre de construir desagües, en su mayor parte en forma de canales al aire o zanjas en la calle. Al principio estuvo prohibido arrojar desperdicios en ellos, pero en el siglo XIX se aceptó que la salud pública podía salir beneficiada si se eliminaban los desechos humanos a través de los desagües para conseguir su rápida desaparición. Un sistema de este tipo fue desarrollado por Joseph Bazalgette entre 1859 y 1875 con el objeto de desviar el agua de lluvia y las aguas residuales hacia la parte baja del Támesis, en Londres. Con la introducción del abastecimiento municipal de agua y la instalación de cañerías en las casas llegaron los inodoros y los primeros sistemas sanitarios modernos. A pesar de que existían reservas respecto a éstos por el desperdicio de recursos que suponían, por los riesgos para la salud que planteaban y por su elevado precio, fueron muchas las ciudades que los construyeron.

A comienzos del siglo XX, algunas ciudades e industrias empezaron a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas sanitarios. Esto llevó a la construcción de instalaciones de depuración. Aproximadamente en aquellos mismos años se introdujo la fosa séptica como mecanismo para el tratamiento de las aguas residuales domésticas tanto en las áreas suburbanas como en las rurales. Para el tratamiento en instalaciones públicas se adoptó primero la técnica del filtro de goteo. Durante la segunda década del siglo, el proceso de lodo activado, desarrollado en gran Bretaña, supuso una mejora significativa por lo que empezó a emplearse en muchas localidades de ese país y de todo el mundo. Desde la década de 1970, se ha generalizado en el mundo industrializado la cloración, un paso más significativo del tratamiento químico.

Un sistema de alcantarillado está integrado por todos o algunos de los siguientes elementos: atarjeas, colectores, interceptores, emisores, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo, descarga final y obras accesorias. El destino final de las aguas servidas podrá ser, previo tratamiento, desde un cuerpo receptor hasta su reutilización, dependiendo del tratamiento que se realice y de las condiciones particulares de la zona de estudio. Los desechos líquidos de un núcleo urbano, están constituidos, fundamentalmente, por las aguas de abastecimiento después de haber pasado por las



diversas actividades de una población. Estos desechos líquidos, se componen esencialmente de agua más sólidos orgánicos disueltos y en suspensión.

Existe la norma oficial mexicana NOM-CCA-031-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y del tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal; sin embargo la industria, el comercio y el usuario en general, no siempre cumplen con dicha norma, vertiendo substancias que son peligrosas en un alcantarillado, por lo que se debe tener especial cuidado en eliminar este tipo de substancias.

El encauzamiento de aguas residuales evidencia la importancia de aplicar lineamientos técnicos, que permitan elaborar proyectos de alcantarillado económicos, eficientes y seguros, considerando que deben ser auto limpiantes, auto-ventilantes e hidráulicamente herméticos.

## **3.2 FUENTES DE CONTAMINACION**

La clasificación de las aguas residuales se hace con respecto a su origen, ya que este es el que va a determinar su composición. Siendo los residuos urbanos e industriales los que abarcarían gran parte de los contaminantes, generalizando el tema. A continuación detallaremos estos.

### **3.2.1 Aguas residuales domesticas**

Son los vertidos que se generan en los núcleos de población urbana como consecuencia de las actividades propias de éstos. Los aportes que generan esta agua son: aguas negras o fecales, aguas de lavado doméstico, aguas de limpieza de calles, aguas de lluvia y lixiviados, etc.

Las aguas residuales urbanas presentan una cierta homogeneidad en cuanto a composición y carga contaminante, ya que sus aportes van a ser siempre los mismos. Pero esta homogeneidad tiene unos márgenes muy amplios, ya que las características de cada vertido urbano van a depender del núcleo de población en el que se genere, influyendo parámetros tales como el número de habitantes

**Tabla 1: Composición típica del agua residual domestica**

PARAMETRO	CONCENTRACIÓN mg/l		
	DEBIL	MEDIA	FUERTE
SOLIDOS TOTALES (ST)	350	720	1200
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	100	220	350
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO)	110	220	400
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO) TOTAL	250	500	1000
NITROGENO KJELDHAL	20	40	85
FOSFORO TOTAL	4	8	15
GRASAS	50	100	150
COLIFORMES FECALES	106-107		107-109

### 3.2.2 Aguas Residuales Industriales

Son aquellas que proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos no sólo de una industria a otro, sino también dentro de un mismo tipo de industria.

A veces, las industrias no emiten vertidos de forma continua, si no únicamente en determinadas horas del día o incluso únicamente en determinadas épocas de año, dependiendo del tipo de producción y del proceso industrial. También son habituales las variaciones de caudal y carga a lo largo del día. Son mucho más contaminadas que las aguas residuales urbanas, además, con una contaminación mucho más difícil de eliminar.

Su alta carga unida a la enorme variabilidad que presentan, hace que el tratamiento de las aguas residuales industriales sea complicado, siendo preciso un estudio específico para cada caso.

## **TIPOS DE CONTAMINANTES**

La contaminación de los cauces naturales se origina por diversas fuentes, las cuales se pueden generalizar en vertidos urbanos, industriales, agroindustriales, químicos, residuos clínicos, etc. Las sustancias contaminantes que pueden aparecer en un agua residual son muchas y diversas.

### **Contaminantes orgánicos**

**Proteínas:** proceden fundamentalmente de excretas humanas o de desechos de productos alimentarios. Son biodegradables, bastante inestables y responsables de malos olores.

**Carbohidratos:** incluimos en este grupo azúcares, almidones y fibras celulósicas. Proceden, al igual que las proteínas, de excretas y desperdicios.

**Aceites y grasas:** altamente estables, inmiscibles con el agua, proceden de desperdicios alimentarios en su mayoría, a excepción de los aceites minerales que proceden de otras actividades.

### **Contaminantes inorgánicos**

Son de origen mineral y de naturaleza variada: sales, óxidos, ácidos y bases inorgánicas, metales, etc. Aparecen en cualquier tipo de agua residual, aunque son más abundantes en los vertidos generados por la industria. Los componentes inorgánicos de las aguas residuales estarán en función del material contaminante así como de la propia naturaleza de la fuente contaminante.

### **Contaminantes habituales en aguas residuales**

**Arenas:** Entendemos como tales una serie de particular de tamaño apreciable y que en su mayoría son de naturaleza mineral, aunque pueden llevar adherida materia orgánica. Las arenas enturbian las masas de agua cuando están en movimiento, o bien forman depósitos de lodos si encuentran condiciones adecuadas para sedimentar.

**Grasas y aceites:** Son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual.

**Nitrógeno y fósforo:** Tienen un papel fundamental en el deterioro de las masas acuáticas. Su presencia en las aguas residuales es debida a los detergentes y fertilizantes, principalmente. El nitrógeno orgánico también es aportado a las aguas residuales a través de las excretas humanas.

Agentes patógenos: Son organismos que pueden ir en mayor o menor cantidad en las aguas residuales y que son capaces de producir o transmitir enfermedades.

Otros contaminantes específicos: Incluimos sustancias de naturaleza muy diversa que provienen de aportes muy concretos: metales pesados, fenoles, petróleo, pesticidas, etc.

### **3.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS AGUAS RESIDUALES**

#### **3.3.1 Características físicas y químicas del agua residual doméstica**

Los sistemas de drenaje urbano son los que encargan de transportar las aguas residuales de las ciudades, a cuerpos de aguas receptores o al suelo.

Estas aguas son generalmente producto de las actividades del hombre, en residencias e instalaciones comerciales (agua residual doméstica) y producto de las actividades industriales (agua residual industrial). El agua drenada por los sistemas colectores urbanos sufren también la aportación debida a infiltraciones y agua pluvial que resulta de la escorrentía superficial.

En los proyectos desarrollados para la recolección, tratamiento y evacuación de las aguas residuales, es de suma importancia el conocer de forma adecuada los componentes físicos químicos y biológicos de las mismas para establecer estrategias de control de la contaminación y alcanzar las normas de calidad establecidas en las legislaciones vigentes.

Actualmente la gran actividad desarrollada en las ciudades y regiones industriales traen como consecuencia la generación de un sin número de componentes residuales, que presentes en las aguas de drenaje y descargadas en cuerpos receptores pueden ocasionar efectos negativos en el ambiente, modificando sensiblemente las características del mismo, haciéndolo inadecuado para las actividades del hombre y perjudicando el desarrollo de la fauna y de la flora.

Para el planeamiento y control de la calidad de las aguas, se hace entonces necesario el conocimiento de las características físicas - químicas y biológicas y su fuente de procedencia, así como también los contaminantes más importantes considerados en los tratamientos de las aguas residuales

#### **3.3.2 Características biológicas y microorganismos de las aguas residuales**

Las aguas residuales pueden contener millones de bacterias por mililitro: bacilos anaerobios, esporulados, coliformes, estreptococos, bacterias del grupo *Proteus* sp, y otros tipos que proceden del tracto intestinal humano. Además, las aguas residuales domésticas son un buen receptáculo de protozoos, bacterias y virus patógenos, tales como agentes etiológicos de la disentería el cólera, y la fiebre tifoidea.

Las heces de huéspedes infectados pueden fácilmente depositar en las aguas residuales los virus de: poliomielitis, hepatitis infecciosa y coxsackie.

Los rasgos biológicos de las aguas negras lo presentan, indudablemente, las poblaciones bacterianas con una gama de organismos anaeróbicos estrictos y facultativos, así como la presencia de organismos patógenos de todo tipo que van desde virus hasta vermes.

### **Características del agua antes del tratamiento**

Los desechos de distintos tipos producen efectos típicos indeseables; los sólidos, la temperatura, el color, son parámetros físicos medibles y negativos ecológicamente. Los sólidos en un cuerpo de agua natural disminuyen la cantidad de luz necesaria a los vegetales, impiden las funciones branquiales de los peces y aumentan el colchón de sedimento originando así condiciones anaerobias en los lechos bentales.

El color también disminuye la productividad fotosintetizadora al disminuir la entrada de la luz; la temperatura también afecta notablemente a los microorganismos. Tales parámetros físicos, presentes en las aguas negras son inhibidores de las funciones vitales.

Entre los componentes químicos, los hay orgánicos e inorgánicos cuya procedencia es doméstica o industrial, aunque también el lixiviado de tierras produce desechos orgánicos e inorgánicos. Las sustancias orgánicas más comunes son proteínas, carbohidratos, grasa, surfactantes, fenoles, aminoácidos, pesticidas y otras; en cuanto a sustancias inorgánicas éstas son cloruros, alcalinizantes, nitrógenos, fósforos, azufres, compuestos tóxicos, metales pesados, algunos gases como sulfuro de hidrógeno, metano, CO<sub>2</sub> y otras sustancias.

Gran parte de las sustancias orgánicas son aprovechadas por las bacterias y protozoarios (sarcodinos y mastigóforos).

Acontecen además muchas reacciones químicas que permiten la autólisis de variadas sustancias que en ocasiones el resultado final son productos simples como las sales de ácidos grasos solubles, difícilmente degradables como las sales de ácidos grasos insolubles y complejos tóxicos como las cloraminas.

Las proteínas y los carbohidratos son fácilmente degradables y utilizados por microorganismos; algunas grasas y aceites son degradables mientras que otros no, la abundancia de estas sustancias es perjudicial pues forma una capa que impide el intercambio gaseoso aumentando así las características anaeróbicas de las aguas negras.

## **Características del agua después del tratamiento**

Las características finales del agua tratada son muy distintas, pues esto depende de los constituyentes físico-químicos de las aguas negras, del proceso utilizado, de la finalidad del tratamiento y de la acción biológica ejercida sobre tales desechos.

La acción biológica intensa y suficiente produce finalmente agua mineralizada cuyas características son las requeridas en el desarrollo de la flora y la fauna, lo cual significa capacidad de intercambio gaseoso, oxígeno suficiente (6mg/l), materia orgánica biodegradable mínima, y una gran variedad de sustancias minerales, tales como: carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfonatos, nitratos y fosfatos que actúan aniónicamente y cationes como el sodio, potasio calcio y magnesio. Otros compuestos minerales que pueden estar presentes son los silicatos» fluoruros, compuestos de hierro, magnesio, aluminio, boro y otros.

### **3.3.3 Componentes biológicos de las aguas residuales**

Cuando un agua residual que contiene materia orgánica en solución o en suspensión se pone en contacto con una población de microorganismos, éstos la utilizan para efectos de derivar de dicha materia orgánica la energía necesaria para sus procesos vivientes y para asegurar la conservación de la especie con la generación de más microorganismos.

La presencia de contaminantes en el agua modifica la estructura ambiental requerida por los organismos típicos del agua dulce, los cambios pueden afectar la temperatura, la cantidad de oxígeno disuelto, las concentraciones de nutrientes, los depósitos del fondo, etc; sin embargo, son desconocidas aún las necesidades ambientales específicas de muchas especies de algas y protozoos.

Los desechos en las corrientes naturales producen efectos muy variados sobre las comunidades de algas y protozoarios: reduciendo el número de especies, incrementando el número total de individuos de una sola especie, reduciendo la capacidad de colonización de las especies, dominancia de una especie y cambios selectivos en las relaciones parásito y depredador; por ejemplo: en lodos activados, la fase exponencial bacteriana estimula el desarrollo de *Vorticella octava* sp, mientras que la fase estacionaria y la declinante actúa favorablemente sobre *Vorticella convallaria* SP; esto se debe a que *V. octava* sp es depredadora de la microflora, mientras que *Convallaria* SP depende de los productos liberados al medio por acción de la microflora.

### 3.3.4 Ecología aplicada a las aguas residuales

El carácter complejo de los ecosistemas puede reducirse a unidades básicas: componentes abióticos, organismos productores, organismos consumidores y organismos saprotróficos.

En realidad, siempre se presenta una serie de organismos estratificados que van de lo simple a lo complejo acorde a sus necesidades tróficas.

Los componentes abióticos de las aguas negras se presentan en una gama muy variable, cualitativa y cuantitativamente, como mezclas y como compuestos químicos o como simples agregados, de cuyas interacciones obtiene comúnmente un medio acuático exento de oxígeno y rico en nutrientes y materia orgánica. La velocidad de degradación de estas sustancias, la energía aprovechable, la temperatura y las posibles concentraciones de oxígeno, son los factores que regulan la velocidad de funcionamiento de los organismos presentes en estas aguas y la velocidad de degradación de las mismas.

Las aguas negras han sido consideradas como un ecosistema heterotrófico establecido por el hombre en donde la presencia equilibrada de organismos consumidores permitirá la transformación de las mismas debido a la acción de éstos. La función más importante en el proceso heterotrófico es la respiración, de cuya actividad depende el equilibrio del metabolismo autotrófico, es decir, el funcionamiento de dichas plantas; tal respiración es de tipo anaerobio, la que está restringida en gran parte a organismos saprotróficos tales como bacterias, levaduras y protozoos.

Cuando la proporción de detritus orgánicos es grande, comúnmente las bacterias, hongos, protozoarios y otros organismos crean condiciones anaerobias al consumir el oxígeno más rápidamente de lo que puede difundirse en el medio, sin embargo, la descomposición no se detiene, sino que sigue a un ritmo más lento, a condición de que se hallen presentes diversos tipos microbianos de metabolismo anaerobio. Así que, saprófagos anaerobios, tanto forzosos como facultativos, son importantes al ocupar hábitats inhóspitos y producir energía trófica y materiales útiles a organismos aerobios. Las bacterias sulfurosas (verdes y púrpuras) y las de metano, son buenos ejemplos de anaerobios forzosos. Las bacterias sulfurosas (comunes en bancos lodosos de marea) se encuentran en la capa limítrofe entre las zonas oxidativas y reducidas, generalmente entre los sedimentos y donde hay poca luz, estas bacterias son ocasionales en las aguas negras, no así las del metano, que descomponen compuestos orgánicos con producción de metano (CH<sub>4</sub>), mediante reducción de carbono orgánico o carbonato; en este caso la reacción bioquímica puede ser de dos tipos: una en donde el electrón absorbente es un compuesto distinto al oxígeno (respiración anaeróbica) y otra donde el electrón aceptor es un compuesto orgánico.

Las bacterias del género *Desulfovibrio* SP también tienen su función respiratoria anaeróbica, comúnmente actúan en los sedimentos profundos (lodos, por ejemplo) en donde reducen los sulfatos ( $S_04$ ) transformándolos en ácido gaseoso ( $H_2S$ ); este gas puede fácilmente subir a sedimentos menos profundos, en donde pueden actuar sobre él otros organismos, por ejemplo las bacterias fotosintéticas.

En las fases iniciales las aguas negras presentan características no muy bien definidas pero de marcada tendencia hacia la anaerobiosis, por lo que allí se encuentran tipos bacterianos facultativos, es decir bacterias capaces de respiración aeróbica y anaeróbica, los géneros bacterianos comunes en esta fase son: *Aerobacter* SP, *Alcaliaenes* sp, *Escherichia* s£, *Pseudomonas* sp y otros.

A medida que las condiciones son marcadamente anaeróbicas, se tienen tipos bacterianos estrictos tales como: *Methanobacterium* SP. *Methanosarcina* SP, *Methanococcus* SP y otros. La relación ecológica entre las bacterias facultativas y las estrictas tiene su razón en la acción metabólica de ambas; las primeras al desdoblar la materia orgánica liberan como producto final ácidos orgánicos que luego son utilizadas por las bacterias estrictas, cuyos productos finales son gases metano y dióxido de carbono.

Tanto la respiración aeróbica como la anaeróbica son importantes en todo ecosistema, y es notable que del funcionamiento de ambas dependa el equilibrio de la naturaleza; por otro lado, se observa que los productos finales de las dos reacciones serán distintos, y la cantidad de energía liberada será mucho menor en el caso de condiciones anaerobias. Bajo condiciones anaeróbicas la transformación de la materia orgánica es más lenta, las reacciones son incompletas, por lo tanto, hay una serie de compuestos orgánicos liberados en el medio, por lo que se requiere la presencia de diversos tipos de organismos complementarios para lograr la completa oxidación de la misma.

El equilibrio de la naturaleza depende de la relación que hay entre la velocidad de producción y la velocidad de descomposición, esto, independientemente de los organismos o procesos abióticos que intervengan; el juego recíproco de estas funciones opuestas controla nuestra atmósfera, nuestra hidrósfera y la biosfera en general. Cuando la producción excede a la descomposición el equilibrio se mantiene y la biosfera se mantiene inalterable, alterable tan solo por los procesos o cambios naturales; sin embargo, un retraso en la utilización integral de todos los productos que deben ser descompuestos y simplificados pueden acarrear serios daños a la naturaleza.



## **2 CALIDAD DEL AGUA Y NORMALIZACIÓN DE DESCARGAS**

En este capítulo se examina el tema de la prevención y control de la contaminación de las aguas residuales, que es tratado tanto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente, como por la Ley de Aguas Nacionales.

### **2.1 Tratamiento y reúso de las aguas residuales en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)**

El artículo 92 de la LGEEPA, modificado en 1996, establece que las autoridades deben promover, entre otras cosas, el tratamiento de las aguas residuales y su reúso, con el propósito de asegurar la disponibilidad del agua y abatir los niveles de desperdicio. Por ello uno de los criterios ecológicos establecidos por la LGEEPA en materia de prevención y control de la contaminación consiste, precisamente, en que el aprovechamiento del agua en actividades productivas susceptibles de producir contaminación conlleva la responsabilidad del tratamiento de las descargas, para integrarla en condiciones adecuadas para su uso en otras actividades y para mantener el equilibrio de los ecosistemas (artículo 117, fracción III)

Para asegurar el cumplimiento de este deber, el artículo 126 de LGEEPA establece que los sistemas de tratamiento de las aguas residuales de origen urbano que diseñen, operen o administren los municipios, las autoridades municipales o el Gobierno del Distrito Federal, deberán cumplir con las normas oficiales mexicanas que al efecto se expidan.

### **2.2 Normas oficiales mexicanas**

Son tres las normas oficiales mexicanas sobre la materia: NOM-001-ECOL-1996, NOM-002-ECOL-1996 Y NOM-003-ECOL-1997; su finalidad es prevenir y controlar la contaminación de las aguas y son de observancia obligatoria para los responsables de descargas.

La NOM-001-ECOL-1996 establece los máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales, mientras que la NOM-002-ECOL-1996 establece los máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado. Por otra parte, la NOM-003-ECOL-1997 establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se use en servicios al público.

## 2.3 NOM-003-ECOL-1996

### Especificaciones

1. Establece los límites máximos permisibles de contaminante para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicio al público.

2. Es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reúso. En caso de que el tratamiento se realice por terceros estos serán responsables del cumplimiento de la presente norma, desde la producción del agua tratada hasta su reúso incluyendo la conducción misma.

3. Los límites máximos permisibles para las entidades se establecen en función del tipo de reúso. Este se puede ser servicios al público con contacto directo o indirecto u ocasional. EN el primer caso se incluyen los siguientes reúsos: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines. El contacto indirecto u ocasional considera que el público puede estar expuesto indirectamente o en contacto físico accidental, y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. Se concluye en el segundo caso los siguientes reúsos: riego de jardines y camellones en avenidas, fuentes de ornato, campos de golf, abastecimientos de hidratantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos y panteones.

**Tabla 2: Límites máximos permisibles de contaminantes**

Tipo de reúso	Promedio mensual				
	Coliformes fecales (NMP/100ml)	Huevos de helminto	Grasas y aceites (mg/l)	DBO (mg/l)	SST (mg/l)
<b>Servicios al público con contacto directo</b>	240	≤1	15	20	20
<b>Servicios al público con contacto indirecto u ocasional</b>	1000	≤5	15	30	30

Nom-003-Semarnat-1997

## 3 Tratamiento de Aguas Residuales

### 3.2 Cribado

Prácticamente todas las plantas de tratamiento incluyen rejas y desarenadores. La finalidad es retener sólidos gruesos, de dimensiones relativamente grandes que estén en suspensión o flotantes. Las rejas, por lo general, son la primera unidad de una planta de tratamiento.

Los materiales retenidos son principalmente papel, estopas de talleres, trapos, productos de higiene femenina, cáscaras de frutas, restos de vegetales, pedazos de madera, tapones de botella, latas, materiales plásticos, cepillos y otros objetos que puedan pasar por los sistemas de drenaje e inodoros. Las cribas son empleadas para proteger contra obstrucciones a válvulas, bombas, equipos de aireación, tuberías y otras partes de la planta.

También contribuyen a dar una mejor apariencia a la planta y reducen el volumen de flotantes (espumas).

La criba es la unidad que está formada por barras usualmente espaciadas desde 2 hasta 15 centímetros. Generalmente tienen claros de 2.5 a 5 cm, aunque algunas veces se usan las rejas grandes de posición vertical, la regla general es que deben instalarse con ángulo de 45 a 60 grados con la vertical. Lo limpian manualmente o por medio de rastrillos automáticos, se recomiendan que las rejas que se limpien a mano, salvo las que se empleen extemporáneamente, se instalen dando una inclinación de 30 a 45 grados con la vertical. La cantidad de material que queda en las rejas es influenciada por condiciones locales como la época del año, los sólidos separados por esta unidad, se eliminarán enterrándolos o incinerándolos (Manual de tratamiento de aguas negras).

### 3.2 Desarenado

Los desarenadores son unidades destinadas a retener la arena y otros detritos minerales inertes y pesados que se encuentran en las aguas residuales (cascotes, guijarros, pedazos de ladrillo, partículas metálicas, carbón, tierra y otros). Estos minerales son originados de operaciones de lavado, así como de riadas, infiltraciones, desechos industriales, etc.

La capacidad de transporte de las aguas en movimiento varía con la sexta potencia de su velocidad. La cantidad de material en suspensión que un curso de agua puede transportar es siempre una función de su grado de turbulencia.

La sedimentación de este material es lograda por la alteración del régimen dinámico de la corriente líquida.

En canales o tanques apropiados se reduce la velocidad del agua hasta valores que permitan la deposición de las partículas, lo que se verifica en dependencia de las velocidades de sedimentación: se enlistan a continuación varios tamaños de partículas y su velocidad según la fórmula de Allen obteniendo valores prácticos de sus velocidades.

**Tabla 3: Valores practicos sedimentación**

<b>Tamaño de la partícula (mm)</b>	<b>Formula de Allen (mm/seg)</b>	<b>Valores Prácticos (mm/seg)</b>
1.0	85	100
.5	43	50
.3	26	30
.2	17	20
.2	9	10

Estos valores son para granos de arena de peso "especifico igual a 2.65 g/ml a 15° C en agua tranquila. En las plantas de tratamiento es deseable remover las partículas de diámetro medio igual o superior a 0.2 mm.

Destinándose a la sedimentación de partículas granulares discretas, los desarenadores pueden ser dimensionados por la teoría de sedimentación de Hazen. Como la experiencia indica que las partículas de arena nocivas son las de tamaño igual o superior a 0.2 mm, cuyo peso específico es de 2.65 g/cm y velocidad de sedimentación del orden de 2.0 cm/s, se constata que los desarenadores deben ser diseñados con tasas de aplicación de 600 a 1,200 m/m V día.

Las aguas residuales domesticas contienen por lo general cantidades relativamente grandes de sólidos inorgánicos como arena, cenizas y grava, a los que generalmente se les llama arena. La cantidad es muy variable y depende de muchos factores, pero principalmente de si el alcantarillado colector es del tipo sanitario o combinado.

Los desarenadores se diseñan generalmente en forma de grandes canales. En estos canales la velocidad disminuye lo suficiente para que se depositen los sólidos inorgánicos pesados manteniéndose en suspensión el material inorgánico.

Los desarenadores de canal deben diseñarse de manera que la velocidad se pueda controlar para que se acerque lo más posible a 30 cm por segundo.

El tiempo de retención debe basarse en el tamaño de las partículas que deben separarse y generalmente varía de 20 segundos a un minuto. Esto último se logra instalando varios desarenadores para que el flujo se ajuste en ellos mediante vertederos proporcionales colocados al final de cada canal o mediante otros dispositivos que permitan regular la velocidad del flujo alrededor de 0.30 m/seg con tolerancia de 20% para más o para menos.

### 3.3 Tanque de Homogenización

En plantas de tratamiento de aguas residuales las variaciones de caudal, son considerables; ya que los valores máximos y promedio además de la carga orgánica contaminante hacen indispensable el uso de tanques reguladores de caudal. La regulación u homogenización de caudales amortigua las variaciones de caudal, de manera que se alcance un caudal de salida constante.

**La función que desempeña un tanque regulador de caudal son:**

- Minimiza y controla las variaciones de caudal y características variables de las aguas residuales.
- Amortigua los flujos pico de caudal y parámetros fisicoquímicos específicos.
- Estabiliza los valores de pH.
- Brinda un flujo continuo a los sistemas de tratamiento posteriores.

La utilización de tanques de homogenización evita la necesidad de que las plantas de tratamiento tengan una dimensión excesiva en horarios pico.

Las variaciones horarias del gasto de agua residual pueden tener un efecto adverso en el funcionamiento de los procesos de la planta; el cambio constante de la cantidad y concentración del agua residual a ser tratada propicia que la operación eficiente de los procesos sea difícil. Además, muchas unidades de tratamiento tendrían que diseñarse para las condiciones de gasto máximo extraordinario, provocando su sobredimensionamiento para las condiciones promedio. Para prevenir esta situación, es conveniente considerar en el proyecto la construcción de un tanque de igualación u homogeneización, cuya función es amortiguar las variaciones de las descargas de aguas residuales con el fin de tratar un gasto uniforme. La igualación se puede usar también para amortiguar las variaciones en el pH y en la concentración de constituyentes tóxicos presentes en el agua residual a tratar. La igualación del gasto no es un proceso de tratamiento per se, pero puede mejorar significativamente el funcionamiento de una planta existente e incrementar su capacidad útil.

Después de las rejillas, desarenado y medición de gasto, el agua residual pasa al tanque de homogenización que la colectan y almacenan. Se requiere proporcionar aireación y mezclado para evitar olores y que los sólidos se sedimenten.

### 3.4 Digestor Anaerobio

La digestión anaerobia es un proceso biológico en el que la materia en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de bacteria orgánicas, específicas, se descompone en productos gaseosos o “biogás” (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, etc.), y en digestato, que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuestos de difícil degradación. El biogás contiene un alto porcentaje en metano, CH<sub>4</sub> (entre 50-70%), por lo que es susceptible de un aprovechamiento energético mediante su combustión en motores, en turbinas o en calderas, bien sólo o mezclado con otro combustible. El proceso controlado de digestión anaerobia es uno de los más idóneos para la reducción de emisiones de efecto invernadero, el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos y el mantenimiento y mejora del valor fertilizante de los productos tratados. La digestión anaerobia puede aplicarse, entre otros, a residuos ganaderos, agrícolas, así como a los residuos de las industrias de transformación de dichos productos. Entre los residuos se pueden citar purines, estiércol, residuos agrícolas o excedentes de cosechas, etc. Estos residuos se pueden tratar de formas independientes o juntas, mediante lo que se da en llamar co-digestión. La digestión anaerobia también es un proceso adecuado para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica, como las producidas en muchas industrias alimentarias.

#### **Los beneficios asociados a la digestión anaerobia son:**

- Reducción significativa de malos olores,
- Mineralización,
- Producción de energía renovable si el gas se aprovecha energéticamente y sustituye a una fuente de energía fósil,
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la reducción de emisiones incontroladas de CH<sub>4</sub>, (que produce un efecto invernadero 20 veces superior al CO<sub>2</sub>), y reducción del CO<sub>2</sub> ahorrado por sustitución de energía fósil.

La función de esta unidad será la de propiciar las condiciones adecuadas del proceso anaerobio para lograr la remoción de la carga contaminante; cada una de estas unidades estará dividida en secciones mediante mamparas deflectoras instaladas a lo largo de esta unidad, su función será la de retener el material flotante y sólidos gruesos no retenidos en el canal de rejillas, allí se iniciará el proceso de digestión anaerobia, además se sedimentarán mediante paneles de alta sedimentación.

El agua de esta sección pasará por la parte inferior de la mampara deflectora hacia la segunda sección, que es donde se realizará propiamente el proceso anaerobio y se formará un manto de lodos, que coadyuvará a remover la carga orgánica, por lo que el agua residual deberá cruzar este manto. El agua de esta sección descargará hacia la tercera sección por la parte superior. La tercera servirá para clarificar el agua y retener la mayor cantidad de sólidos suspendidos mediante los paneles de alta sedimentación.

Los digestores anaerobios son una alternativa adecuada para el tratamiento de las aguas residuales eminentemente domésticas similares a las del presente proyecto, las eficiencias en el tratamiento son del orden del 40 al 60%, por lo que las aguas residuales tratadas en este proceso requieren de un tratamiento adicional para cumplir con la calidad establecida para la descarga en cuerpos receptores.

La digestión anaerobia de las aguas residuales es la descomposición de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno molecular. En estas condiciones, la materia orgánica contenida en esta agua se convierte biológicamente en gases tales como metano, dióxido de carbono, mercaptano, sulfuro de hidrógeno e hidrógeno.

### 3.5 Sedimentación

Una vez coagulada y floculada el agua, el problema consiste en separar los sólidos del líquido o sea las partículas floculentas del agua, donde están suspendidas.

**Esto se puede conseguir por medio de:**

- Sedimentación
- Filtración
- Combinación de ambos procesos, que es el más utilizado

La sedimentación y la filtración deben considerarse como procesos complementarios: la sedimentación realiza la separación de las partículas más densas que el agua y, que tengan una velocidad de sedimentación tal, que permita que lleguen al fondo del tanque sedimentador en un tiempo económicamente aceptable.

La filtración, en cambio, separa aquellas partículas de una densidad próxima a la del agua y de baja velocidad de sedimentación o que son resuspendidas por cualquier causa y, que por esto, no son removidas en la sedimentación.

Por sedimentación se denomina el proceso mediante el cual se asientan los sólidos suspendidos en un flujo, bajo la acción de la gravedad.

#### **Tipos de sedimentación**

La sedimentación puede ser Simple cuando las partículas que se asientan son discretas, o sea partículas que no cambian de forma, tamaño o densidad durante el descenso en el fluido.

La sedimentación se denomina inducida cuando las partículas que se sedimentan son aglomeradas, o sea, que durante la sedimentación se aglutinan entre si cambiando de forma y tamaño y aumentando de peso específico.

La sedimentación simple es, por ejemplo, lo que ocurre en un tanque desarenador que se coloca contiguo a la bocatoma y cuyo objeto es separar la arena del agua.

La sedimentación inducida es el tipo que se presenta en una planta de tratamiento y se logra en un tanque, llamado Sedimentador o Decantador, que se coloca a continuación del floculador y que permite la separación de las partículas floculantes que se forman en los procesos de coagulación y floculación.

Las partículas floculantes adquieren su dimensión, forma y peso casi definitivos durante la floculación, de forma que su comportamiento en el sedimentador es muy similar al de las partículas discretas. Es por esto que los criterios para el diseño de los sedimentadores para agua coagulada se basan en la sedimentación de partículas discretas, fenómeno que trata de representar la Ley de Stokes.

Según el sentido de flujo del agua en los sedimentadores, éstos pueden ser de flujo horizontal, de flujo vertical y manto de lodos, y sedimentadores de alta rata. Dentro de los primeros están los sedimentadores de plantas convencionales y los desarenadores. Los segundos, según la forma de mantener el manto suspendido, son hidráulicos o mecánicos. La sedimentación de alta rata es la concepción moderna del diseño de los sedimentadores.

### **3.6 Filtro De Flujo Ascendente**

Los reactores anaerobios de crecimiento adherido con flujo ascendente se diferencian entre sí por el tipo de empaque usado y por el grado de expansión de la cama o lecho. En el reactor de cama empacada con flujo ascendente (Ilustración 1.1) el empaque está fijo y el flujo del agua residual asciende por los espacios intersticiales entre el empaque y el crecimiento de biomasa. Generalmente no se recircula el efluente, excepto cuando se tratan aguas residuales con concentraciones altas. El primer proceso empacado de flujo ascendente fue empacado con roca, actualmente se utiliza una variedad de empaques sintéticos.

Tanto el filtro anaerobio como el filtro rociador son procesos de óxido-reducción que se llevan a cabo por microorganismos que se encuentran adheridos a una superficie sólida; su diferencia es hidráulica, ya que el afluente, en el FAFA, es alimentado por la parte inferior del reactor y opera inundado. Aunque los filtros anaerobios pueden ser usados como la principal unidad de tratamiento, suelen utilizarse como una unidad de postratamiento (pulimento). La principal limitación de los filtros anaerobios resulta de los riesgos de la obstrucción de la cama (taponamiento de los intersticios) y del relativo volumen, debido al espacio ocupado por el material inerte empacado.

Los filtros anaerobios de lecho empacado de flujo ascendente a gran escala presentan la forma de tanques cilíndricos o rectangulares, con diámetros que van de 2 a 8 metros y una altura de 3 a 13 metros. El material de empaque puede estar en su entera profundidad o, por un diseño híbrido, sólo el 50 a 70 por ciento de la altura útil del reactor.



Los materiales de empaque más comunes son: el plástico corrugado transversal al flujo, los módulos tubulares (similares a los que se describen para procesos empacados aerobios), y los anillos plásticos. El área superficial específica del promedio del empaque es de 100 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>; de acuerdo con los resultados de investigación, no se observan mejoras en el rendimiento a densidades de empaque más altas.

**Las ventajas que presenta el proceso anaerobio a través de FFA sobre otros procesos son:**

- Pueden producir energía por medio del biogás, el cual puede emplearse para calentar el reactor.
- El exceso de gas metano puede emplearse como gas combustible
- Son un sistema compacto con bajos requerimientos de terreno
- Costos de construcción y de operación bajos
- Baja producción de lodos
- Bajo consumo de energía (el requerido en casos de bombeo del afluente)
- Se pueden alcanzar eficiencias de remoción de DQO y DBO de entre 65 y 75 por ciento
- Alta concentración de sólidos suspendidos en el lodo
- Buenas características de desaguado del lodo

**Sin embargo, también presenta desventajas como:**

- Requiere un seguimiento estricto del programa de mantenimiento ya que la identificación de inconvenientes se dificulta al ser un sistema cerrado
- Las líneas de condensación del gas causan mayores problemas de mantenimiento
- Baja tolerancia del sistema a la carga de tóxicos

### 3.7 Humedad artificial

Estos sistemas consisten normalmente en un monocultivo o policultivo de plantas superiores (macrófitas) dispuestas en tanques o canales poco profundos. El efluente pasa a través del humedal durante un tiempo adecuado (tiempo de retención), donde es tratado a través de varios procesos físico-químicos y bacteriológicos. El oxígeno necesario para la oxidación de la materia orgánica por los microorganismos es suministrado principalmente por las propias plantas del humedal, que lo producen por fotosíntesis o lo toman del aire e inyectan hasta la zona radicular. La transferencia de oxígeno hacia la zona radicular por parte de estas plantas acuáticas favorece también el crecimiento de bacterias nitrificantes. Por estar el agua en continuo movimiento no se producen malos olores ni se generan lodos en cuantía apreciable, ya que son auto asimilados por el propio sistema.

El agua se oxigena con las raíces de las plantas que se encuentran en los humedales y se purifica. Con los humedales se logra la absorción de metales pesados, materia fecal, jabón, pesticidas, grasas y fertilizantes.

Los humedales tienen 3 funciones básicas que los hacen tener un atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales; son estas:

- Fijar Físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.
- Utilizar y transformar los elementos por intermedio de los microorganismos.
- Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento.

### 3.8 Desinfección

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos que causan enfermedades. No todos los organismos se destruyen durante el proceso, punto en el que radica la principal diferencia entre la desinfección y la esterilización, proceso que conduce a la destrucción de la totalidad de los organismos. EN el campo de las aguas residuales, las tres categorías de organismos entéricos de origen humano de mayores consecuencias en la producción de enfermedades son las bacterias, los virus y los quistes amebianos. Las enfermedades bacterianas típicas transmitidas por el agua son; tífus, el cólera, el paratífus y la disentería bacilar, mientras que las enfermedades causadas por el virus incluyen, entre otras, la poliomielitis y la hepatitis infecciosa.

Los requisitos que debe cumplir un desinfectante químico ideal se muestra en la siguiente tabla, en la que se puede apreciar que un desinfectante ideal debería tener una gran variedad de características.

También es importante que los desinfectantes sean seguros en su aplicación y manejo, y que su fuerza o concentración en las aguas tratadas sea medible y cuantificable.

Los métodos más empleados para llevar a cabo la desinfección son:

- Agentes químicos
- Agentes físicos
- Medios mecánicos
- Radiación

### Agentes químicos

Los agentes químicos utilizados para la desinfección incluyen cloro y sus compuestos; bromo; yodo; ozono; alcoholes; ácidos y etc. Los desinfectantes más corrientes son los productos químicos oxidantes, de los cuales el cloro es el más universal empleado, aunque también se ha utilizado, para la desinfección del agua residual, el bromo y el yodo. El ozono es un desinfectante eficaz cuyo uso va en aumento, a pesar de que no deja una concentración residual que permita valorar su presencia después del tratamiento. El agua muy ácida o muy alcalina también se ha empleado para la destrucción de bacterias patógenas, ya que el agua con pH inferior a 3 o superior a 11 es relativamente tóxica para la mayoría de las bacterias.

**Tabla 4: Comparación de las características normalmente utilizadas**

<b>Características</b>	<b>Propiedades/respuestas</b>	<b>Tricloro</b>	<b>Hipoclorito de sodio</b>	<b>Hipoclorito de calcio</b>
<b>Toxicidad para los microorganismos</b>	Debe ser altamente tóxico a altas concentraciones	Alta	Alta	Alta
<b>Solubilidad</b>	Debe ser soluble en agua	Ligera	Alta	Alta
<b>Estabilidad</b>	Perdida de acción con el tiempo debe ser baja	Estable	Ligeramente estable	Relativamente estable
<b>No tóxico para las formas de vida superior</b>	Debe ser tóxico para los microorganismos y no para el hombre	Altamente tóxico para vida superiores	Tóxico	Tóxico
<b>Homogeneidad</b>	La disolución debe ser uniforme	Homogéneo	Homogéneo	Homogéneo
<b>Interacciones con materias extrañas</b>	No debe ser adsorbido por otra materia orgánica	Oxida la materia orgánica	Oxidante activo	Oxidante activo

<b>Toxicidad a temperatura ambiente</b>	Debe ser efectivo en el intervalo de temperaturas	Alta	Alta	Alta
<b>Penetración</b>	Capacidad de penetrar a través de superficies	Alta	Alta	Alta
<b>No corrosivo</b>	No debe atacar los metales ni teñir la ropa	Corrosivo	Corrosivo	Corrosivo
<b>Disponibilidad</b>	Disponible en grandes cantidades y precio razonable	Costo bajo	Moderadamente bajo	Moderadamente bajo

### Agentes físicos

Los desinfectantes físicos que se puede emplear con la luz y el calor. El agua caliente a la temperatura de ebullición destruye las principales bacterias causantes de enfermedades y no formadores de esporas. El calor se suele emplear con frecuencia en las industrias lácticas y bebidas, pero su aplicación al agua residual no es factible debido al alto coste que supondría.

La luz solar también es un buen desinfectante especialmente la radiación ultravioleta. La eficacia de este proceso depende de la penetración de los rayos en el agua. La geometría de contacto entre la fuente emisora de luz ultravioleta y el agua es de gran importancia debido a que la materia en suspensión, las moléculas orgánicas disueltas y la propia agua, además de los microorganismos, absorberán la radiación. Por lo tanto, la aplicación de la radiación ultravioleta como mecanismo de desinfección no resulta sencilla en sistemas acuosos, especialmente por la presencia de materia particulada.

### Medios mecánicos

Las bacterias también se pueden eliminar, durante el tratamiento del agua residual empleando medios mecánicos. En la siguiente tabla se indican algunos rendimientos de eliminación típicos para diferentes procesos de tratamiento. Los primeros cuatro procesos están considerados como procesos físicos. Las eliminaciones conseguidas se obtienen como subproducto de la función primaria del proceso.

**Tabla 5: Eliminación o destrucción de bacterias mediante diversos procesos de tratamiento**

<b>Procesos</b>	<b>Porcentaje de eliminación</b>
<b>Tamices de malla gruesa</b>	0 – 5
<b>Tamices de malla fina</b>	10 – 20
<b>Desarenadores</b>	10 – 25
<b>Sedimentación química</b>	25 – 75
<b>Filtros percoladores</b>	90 – 95
<b>Fangos activados</b>	90 – 98
<b>Cloración del agua residual tratada</b>	98 – 99

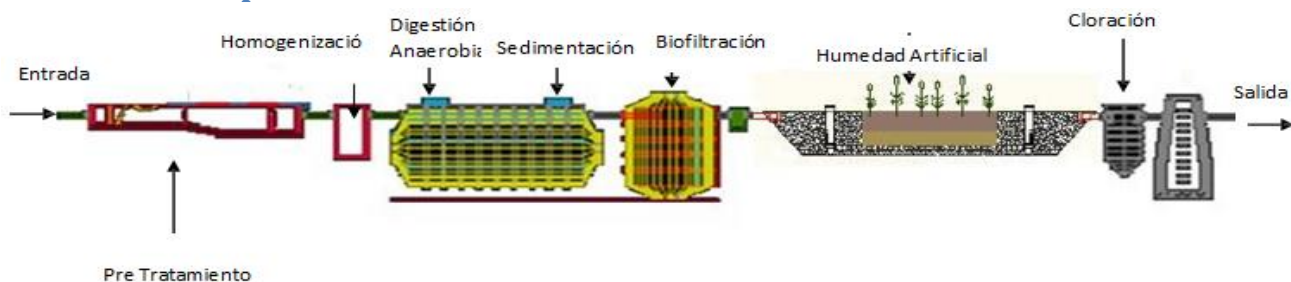
### **Radiación**

Los principales tipos de radiación son la radiación electromagnética, la acústica y la radiación de partículas. Los rayos gamma se emiten a partir de lentos radioisótopos, como el cobalto 60. Dado su poder de penetración, los rayos gamma se han utilizado tanto para la desinfección (esterilización) del agua potable como del agua residual.

## 4 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

La residencia consiste en evaluar la desinfección y métodos de las aguas residuales que reside en procesos tanto físicos como químicos, aportando en cada fase un porcentaje de reducción de DBO y Solidos Suspendidos para cumplir con la NOM-003-ECOL

### 4.1 Evaluación para métodos de desinfección



- Pre tratamiento (Cribado y desarenado).
- Tratamiento primario (Digestión anaerobia).
- Tratamiento secundario (Sedimentación).
- Tratamiento terciario (Biofiltro, Humedal Artificial y cloración).

### 4.2 Descripción General de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

La alternativa seleccionada para desarrollar el proyecto del sistema de tratamiento, corresponde a un proceso combinado de tanque de homogenización, un digester anaerobio, un filtro anaerobios de flujo ascendente, y un humedal artificial de flujo superficial como pulimiento.

El sistema seleccionado para el tratamiento de las aguas residuales que se generan en el fraccionamiento, está integrado por procesos de tratamiento que en conjunto logran eficiencias de cuando menos de 85%, por lo que los resultados en el tratamiento son similares a un tratamiento a nivel secundario.

Estos procesos son el reactor anaerobio de flujo ascendente conocido como RAFA o también como reactor UASB, filtración anaerobia y un sistema de desinfección a base de un reactivo desinfectante derivado de cloro.

El sistema de tratamiento de las aguas residuales tendrá la capacidad para tratar un caudal total promedio de 1.18 lts/seg y podrá recibir variaciones de carga hidráulica y orgánica en un 5 % sin afectar sensiblemente la eficiencia del mismo.

### 4.3 Cálculos

Características Generales

Este Fraccionamiento denominado **Grand Pedregal** se encamina al establecimiento de un núcleo poblacional que agrupará a **125 viviendas**, ubicado en el municipio de Berriozábal, Chiapas.

#### POBLACION DE PROYECTO

**No. Viviendas:** 125  
**No. habitantes x lote:** 4.8  
**Población Proyecto:** 600 habitantes

#### 4.3.1 DOTACION

Existen muchos factores, como el clima, tamaño de la ciudad, estándar de vida, grado de industrialización, tipo de servicio, riego de jardines, aire acondicionado central, costo presión y calidad de agua, que influyen en la demanda de agua.

Como dotación se define a la cantidad de agua que se destina para cada habitante y que incluye el consumo de todos los servicios que realiza en un día medio anual, tomando en cuenta las pérdidas.

#### Clasificación de climas por su temperatura

Temperatura Media Anual (°C)	Tipo de clima
Mayor de 22	Cálido
De 18 a 22	Semicálido
De 12 a 17.9	Templado
De 5 a 11.9	Semifrío
Menor que 5	Frío

Fuente: CNA 1992

Tabla

**Dotación de Agua Potable por clima y No. de habitantes**

Población (habitante)		Tipo de Clima (lt/hab/día)		
		Cálido	Templado	Frío
2,500	15,000	150	125	100
15,000	30,000	200	150	125
30,000	70,000	250	200	175
70,000	150,000	300	250	200
150,000		350	300	250

Fuente: CNA 1992

De acuerdo a los criterios de la CONAGUA, dadas las características del Fraccionamiento, población menor a 2500 y clima cálido, nos arroja una de dotación de 150 l/hab/día, pero ya que las viviendas son de interés media-alta se tomará como **dotación de 200 l/hab/día.**

#### 4.3.2 COEFICIENTES DE VARIACIÓN DIARIA Y HORARIA

##### **Coefficiente de variación diaria**

Las estadísticas demuestran que hay días del año con consumos mayores y otros con consumos mínimos, con relación al consumo diario promedio. Es decir no es el mismo volumen de agua el que se consume el lunes que es el inicio de semana, al que se consume el domingo.

El ámbito de variación de este coeficiente va de 1.2 a 2.0 en relación al gasto medio diario, sin embargo por cuestiones inherentes a las fuentes de abastecimiento tales como escasez y de costos entre otras, se recomienda el valor de 1.40 que es el valor medio que se obtuvo del estudio de "Actualización de dotaciones del país", de la CONAGUA.



## Coeficiente de variación horaria

Gasto máximo diario no es consumido por la población durante las 24 horas del día, se ha determinado que existe un mayor consumo por la mañana, y un mínimo a las 4:00 horas de la madrugada.

El ámbito de variación de este coeficiente va de 1.5 a 2.0 en relación al gasto máximo diario, sin embargo por cuestiones inherentes a las fuentes de abastecimiento tales como escasez y de costos entre otras, se recomienda el valor de 1.55.

### COEFICIENTES DE VARIACIÓN DE CONSUMO

CONCEPTO	VALOR
Coeficiente de variación diaria (CVd)	1.40
Coeficiente de variación horaria (CVh)	1.55

- **GASTO MEDIO DIARIO ( $Q_{MD}$ )**

Para determinar el gasto medio diario se usará la ecuación:

$$Q_{MD} = \frac{(Poblacion\ del\ proyecto)(Dotacion)}{86400\ seg/dia}$$

$$Q_{MD} = 1.39\ L/seg$$

- **APORTACIÓN A DRENAJE ( $Q_{AN}$ )**

Para determinar el gasto medio diario se usará la ecuación:

$$Q_{AN} = (Q_{MD}) (.85)$$

$$Q_{AN} = 1.18\ L/seg$$

- **GASTO MÍNIMO ( $Q_{MIN}$ )**

- Para determinar el gasto medio diario se usará la ecuación:

$$Q_{MIN} = (Q_{AN}) (.50)$$

$$Q_{MIN} = .59\ L/seg$$

- **COEFICIENTE DE HARMON O DE VARIACIÓN INSTANTÁNEA (M)**

Para determinar el gasto medio diario se usará la ecuación:

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{P}{1000}}}$$

P= Población

$$M=3.86 \text{ L/seg}$$

- **GASTO MAXIMO INSTANTÁNEO (Q<sub>MINST</sub>)**

$$Q_{MINST} = (Q_{AN})(M)$$

$$Q_{MINST} = 4.55 \text{ L/seg}$$

- **GASTO MAXIMO EXTRAORDINARIO (Q<sub>MEXT</sub>)**

$$Q_{MEXT} = (Q_{MINST})(1.5)$$

$$Q_{MEXT} = 6.83 \text{ L/seg}$$

Parámetros

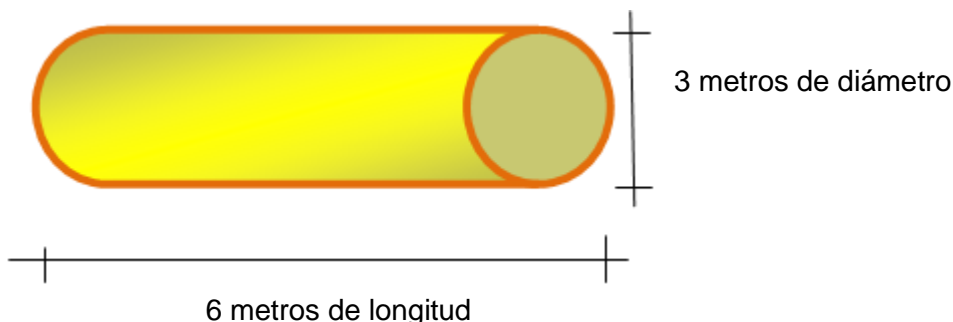
### Composición del agua residual del proyecto

DATOS DE PROYECTO	
CONCEPTO	PARAMETROS A CONSIDERAR
AREA TOTAL A OCUPAR PTAR	60 M2
NORMA ECOLOGICA MEXICANA A CUMPLIR	003-ECOL.-1996.
APORTACIÓN A DRENAJE SANITARIO	1.18 L/seg
SOLIDOS TOTALES (ST)	720
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	220
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO)	220
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO) TOTAL	500
NITROGENO KJELDHAL	40
FOSFORO TOTAL	8
GRASAS	100
COLIFORMES FECALES	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>
TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL	25°C
TEMPERATURA PROMEDIO DENTRO DE DIGESTOR	30°C

Composición típica del agua residual doméstica de concentración media.

- **CALCULO VOLUMEN DE DIGESTOR ANAEROBIO**

**Medidas propuestas del Digestor Anaerobio**



Se usara la siguiente ecuación para calcular el volumen del digestor anaerobio:

$$VD = \pi r^2 L(Na)$$

**Na:** Nivel de arrastre de la tubería = 0.872

$$VD = 36.98 \text{ m}^3$$

Para el cálculo del diseño del digestor anaerobio se consideraron dos procedimientos:

**(Procedimiento 1).**

**tos:**

**Q** = Caudal afluyente = 1.18 lps = 101.95 m<sup>3</sup>/d

**Vr** = Volumen del reactor = ?

**(So- S)** = Cantidad de sustrato utilizada, mg/l

**So** = Concentración de sustrato en el afluyente, mg/l = 220 mg/l

**S** = Concentración de sustrato en el efluente, mg/l = 75 mg/l (*Límite Máximo permisible cuerpo receptor tipo B/ Tabla D/ Ley Federal de Derechos Disposiciones aplicables en Materia de Aguas Nacionales – 2009*).

**Θ** = Tiempo de retención Hidráulica, d

$$\Theta = Vr / Q$$

**Θ<sub>c</sub>** = Tiempo medio de retención celular (**parámetro de 5 a 15 días**) = 10 días

**X** = SSVLM = 3500 mg/l

**Y** = 0.50 g/g (*Referencia bibliográfica: Ingeniería de aguas residuales, tratamiento vertido y reutilización / Volumen 1/ Tercera Edición / Septiembre 1997/ Metcalf and Eddy*)

**K<sub>d</sub>** = 0.06 d<sup>-1</sup> (*Referencia bibliográfica: Ingeniería de aguas residuales, tratamiento vertido y reutilización / Volumen 1/ Tercera Edición / Septiembre 1997/ Metcalf and Eddy*)

### Fórmulas utilizadas

$$X = \frac{\theta c Y (S_0 - S)}{\theta (1 + K_d \theta c)} \quad \text{Ecuación 1}$$

Sustitución de  $\theta = V_r / Q$  en Ecuación 1

$$V_r = \frac{Q \theta c Y (S_0 - S)}{X (1 + K_d \theta c)}$$

$$V_r = 13.20 \text{ m}^3$$

### Número de digestores

**ND** = Número de digestores = Volumen del reactor estimado / Volumen del digestor

$$ND = 13.20 \text{ m}^3 / 36.98 \text{ m}^3 = 0.36$$

**ND** = 1 digestores

### (Procedimiento 2).

De acuerdo a la tabla del libro Metcalf & Eddy, tenemos los siguientes datos:

#### Resumen de datos y composición de lodos (%)

Agua residual		Sistema de tratamiento		Lodos	
SST	220	Diámetro digestor	3	Primarios % sólidos	5.0
DBO INFLUENTE	220			Secundarios % sólidos	0.75
DBO EFLUENTE	75				

**A<sub>d</sub>** = Área del digestor

$$A_d = \pi r^2$$

$$A_d = 7.06 \text{ m}^2$$

La tasa de flujo superior es=  $Q * A_d = 14.44 \text{ m}^3/\text{d}$

**La masa de los sólidos primarios ( $M_p$ ) removidos es**

$$M_p = (\epsilon) (S_s) (Q)$$

Dónde:

$\epsilon$  = Eficiencia del digestor-sedimentador = 58%

**SS** = Sólidos suspendidos totales en el efluente, Kg/m<sup>3</sup>

**Q** = Gasto, m<sup>3</sup>/d

$$M_p = 59.13 \text{ Kg/d}$$

**Volumen de los lodos primarios**

$$V_p = \frac{M_p}{\text{Densidad}(S)}$$

Dónde:

$V_p$  = Volumen de sólidos primarios producidos, m<sup>3</sup>/d

**M** = Masa de sólidos secos, Kg/d

**S** = Contenido de sólidos expresados como fracción decimal.

**Densidad** = 1000 Kg/m<sup>3</sup>

$$V_p = 1.18 \frac{m^3}{d}$$

**Diseño del digestor**

$$V = V_p t_1$$

Dónde:

**V** = Volumen del digestor (reactor) , m<sup>3</sup>

**T<sub>1</sub>** = Tiempo de retención de sólidos, d

**V<sub>p</sub>** = Volumen de lodos primarios, m<sup>3</sup>/d

$$V = 11.80 \text{ m}^3$$

**Número de digestores**

**ND** = Número de digestores = Volumen del reactor estimado / Volumen del digestor

$$ND = 11.80 \text{ m}^3 / 36.98 \text{ m}^3 = 0.32$$

**ND** = 1 digestor

## CALCULO DE VOLUMEN DEL FILTRO

### Parámetros de diseño del filtro anaerobio

Concepto	Valor
Caudal de diseño	101.95 m <sup>3</sup> /d
Tasa media de filtración	240 m/d
Tasa máxima de filtración	408 m/d

Por lo tanto, para la tasa media de filtración

$$Area\ del\ filtro = \frac{Q/2}{Tasa\ media\ de\ filtracion}$$

$$Area\ del\ filtro = 0.21\ m^2$$

El caudal máximo por filtro

$$Q\ máximo\ por\ filtro = Tasa\ máxima\ de\ filtración \ ( \ Área\ del\ filtro)$$

$$Q\ máximo\ por\ filtro = 85.68\ m^3/d$$

### 4.3.3 CLORACION

Dosis óptima destrucción total o parcial de patógenos según requiera la NOM-001-ECOL-96

Compuesto de cloro	Dosis (mg/l)
Tricloro	1.5-2
Hipoclorito de sodio	.2-2
Hipoclorito de calcio	.5-2

Fuente: EPA, 1999

Para saber la cantidad requerida se usara la siguiente ecuación

$$W = \frac{(Q_m)(D_{Cl})}{\%Cl}$$

W: Cantidad requerida (g/d)

Qm: Gasto medio en m<sup>3</sup>/d

DCl: Dosis de tableta de cloro activo

%Cl act: Contenido en fracción de cloro activo en tableta

Sustancia	Qm	Dcl	%Cl act	W
Tricloro	102	1.5	80	191.25
Hipoclorito de sodio	102	2	40	510
Hipoclorito de calcio	102	2	65	313.84

Tabla 6: Resultados

<b>GASTO MEDIO DIARIO (Q<sub>MD</sub>)</b>	<b>1.39 L/seg</b>
<b>APORTACIÓN A DRENAJE (Q<sub>AN</sub>)</b>	<b>1.18 L/seg</b>
<b>GASTO MÍNIMO (Q<sub>MIN</sub>)</b>	<b>.59 L/seg</b>
<b>COEFICIENTE DE HARMON O DE VARIACIÓN INSTANTÁNEA (M)</b>	<b>3.86 L/seg</b>
<b>GASTO MAXIMO INSTANTÁNEO (Q<sub>MINST</sub>)</b>	<b>4.55 L/seg</b>
<b>GASTO MAXIMO EXTRAORDINARIO (Q<sub>MEXT</sub>)</b>	<b>6.83 L/seg</b>
<b>VOLUMEN DE DIGESTOR ANAEROBIO</b>	<b>36.98 m<sup>3</sup></b>
<b>MASA DE LOS SÓLIDOS PRIMARIOS (M<sub>P</sub>) REMOVIDOS</b>	<b>59.13 Kg/d</b>
<b>VOLUMEN LODOS</b>	<b>1.18 <math>\frac{m^3}{d}</math></b>
<b>NUMERO DE DIGESTORES</b>	<b>1</b>
<b>Q MÁXIMO POR FILTRO</b>	<b>85.68 <math>\frac{m^3}{d}</math></b>
<b>CANTIDAD REQUERIDA TRICLORO</b>	<b>191.25 g/d</b>
<b>CANTIDAD REQUERIDA</b>	<b>510 g/d</b>
<b>CANTIDAD REQUERIDA</b>	<b>313.84 g/d</b>

## 5 Resultados

La desinfección se realizó por métodos mecánicos obteniendo remoción de impurezas así al llegar a la etapa de desinfección química tener mayor efectividad.

Para los cálculos se tomaron en cuenta varios factores como la temperatura y el tipo de clima el cual nos arroja una dotación de 150 l/hab/día, ya que las viviendas son de interés media-alta se tomará como dotación de 200 l/hab/día. La aportación del drenaje es 101.95 m<sup>3</sup>/d.

Teniendo la aportación del drenaje se calculó el volumen del digestor, las medidas se propusieron tomando en cuenta el espacio con el que se contaba, el volumen de cada digestor anaerobio es de 36.98 m<sup>3</sup> y para el número de digestores se comprobó con 2 procedimientos diferentes para mayor aseguramiento, por lo tanto, se requiere de un digestor para satisfacer la aportación a drenaje sanitario.

El proyecto de la planta de tratamiento de aguas residuales, se considera los siguientes porcentajes en cada componente de la planta al balancear la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y de los Sólidos Suspendedos (SS):


<b>Componentes de la planta</b>	<b>DBO (%)</b>	<b>SS(%)</b>
<b>Cribado</b>	<b>0</b>	<b>5</b>
<b>Digestión Anaerobia</b>	<b>55</b>	<b>40</b>
<b>Sedimentación</b>	<b>10</b>	<b>20</b>
<b>Filtración</b>	<b>5</b>	<b>20</b>
<b>Cloración</b>	<b>10</b>	<b>-</b>
<b>Total</b>	<b>85</b>	<b>85</b>



Sustancia	Toxicidad	Cantidad requerida (g/d)	Porcentaje de desinfección
Tricloro	Altamente toxico	191.25	98%
Hipoclorito de calcio	Alta	510	98%
Hipoclorito de sodio	Alta	313.84	98%

En la desinfección química se comparó el tricloro, hipoclorito de calcio e hipoclorito de sodio, lo cual se seleccionó el tricloro ya que tiene un mayor porcentaje de cloro activo en comparación de las otras dos, tiene mayor toxicidad para los microorganismos y no tóxico para el hombre, necesita una menor cantidad de dosis requerida y las tres sustancias tienen la misma capacidad para llevar a cabo el mismo porcentaje de desinfección.

#### Comparación de entrada y salida de las aguas residuales

Entrada			Salida	
<b>DBO mg/l</b>	<b>SS mg/l</b>		<b>DBO</b>	<b>SS</b>
<b>220</b>	<b>220</b>		<b>33</b>	<b>33</b>

Con una entrada de 220 mg/l de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y 220 mg/l de los Sólidos Suspendedos, tendrá una salida de Demanda Bioquímica de Oxígeno de 33 mg/l al igual que de Sólidos Suspendedos.

## 6 Conclusión y recomendaciones

Debido a que no se pueden hacer estudios de calidad de agua, ya que actualmente no existe ninguna descarga debido a que el Fraccionamiento no está habitado, para fines de nuestro proyecto se usaron los parámetros de composición típica del agua residual doméstica de concentración media.

Para el evaluar métodos desinfección de las aguas residuales del Fraccionamiento Grand Pedregal se consideró el porcentaje de desinfección de cada etapa, así aproximándonos con la NORMA 003-ECOL que establece Servicios al público con contacto indirecto u ocasional de DBO Y SS 30 mg/l límites máximos permisibles de contaminantes, esperando la finalización del fraccionamiento para realizar pruebas.

La desinfección química se seleccionó el tricloro ya que tiene un mayor porcentaje de cloro activo en comparación de las otras, tiene mayor toxicidad para los microorganismos y no toxico para el hombre, necesita una menor cantidad de dosis requerida.

Se consideró utilizar carbón activado o alúmina activada para reducir ese 3% mg/l restante, pero el costo es demasiado elevado así que no es factible.

Esta planta de tratamiento de aguas residuales quiere ser un ejemplo para las futuras construcciones de fraccionamientos ayudando al medio ambiente.

## **7 Competencias desarrolladas y/o aprendidas**

- Conocimiento en equipos de tratamientos de aguas residuales como: cribas, digestores anaerobios, filtros y sedimentación.
- Conocimiento de Normas-Ecol.
- Conocimiento de métodos de desinfección.
- Se desarrolló la capacidad de solucionar problemas desde un enfoque más práctico

## 8 Referencias bibliográficas

Valdez, E. C. (2000) Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. (2a. Ed.)

Norma Oficial Mexicana 003- ECOL

Mott R. L. (2003) Mecánica de fluidos. (6ª. Ed.)

Metcalf & Eddy (1997) Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización. (3ª. Ed.)

Perry R. H. Manual del ingeniero químico (7ª. Ed)

Cribet (2004) Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones.