

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**“ELABORACIÓN DE UN MÓDULO A NIVEL LABORATORIO  
PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE TIPO  
COMERCIAL E INDUSTRIAL”**

**P O R**

**LEOBARDO LÓPEZ ANTONIO**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**Torreón, Coahuila**

**Febrero del 2008**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO “  
UNIDAD LAGUNA**

**“ELABORACIÓN DE UN MÓDULO A NIVEL LABORATORIO PARA EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE TIPO COMERCIAL E  
INDUSTRIAL”**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**LEOBARDO LÓPEZ ANTONIO**

**QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**COMITÉ EVALUADOR:**

**PRESIDENTE:**

\_\_\_\_\_  
**M.C. HECTOR MONTAÑO RODRIGUEZ**

**VOCAL:**

\_\_\_\_\_  
**M.C. AMANDA JARAMILLO SANTOS**

**VOCAL:**

\_\_\_\_\_  
**ING. JESUS MANUEL LUNA DAVILA**

**VOCAL SUPLENTE:**

\_\_\_\_\_  
**M.C. FRANCISCO ONOFRE PARTIDA**

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

\_\_\_\_\_  
**M.C. VICTOR MARTÍNEZ CUETO**

**Torreón, Coahuila**

**Febrero del 2008**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO “  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**TESIS**

**“ELABORACIÓN DE UN MÓDULO A NIVEL LABORATORIO PARA EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE TIPO COMERCIAL E  
INDUSTRIAL”**

**Elaborada bajo la supervisión del comité de asesoría y aprobada  
como requisito parcial para optar el grado de:**

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**COMITÉ ASESOR:**

**ASESOR PRINCIPAL:**

\_\_\_\_\_  
**M.C. HECTOR MONTAÑO RODRIGUEZ**

**ASESOR:**

\_\_\_\_\_  
**M.C. AMANDA JARAMILLO SANTOS**

**ASESOR:**

\_\_\_\_\_  
**ING. JESUS MANUEL LUNA DAVILA**

**ASESOR:**

\_\_\_\_\_  
**M.C. FRANCISCO ONOFRE PARTIDA**

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

\_\_\_\_\_  
**M.C. VICTOR MARTÍNEZ CUETO**

**Torreón, Coahuila**

**Febrero del 2008**

## AGRADECIMIENTOS

A **DIOS** por darme la oportunidad de cumplir una más de mis metas, mil gracias.

A mi **ALMA TERRA MATER** por darme las facilidades para culminar una etapa más de mis estudios, por estos años en los que fue para mí un segundo hogar al que le guardo un profundo cariño y eterno agradecimiento, orgullosamente Narro.

Al **Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)** por aceptarme y facilitarme la visita realizada en sus instalaciones del laboratorio de la planta piloto, muchas gracias.

A la **Dra. Petia Mijaylova Nacheva** por su apoyo, colaboración y sugerencia en el trabajo, muchas gracias.

Al **M.C. Héctor Montaña Rodríguez, M.C. Amanda Jaramillo Santos, Ing. Manuel Luna Dávila y al M.C. Francisco Onofre Partida** por el apoyo e interés que me mostraron durante el transcurso de mi carrera lo cual fue para mi una valiosa ayuda, que hicieron posible la culminación de este trabajo, por su confianza y amistad mil gracias.

A mis padres **Martha Antonio Cruz y Tito López Rojas** por el apoyo brindado, los consejos, el amor, y ser la fuente de mi fortaleza para poder salir adelante ante todas las adversidades que han surgido en el transcurso de mi vida “Gracias”.

A mis amigos de generación **Lesly, Nayeli, Reyna, Marcia, Martha, Azalia, Guadalupe, Norma, Juan, Otoniel, Alfonso, Policarpio y Daniel** por la amistad que me brindaron de quienes guardo gratos recuerdos, les deseo éxito.

## DEDICATORIAS

A mis padres **Martha Antonio Cruz y Tito López Rojas** con todo mi corazón por darme la vida, apoyarme en todos los aspectos, por tener paciencia y por haber creído en mí. Por los consejos, el amor, y ser la fuente de mi fortaleza para poder salir adelante ante todas las adversidades que han surgido en el transcurso de mi vida “Gracias”.

A mis abuelos **Ingracia Rojas Domínguez (†) y Javier López Godínez** con todo el cariño para ellos, por que siempre estuviste conmigo, por cada bendición tuya y cada uno de tus sabios consejos.

A mis hermanos **Rubio, Edgar, Roberto, Ramón** por todos esos momentos de la infancia que juntos compartimos y reímos, por haber existido y ser parte fundamental de mí, que nunca me han dejado solo y que siempre estaremos unidos como una familia que somos.

A mi novia **Aidé Cruz Rodas** por estar a mi lado, en los buenos y malos momentos apoyarme cuando más lo necesite, aconsejarme y por brindarme su amor y cariño. Y sobre todo creer en mi, gracias.

A mis amigos **Fabiola, Martha, Cristela, Noemí, Vanesa, Roció, Elena, Glendi, Huber, Fabiel, Erick, Otoniel, Juan G., David, Daniel, Ismael, Raziél, Manolo, Marco, Gonzalo, David Jiménez, Fernando (†), Javier, Encarnación** por su incondicional amistad y los bellos momentos compartidos.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIAS.....	ii
INDICE GENERAL.....	iii
INTRODUCCION.....	1
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.1 JUSTIFICACION.....	6
1.2 OBJETIVO.....	8
1.3 METAS.....	8
1.4 HIPOTESIS.....	8

## MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes.....	9
2.2 Experiencias y estudios en el tratamiento de aguas residuales.....	11
2.3 Aguas residuales domesticas e industriales.....	12
2.3.1 Características de las aguas residuales.....	14
2.4 Principales contaminantes de aguas residuales.....	14
2.5 Reutilización de las aguas residuales.....	16
2.5.1 Agua potable y salud.....	16
2.5.2 Beneficios para las familias.....	17
2.5.3 Beneficio para las industrias.....	17
2.6 Datos de utilización de agua en México.....	17
2.7 Normas y leyes de agua residual .....	19
2.8 Tratamientos de agua residuales.....	20
2.8.1 La importancia del tratamiento de aguas residuales.....	21
2.9 Selección de un tratamiento.....	22
2.9.1 Criterios generales en la selección de un tratamiento de aguas.....	24
2.9.2 Tratamiento fisicoquímico de aguas residuales.....	25

2.10	Operaciones y procesos unitarios de tratamiento de agua residual..	26
2.11	Estudio en planta piloto.....	27
2.11.1	Tratamiento preliminar.....	27
2.11.2	Tratamiento primario.....	28
2.11.3	Tratamiento secundario.....	29
2.11.3.1	Tratamiento biológico.....	29
2.11.3.2	Sedimentador secundario.....	31
2.11.3.2.1	Tipos de sedimentación.....	32
2.11.4	Tratamiento terciario o avanzado.....	34
2.11.4.1	Filtración.....	34
2.11.4.2	Filtración por carbón activado y zeolitas.....	35
2.11.4.3	Desinfección.....	36
2.11.4.3.1.	Luz ultravioleta.....	38
2.11.4.3.2.	Ozonización.....	41
2.11.4.3.3.	Cloración.....	43
2.11.5	Tratamiento de lodo.....	46

## MÉTODO

3.1	Localización del área de estudio.....	49
3.2	Metodología utilizada.....	49

## RESULTADOS

4.1	Acondicionamiento y regulación del agua residual domestico e industrial.....	52
4.2	Sedimentador primario.....	53
4.3	Tratamiento químico.....	53
4.4	Tratamiento biológico.....	54

4.5	Sedimentador secundario.....	54
4.6	Filtración.....	55
4.7	Desinfección.....	55
4.8	Análisis de calidad de agua.....	56
4.9	Almacenamiento de lodo.....	56
4.10	Esquemas y diagramas del módulo de tratamiento.....	57
	Esquema del sistema de tratamiento de agua residual en bloques.....	58
	Diagrama tridimensional del sistema de tratamiento de agua residual comercial e industrial.....	59
	Esquema tridimensional del agua residual en tratamiento.....	60
	Esquema tridimensional del flujo de lodo y el lavado de la filtración.....	61
	SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO.....	62
	Línea A.1: acondicionamiento y regulación $\Rightarrow$ sedimentador primario.....	62
	Línea A.1: sedimentador primario $\Rightarrow$ tratamiento biológico.....	63
	Línea A.1: tratamiento biológico $\Rightarrow$ sedimentador secundario.....	64
	Línea A.1: sedimentador secundario $\Rightarrow$ filtración.....	65
	Línea A.1: filtración.....	66
	SISTEMA DE TRATAMIENTO QUÍMICO.....	67
	Línea A.2: acondicionamiento y regulación $\Rightarrow$ sedimentador primario....	67
	Línea A.2: sedimentador primario $\Rightarrow$ tratamiento químico.....	68
	Línea A.2: tratamiento químico $\Rightarrow$ sedimentador secundario.....	69
	Línea A.2: sedimentador secundario $\Rightarrow$ filtración.....	70
	Línea A.2: filtración.....	71
	Módulo de tratamiento de agua residual.....	72
	T1: acondicionamiento y regulación.....	72
	T2: sedimentador primario.....	73
	T3: tratamiento químico.....	74
	T4: tratamiento biológico.....	75
	T5: sedimentador secundario.....	76
	T6: filtración.....	77

T7: desinfección.....	78
T8: análisis de calidad de agua.....	79
T9: almacenamiento de lodos. ....	80
4.11 Cotización por módulo del laboratorio.....	81

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSION.....	85
5.2 RECOMENDACIONES.....	85
LITERATURA CITADA.....	86

## INTRODUCCIÓN

En tiempos antiguos, las recogidas de aguas residuales aparecen hasta principios del siglo XIX, mientras que el tratamiento sistemático de las aguas residuales data de finales del siglo pasado y principios del presente. La pregunta compleja es ¿que contaminantes puede contener un agua residual ya sea domestico o industrial y como se debe de eliminar?, esto requiere una respuesta especifica en cada caso concreto. Para establecer dichas respuestas es preciso analizar las condiciones y necesidades locales en cada caso, y aplicar los conocimientos científicos. Se conoce como operaciones unitarias aquellos métodos de tratamiento en los que predominan los fenómenos físicos, mientras que aquellos métodos en los que la eliminación de los contaminantes se realiza en base a procesos químicos o biológicos se conocen como procesos unitarios. En la actualidad, las operaciones y procesos unitarios se reagrupan entre si para construir el tratamiento primario, secundario y terciario o tratamiento avanzado<sup>1</sup>.

La mayoría de los procesos unitarios empleados en el tratamiento de aguas residuales están siendo sometidos a una intensa y continua investigación, tanto desde el punto de vista de ejecución como de aplicación de los mismos. Como consecuencia de ellos se han desarrollado nuevas operaciones y procesos de tratamiento y se han realizado modificaciones con el objetivo de conseguir su adecuación a los crecientes y riguroso requerimiento que se establecen de cara a la mejora ambiental de los cursos de agua. La naturaleza cambiante de las aguas residuales se están intensificando en sus estudios, estos son de especial importancia a la hora de proponer y desarrollar nuevos métodos de tratamiento.

Hace muy poco tiempo el mayor interés acerca de los efectos del agua potable contaminada se habia concentrado en las enfermedades bacteriales y virales tales como la hepatitis infeccioso, la salmonelosis y la gastroenteritis<sup>2</sup>. Con el desarrollo de las civilizaciones se han incrementado las áreas de urbanización y diversificación de los procesos industriales, así como el desarrollo agrícola, desafortunadamente, estas actividades han provocado la contaminación del agua, el suelo y el aire provocando que un sinnúmero de

---

<sup>1</sup> Tchobanoglous G., Burton F. L., Ingeniería de aguas residuales, Pág. 2-7, McGRAWILL-HILL, 1996.

<sup>2</sup> Freeman, M. A., Control de la contaminación del agua y aire, Pág. 194,196, 197, 198, Editorial Limusa, 1992.

elementos químicos, junto a una mayor cantidad de materia orgánica, sean dispuestos en los cursos normales de agua ocasionando que el ambiente se deteriore cada día más en todo el planeta. Para evitar problemas a futuro se debe de hacer un buen tratamiento a cualquier agua residual sea industrial o comercial.

Para realizar el tratamiento de agua residual se debe de considerar diferentes métodos como es el caso del tratamiento primario en el que se sedimentan sólidos más pesados y evita que se dañe el equipo de bombeo en el sistema de tratamiento, al igual permite que el agua sea homogénea; así también el tratamiento secundario que considera los lodos activados o mejor conocidos como tratamiento biológico, los biodiscos, filtro percolador entre otros. El tratamiento terciario o avanzado se puede constituir con un tratamiento químico como es el caso de la coagulación y floculación, la ozonación, filtración, adsorción en carbón activado, desinfección, etc. Pero es recomendable tomar en cuenta que dependiendo del agua residual se utilizan los diferentes tratamientos.

Se propone un Módulo a Nivel Laboratorio para el Tratamiento de Aguas Residuales de origen Comercial o Industrial en el que se realizará tratamiento preliminar que consiste en la regulación y acondicionamiento del agua residual para su posible tratamiento, el tratamiento primario que esta compuesto por el sedimentador primario el cual tiene como objetivo reducir los sólidos más pesados que existan en el agua residual. En el tratamiento secundario se utilizará un sedimentador y el uso de lodos activados; en el tratamiento avanzado se considerará el tratamiento químico, la filtración y la desinfección del agua residual. En cada uno de los tratamientos se observan las características, costos y materiales a utilizar para su respectiva construcción.

## CAPITULO I

### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Sin duda que el mayor volumen de aguas residuales corresponden a aquellas que son propias de la vida del ser humano como la limpieza, preparación de alimentos y necesidades fisiológicas<sup>3</sup>. Se calcula que cada persona consume 200 litros de agua diarios para satisfacer sus necesidades antes mencionadas. Parte de estos, generan aguas residuales que contienen materia fecal, restos de alimentos, aceites y grasas; otros son detergentes, sales, sedimentos, material orgánico no biodegradable y también microorganismos patógenos<sup>4</sup>.

El agua, después de su aprovechamiento en diferentes actividades humanas es descargada formando un efluente llamado agua residual. De acuerdo con su procedencia puede ser de origen municipal o industrial<sup>5</sup>. El tratamiento de agua residencial rica en materia orgánica y con una mínima cantidad de compuestos químicos tóxicos (orgánicos e inorgánicos), es sencillo y el principal problema son los organismos patógenos<sup>6</sup>.

---

<sup>3</sup> Tejero I., Suárez J., Jácome A. y Temprano J., Introducción a la Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Pág. 6-18, 2001.

<sup>4</sup> Palacios L., C., Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, Antártida- Verano Austral 2003- 2004, Pág. 185-190, Revista Tecnológica ESPOL, 2006.

<sup>5</sup> Ruiz-Pérez A., Determinación de Coagulante y Flocculante, y su Dosis Óptima para el Tratamiento de Agua Residual Municipal Mediante: Coagulación, Flocculación y Sedimentación, Tesis, Pág. 1, 2005.

<sup>6</sup> Ibidem, Pág. 194 -198, Editorial Limusa, 1992.

En 1992 había en México 394 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación, que trataban un caudal aproximado de 30,6 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales<sup>7</sup>, sobre un total estimado de 187 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales recolectadas por las redes de alcantarillado. Es decir, se trataba sólo 19% de las aguas residuales municipales conducidas a los sistemas de alcantarillado. Operaban, por tanto, un número reducido de plantas de tratamiento para las necesidades del país, tratando un porcentaje reducido del caudal total de aguas residuales. Además, a finales de los años noventa 39% de las plantas de tratamiento estaba fuera de operación y esto es un porcentaje elevado<sup>8</sup>.

Es importante recalcar que las aguas residuales son en parte las que llegan al suelo y al manto freático, y entonces aquellas aguas limpias sufren una contaminación, que por cierto, la recuperación de algún cuerpo de agua es muy costoso y tardío. Por lo tanto no es conveniente mezclar estas aguas. En la comarca lagunera no existe un laboratorio donde se analicen en tratamientos de agua residual a escala por lo tanto es conveniente tener un módulo en la región.

## 1.1 JUSTIFICACIÓN

En México, no existe una estructura adecuada de tarifas del servicio de agua y saneamiento, lo que impide la autosuficiencia de este servicio (incluido el tratamiento de las aguas residuales). En muchos casos, no tienen un financiamiento alternativo suficiente para subsidiar los costos de agua potable y saneamiento. Esta situación existe en parte, especialmente en los municipios de las zonas más deprimidas<sup>9</sup>.

Sin embargo, la distribución de recursos hídricos es muy desigual en México. Mientras el Sureste mexicano tiene una disponibilidad natural de 13,290 m<sup>3</sup>/hab\*año, el resto del país tiene sólo un promedio de 1,835 m<sup>3</sup>/hab\*año. El 68% del agua disponible se encuentra en regiones donde vive sólo el 23% de la

---

<sup>7</sup> CNA, (en línea), Tratamiento de aguas residuales, Comisión Nacional del Agua (México), 1999.

<sup>8</sup> Escalas C., A., Estimación Propia de la Generación y Recolección de Aguas Residuales en 1992, a partir de de datos de años posteriores. Editorial Limusa, 2006.

<sup>9</sup> Ibidem, Comisión Nacional del Agua (México), 1999.

población, y se genera el 15% del PIB, mientras que el 32% del agua disponible se encuentra en regiones donde se concentra el 77% de la población y se genera el 85% del PIB<sup>10</sup>.

El compromiso de cualquier ser humano con el ambiente que lo rodea, es cuidarlo y nunca contaminarlo. Para el confort de la humanidad se ha luchado en todo los ámbitos y por tal motivo la ciencia se ha desarrollado paralelamente, dando como resultado un avance científico, pero pocos se abocan a investigar y dar solución al ambiente, por lo tanto el cuidado hacia el ambiente debe nacer desde la temprana edad, como ejemplo tenemos el caso de las aguas residuales que contaminan a todo cuerpo de agua<sup>11</sup>.

La utilización de un Módulo a nivel laboratorio de tratamiento de agua residual permitirá analizar el proceso más adecuado para el tratamiento de agua residual y así tomar en cuenta cuales son sus costos y que tipo de material se debe de utilizar para la construcción de una planta de tratamiento de agua residual de acuerdo a las condiciones que se presenten. En la Comarca Lagunera no existe un laboratorio adecuado para el simulacro de diferentes tratamientos de agua residual, ya que solo hay módulos de análisis físicos, biológicos y químicos del agua.

---

<sup>10</sup>CNA, El recurso hídrico en México. En Estadísticas del agua en México 2005, 2005.

<sup>11</sup> Freeman, M. A., Op. Cit., Pág. 194 -198, Editorial Limusa, 1992.

## **1.2 OBJETIVO**

Proponer un sistema para el tratamiento de aguas residuales de origen comercial e industrial a nivel laboratorio.

## **1.3 METAS**

Proponer el módulo más adecuado a las necesidades.

Montar la estructura de seis a ocho meses.

## **1.4 HIPOTESIS**

El diseño de este sistema de tratamiento permitirá manejar adecuadamente un agua residual, ya sea de origen industrial o comercial.

## **CAPITULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 ANTECEDENTES**

Durante muchos años, las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores se llevaban a cabo diariamente mediante una tubería, la mezcla y dilución se daba de manera variable, dependiendo de las características naturales del cuerpo receptor. En la actualidad se está prestando atención a los efectos medio ambientales sobre la flora y la fauna, los sólidos en suspensión, nutrientes y componentes tóxicos. Desde el inicio de los años 1970 hasta los años 1980, aproximadamente, los objetivos de las aguas residuales estaban más relacionados con criterios estéticos y medioambientales.

También se empezó a considerar la eliminación de algunos nutrientes como el nitrógeno o el fósforo especialmente en el caso de cursos de aguas interiores y lagos. A partir de 1980 como consecuencia del avance científico y de la mayor información de base, el tratamiento de aguas residuales ha empezado a centrarse en los problemas de salud relacionados con las aguas de descargas al medio ambiente de productos químicos tóxicos o potencialmente tóxicos<sup>12</sup>.

En las últimas décadas la creciente demanda de la sociedad para realizar el tratamiento de agua contaminada de diversos orígenes ha impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías de purificación. En general las aguas contaminadas por la actividad humana pueden ser procesadas efectivamente por plantas de tratamiento biológico o por químico convencionales. Sin embargo, en algunos casos estos procedimientos resultan inadecuados para aguas residuales que contengan compuestos de estructura compleja. Las tecnologías de oxidación son especialmente útiles como pre tratamiento o un tratamiento biológico o como proceso de pos tratamiento para efectuar un pulido de las aguas antes de la descarga a los cuerpos receptores o para reuso y/o reciclaje del agua<sup>13</sup>.

---

<sup>12</sup> Ruiz-Pérez A., Op. Cit. Tesis, Pág. 4-33, 2005

<sup>13</sup> Lazcano-Arriola L. M., Ortiz-Ramírez J. A., Ramírez-Zamora R.M., Duran-Moreno A., Evaluación y biodegradabilidad de diferentes aguas residuales pretratadas con el método de Fenton, pp. 1-13. 1998.

Históricamente las aguas residuales no han sido un factor intrínseco de la producción y se suponía que el medio ambiente las absorbía y les daba un tratamiento natural. El progreso cultural e industrial acabó llevando aquella práctica a situaciones límite. Las implicaciones en el medio ambiente y la forma en que se debían aportar soluciones no siempre han estado tan claras como para seguir una vía única. Esta situación se ha reflejado en las legislaciones distintas para proteger los cauces de aguas.

El estudio de un tratamiento de aguas residuales se inicia por un análisis del inventario de vertidos y su posible reducción, y del potencial reciclado de aguas después de su depuración. Una depuración suficiente puede significar la reutilización de importantes volúmenes de agua y el correspondiente ahorro de consumo. La selección de un tratamiento suele requerir ensayos previos de laboratorios o planta piloto. Los ensayos físicoquímico son de relativa rapidez, pero los biológicos pueden requerir varios meses hasta tener resultados factibles<sup>14</sup>.

## **2.2 Experiencias y estudios en el tratamiento de aguas residuales**

Algunas ciudades tales como Inglaterra comienzan a tratar sus afluentes desde el siglo XIX, inicialmente con sistemas rudimentarios y más tarde con tratamiento de sedimentación, algunos de los cuales incorporan el uso de coagulantes. El desarrollo de la teoría de germen a cargo de Koch y Pasteur en la segunda mitad del siglo XIX marco el inicio de una nueva era en el campo del saneamiento. Hasta ese momento se había profundizado poco en la relación entre contaminante y enfermedades, y no se había aplicado el tratamiento de aguas residuales la bacteriología, disciplina entonces en sus inicios<sup>15</sup>.

## **2.3 Aguas residuales domesticas e industriales**

---

<sup>14</sup> Rigola-Lapeña, M., Tratamiento De Aguas Industriales-Aguas De Procesos Y Residuales, ALFAOMEGA GRUPO EDITORES, Pág. 27-39, 43-46, 49-91, 137-154. 1999.

<sup>15</sup> Ruiz-Pérez A., Op. Cit. Tesis, Pág. 4-33, 2005.

El agua residual es un líquido de composición variada proveniente de diferentes usos como municipal, industrial, comercial, agrícola o de cualquier otra índole ya sea pública o privada y que por tal motivo haya sufrido degradación o alteración en su calidad original <sup>16</sup>.

Las aguas residuales domésticas provienen de los núcleos de población, de zonas comerciales, de instituciones públicas y de instalaciones recreativas. En general estas aguas tienen la misma composición<sup>17</sup>.

Cuando un agua residual proviene de un restaurante u hospital, contiene una amplia variedad de químicos, biológicos y físicos como son la grasa, carne, huesos, excrementos y detergentes. Los contenidos de contaminantes del agua residual varían mucho dependiendo de la operación de donde proviene<sup>18</sup>.

Los procesos industriales generan una gran variedad de aguas residuales que pueden tener origen muy distinto: agua usada como medio de transporte, de lavado y enjuague, de transformaciones químicas usando el agua como disolvente, como subproducto de procesos físicos de filtración o destilación, como medio de transporte de calor, etc. El desarrollo de una política en el ambiente en los países industrializados, que aseguren el futuro del proceso productivo, implica una limitación cada vez más estricta sobre los contaminantes. Algunos de ellos, especialmente metales pesados y ciertas sustancias orgánicas están sometidas a severas restricciones, y para algunas industrias se requieren autorizaciones basadas en estudios de impacto ambiental<sup>19</sup>.

Los contaminantes pueden encontrarse en forma disuelta o suspensión, y por su naturaleza química pueden ser orgánico e inorgánico dentro de las cuales encontramos:

---

<sup>16</sup> NMX-AA-03-. "Aguas residuales.-Muestreo", 1980.

<sup>17</sup> Sans F. R. y Ribas J. De P., Ingeniería Ambiental Contaminación Y Tratamientos, ALFAOMEGA EDITORES, Pág. 67-69. 1999,

<sup>18</sup> Ghaly A. E., Show A. y Faber B.E., Effective Coagulation Technology for Treatment of Grease Filter Washwater, American Journal of Environmental Sciences, Pág. 9-29, 2007.

<sup>19</sup> Ruiz-Pérez A., Op. Cit. Tesis, Pág. 4-33, 2005.

- Materia orgánica soluble, medida como DBO, DQO, o COT.
- Aceite, grasas y material flotante.
- Nutrientes
- Sólidos en suspensión y material coloidal.
- Color, turbiedad y olor.
- Metales pesados o contaminantes orgánicos especiales, etc.

### **2.3.1 Características de las aguas residuales**

Según Rigola<sup>20</sup> Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica, estas características dependen del tipo del agua residual y del uso que se les brinde.

- ✓ Características físicas: color, olor, sólidos, temperatura, turbiedad.
- ✓ Características químicas (orgánicas): carbohidratos, grasas, y aceites, plaguicidas, fenoles, proteínas, agentes tensioactivos, compuestos orgánicos volátiles.
- ✓ Características químicas (inorgánicas): alcalinidad, cloruro, N, pH, fósforo, azufre.
- ✓ Compuestos tóxicos: Ni, Pb, Mg, Cd, As, Zn, Co, Fe.
- ✓ Gases: nitrógeno, oxígeno, amoníaco, metano, ácido sulfhídrico, bióxido de carbono.
- ✓ Características biológicas: coliformes fecales y totales.

### **2.4 Principales contaminantes de aguas residuales**

**SÓLIDOS EN SUSPENSION:** Cuando estos se vierten a los lechos de ríos, lagos, etc. Conducen el desarrollo de depósitos de fangos y aumenta las condiciones anaerobias de las zonas del vertido.

---

<sup>20</sup> Rigola-Lapeña, Op. Cit., Pág. 27-28. ALFAOMEGA GRUPO EDITORES 1999.

**MATERIA ORGANICA BIODEGRADABLE:** Esta se mide en DQO y DBO y si estos se encuentran en elevadas concentraciones en el entorno acuático puede llevar el agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.

**MATERIAS ORGANICAS REFRACTARIAS:** Si contienen elevada concentración de estas puede contaminar las aguas naturales de productos tóxicos o, según algunos estudios, incluso cancerígenos.

**NUTRIENTES:** Estos son principalmente el N, P y C, si un agua contiene estos nutrientes sin tratar puede producir una vida acuática no deseada así como la contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

**METALES PESADOS:** Estos provienen de las aguas residuales comerciales e industriales, aunque unos pueden ser necesario para la vida biológica, la concentración elevada puede interferir en los procesos de depuración al igual si los vertidos se van al medio acuático podrían poner en peligro el aprovechamiento de las aguas naturales debido a su alta toxicidad.

**COMPUESTOS TOXICOS:** Estos pueden ser como la plata, cobre, boro, cianuro, cromatos, y arsénicos, son tóxicos en alguna medida para los microorganismos y, por lo tanto puede intervenir en la depuración biológica.

**PATOGENOS:** Pueden transmitir enfermedades contagiosas<sup>21</sup>.

## **2.5 Reutilización de las aguas residuales**

La reutilización de las aguas residuales se constituye como una alternativa de gran relevancia de los estados áridos y semiáridos del Norte de México, donde uno de los principales problemas es la escasez del recurso. El uso de agua residual tratada en la planta industrial Mexicana tiene dos vertientes: uno es

---

<sup>21</sup> Sans F. R. y Ribas J. De P., Op. Cit., ALFAOMEGA EDITORES, Pág. 67-68. 1999.

la toma del agua residual tratada municipal y la otra se refiere a la reutilización del agua generada por la propia industria<sup>22</sup>.

### **2.5.1 Agua potable y salud**

La presencia de contaminantes procedentes de fuentes determinadas en los puntos de surtidos de los sistemas municipales de abastecimiento de agua, aumenta el grado de tratamiento necesario para retirar los sólidos en suspensión y las sustancias que afectan el olor y sabor del agua. Si los contaminantes que proceden de una fuente determinada se eliminan, se podría reducir igualmente los costos de tratamiento de abastecimiento municipales del agua. Estos ahorros en costos deberían considerarse como un beneficio derivado del control de la contaminación, así también evitar enfermedades.

### **2.5.2 Beneficios para las familias**

La dureza del agua y la presencia de sólidos disueltos en abastecimientos municipales de agua, puede imponer diversos costos en las familias debido por ejemplo, a la oxidación de las instalaciones, a los minerales depositados y daños a los aparatos. Si la dureza y los sólidos disueltos son debidos, al menos en parte a la contaminación procedente de fuentes determinadas, el control de estas fuentes reducirá dichos costos y originara beneficios correspondientes.

### **2.5.3 Beneficio para las industrias**

El agua tratada para las industrias ayudara para la utilización de esta agua para las calderas y agua para refrigeración o enfriamiento<sup>23</sup>.

---

<sup>22</sup> Duarte-Dimas, A., Desorción y recuperación de sulfuros presentes en el agua residual provenientes de la etapa de pelambre, Pág. 9-12, TESIS, 2006.

<sup>23</sup> Freeman, M. A., Op. Cit, EDITORIAL LIMUSA, Pág. 194 - 198, 1992

## 2.6 Datos de utilización de agua en México

Según la CNA<sup>24</sup>, el 70% de la precipitación se pierde por evapotranspiración, dejando una disponibilidad natural de agua de 475 km<sup>3</sup> al año (escurrimiento superficial e infiltración). Esto representa un promedio de 4,505 m<sup>3</sup>/ hab\*año. Una disponibilidad natural inferior a los 2,000 m<sup>3</sup>/hab\*año se considera un indicador de escasez de agua. Por tanto, la disponibilidad promedio mexicana está bastante por encima de ese valor, y es superior a la de países como España, Alemania o Francia<sup>25</sup>, aunque muy por debajo de la chilena, 63,064 m<sup>3</sup>/hab\*año.

Existen, por tanto una considerable presión sobre los recursos hídricos en amplias regiones de México. Más aún, la concentración de la población en áreas metropolitanas conduce localmente a fuertes presiones sobre los recursos hídricos, como en el caso del Valle de México<sup>26</sup>.

A diciembre de 2004 <sup>27</sup> se recolectaban 205 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales en los sistemas de alcantarillado. El 31.5% de este caudal se depuraba en los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales (64.5 m<sup>3</sup>/s). En un futuro necesitamos saber como llevar a cabo un buen tratamiento para el agua residual. No obstante la importancia que tiene el tratamiento de las aguas residuales para evitar la contaminación de los cuerpos receptores, la inversión de estas obras de infraestructura ha sido incipiente, ya que se otorga prioridad al servicio del agua potable<sup>28</sup>.

## 2.7 Normas y leyes de agua residual

Hay normas que mencionan los límites máximos permisibles tanto del pH, concentración de patógenos, así como los vertidos permitidos en aguas nacionales, la concentración de coliformes fecales y los

---

<sup>24</sup> CNA, Op. Cit., 2005.

<sup>25</sup> UNESCO, (en línea), [http://www.unesco.org/bpi/wwdr/WWDR\\_chart1\\_eng.pdf](http://www.unesco.org/bpi/wwdr/WWDR_chart1_eng.pdf), 2003.

<sup>26</sup> National Research Council, Academia de la Investigación Científica, Academia Nacional de Ingeniería, 1995 (en línea), Suministro de agua en la Ciudad de México.1995.

<sup>27</sup> CNA, Op. Cit., 2005.

<sup>28</sup> Duarte-Dimas, A., Op. Cit., Pág. 9-12, TESIS, 2006.

huevos de helmintos<sup>29</sup>. Así como los límites máximos permisibles para contaminantes de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal<sup>30</sup>. Pero también el agua residual tratada rehusada en servicio al público contiene concentración de metales pesados y cianuros<sup>31</sup>.

Según la LEGEPA <sup>32</sup>se mencionan los siguientes artículos:

ARTÍCULO 92.-Las autoridades competentes promoverán el ahorro y uso eficiente del agua, el tratamiento de aguas residuales y su reuso.

ARTICULO 117.- Para la prevención y control de la contaminación del agua, en el sección IV donde menciona que las aguas residuales de origen urbano deben recibir tratamiento previo a su descarga en ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo.

ARTICULO 120.- Para evitar la contaminación del agua, quedan sujetas a regulación federal o local las descargas de origen municipal y su mezcla incontrolada con otras descargas.

*ARTÍCULO 128.- Las aguas residuales provenientes de los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano, podrán utilizarse en la industria y en la agricultura, si se someten en los casos que se requiera, al tratamiento que*

---

<sup>29</sup> NOM-001-ECOL-1996.-Que Establece Los Limites Máximos Permisibles De Contaminantes En Las Descargas De Aguas Residuales En Aguas Y Nacionales.

<sup>30</sup> NOM-002-ECOL-1996.- Que Establece Los Limites Máximos Permisibles De Contaminantes En Las Descargas De Aguas Residuales A Los Sistemas De Alcantarillado Urbano O Municipal.

<sup>31</sup> NOM-003-ECOL-1997.- Que Establece Los Limites Máximos Permisibles De Contaminantes En Las Descargas De Aguas Residuales Tratadas Que Se Rehúsen En Servicios Públicos.

<sup>32</sup> LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y PROTECCION AL AMBIENTE, Pág. 57- 70, Ediciones Delma, 2004.

*cumpla con las Normas Oficiales Mexicanas emitidas por la Secretaría, y en su caso, por la Secretaría de Salud.*

## **2.8 Tratamientos de agua residuales**

Es un proceso por el cual los sólidos que contienen los líquidos son separados parcialmente, haciendo que el resto de los sólidos orgánicos complejos queden convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables. La magnitud de este cambio depende del tipo de tratamiento empleado.

Una vez completado el proceso del tratamiento es necesario disponer los líquidos y sólidos que se hayan separados. El proceso empleado en las plantas de tratamiento suelen clasificarse como: Pre tratamiento, tratamiento primario, secundario y el terciario<sup>33</sup>. El sistema implementado en un tratamiento es de tipo convencional, con procesos físico-químico que consiste en coagulación, floculación, sedimentación y cloración, lo que permite eliminar sólidos en suspensión, sólidos disueltos, materia orgánica y bacterias patógenas características de un agua residual doméstica<sup>34</sup>.

La depuración de las aguas residuales doméstica implicara, inicialmente un tratamiento de tipo físico, como desbaste, dilaceración, floculación, sedimentación, flotación, filtración; lo que se define como un tratamiento primario. Es necesario un tratamiento de tipo secundario, que normalmente consiste en un tratamiento biológico para eliminar la materia orgánica biodegradable y puede ser necesario un tratamiento terciario, que es una combinación del físico, del químico y del biológico, así como tratamiento específico de aguas residuales<sup>35</sup>.

### **2.8.1 La importancia del tratamiento de aguas residuales**

---

<sup>33</sup> Rigola-Lapeña, Op. Cit., Pág. 120. ALFAOMEGA GRUPO EDITORES 1999.

<sup>34</sup> Palacios L., C., Op. Cit., Pág. 185-190, Revista Tecnológica ESPOL, 2006.

<sup>35</sup> Sans F. R. y Ribas J. De P., Op. Cit., ALFAOMEGA EDITORES, Pág. 67-133. 1999

Es importante la promoción de la limpieza y la eliminación de desechos de un agua residual solo con estas prácticas puede mantenerse un medio ambiente en condiciones aceptables.

Las necesidades de tratar las aguas residuales:

- ✓ Conservación de las fuentes de abastecimientos de agua para uso domestico.
- ✓ La prevención de molestia a la sociedad.
- ✓ La reutilización y reciclaje de aguas residuales en algún otro uso aprovechable que disminuya el agua potable gastada.
- ✓ Conservación del agua para uso industrial y agrícola.

## **2.9 Selección de un tratamiento**

El objetivo de cualquier tratamiento es eliminar componentes definidos como contaminantes, molestos o con efectos nocivos para el medio ambiente, y ajustar la calidad de agua vertida a las especificaciones legales. La mejor forma de tratar un agua residual depende de una serie de factores:

- Caudal
- Composición
- Concentraciones
- Calidad requerida del afluente
- Abundancia del agua
- Posibilidad de reutilización
- Posibilidad de vertido de una depuradora municipal
- Tasas de vertido, etc.

Es difícil trasladar los vertidos industriales a la línea convencional de tratamiento de agua residual urbanos porque con mucha frecuencia, la materia orgánica no es el contaminante clave no esta presente en los vertidos. Sin embargo, el paralelismo se mantiene en los tratamientos más completos.

Algunos vertidos industriales solo requieren una neutralización. La sanidad remanente no constituye en la mayoría de los casos un problema fundamental para los cauces receptores del afluente. Para la mayoría de aguas diluidas y no tóxicas, es suficiente un proceso que incluya tratamiento primario y secundario. En otros casos es preciso añadir un tratamiento terciario que lleve la calidad del agua a una mayor calidad genérica o bien que elimine algún contaminante remanente. En el caso de aguas residuales conteniendo compuestos tóxicos es preciso un pre tratamiento específico antes de pasar el agua a un proceso convencional. Esto es especialmente cuando las aguas industriales pueden ser aceptadas para su tratamiento en una planta colectiva o municipal, no preparada para recibir estos compuestos.

Los tratamientos específicos son necesarios para afluente ricos en metales pesados, pesticidas y otras sustancias que atravesarían fácilmente el tratamiento primario e inhibirían el tratamiento biológico. También es razonable su explicación para afluentes de poco volumen, ricos en materias no degradables, ya que es mucho más económico eliminar un contaminante específico de un afluente de poco volumen y concentrado que de uno voluminoso y diluido.

### **2.9.1 Criterios generales en la selección de un tratamiento de aguas**

Antes de poder decir sobre el tratamiento, los especialistas necesitan tener información suficiente acerca de las calidades de aguas disponible y para que uso se requiere. La primera se obtendrá realizando un análisis que determine todos los parámetros relevantes. Si el agua tiene su origen de red municipal, conviene verificar que se dispone de datos de las aguas de los distintos orígenes que puedan llegar como suministro. Cuando existen grandes depósitos intermedios que realizan una homogeneización de las aguas es posible que se simplifique el tratamiento. El contenido de materia orgánica, si los hay, puede ser muy irregular y conviene estar seguros de disponer de los máximos anuales.

Un factor muy importante en la decisión es el grado de pureza requerida en el agua tratada. Mientras el costo del tratamiento es, en cierta medida, proporcional al contenido de impureza, a partir de ciertos niveles de incremento de calidad de agua tratada representará un incremento exponencial del costo. La calidad de salida puede ser una exigencia por razones de seguridad, una especificación del proceso de fabricación o simplemente una decisión económica.

En el análisis de la solución económica, además de los criterios financieros, intervienen las inversiones y los plazos de amortización previstos, los consumos de productos químicos, la energía, la mano de obra y los rendimientos o pérdidas de agua en el tratamiento. La energía no es el componente más importante en la mayoría de los procesos, que en general solamente necesitan energía para la circulación del agua o la agitación. El factor de la mano de obra es importante a la hora de decidir la elección de equipos muy automatizados o equipos de funcionamiento manual<sup>36</sup>.

### **2.9.2 Tratamiento fisicoquímico de aguas residuales**

El sistema de tratamiento fisicoquímico incluye las unidades básicas de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y adsorción. Estos sistemas son usados tanto en forma autónoma, es decir, partiendo de aguas crudas para producir el efluente final o en serie, después de un tratamiento biológico. Una de las ventajas del tratamiento fisicoquímico es la obtención de un efluente muy clarificado, aunque la remoción de materia orgánica disuelta solo sea del 50% al 60%, esta limitación ha mejorado notablemente con la integración al sistema de adsorción con carbón activado<sup>37</sup>.

Cuando el tratamiento fisicoquímico, esta compuesto por una fase de coagulación, otra de floculación y una decantación final, tiene como objetivo la alteración del estado físico de estas sustancias mediante la adición de productos químicos para convertirlas en partículas capaces de ser separadas por

---

<sup>36</sup> Rigola-Lapeña, Op. Cit., Pág. 120-154. ALFAOMEGA GRUPO EDITORES 1999.

<sup>37</sup> Duarte-Dimas, A., Op. Cit., Pág. 9-12, TESIS, 2006.

sedimentación. Concretamente consiste en adicionar compuestos para neutralizar la carga del coloide y romper su estabilidad. En el primer paso, la coagulación, se desestabilizan los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de partículas de mayor tamaño. Posteriormente, en la floculación, se unen los coágulos para aumentar su volumen y peso de forma que puedan decantar.

## **2.10 Operaciones y procesos unitarios de tratamiento de agua residual**

Las operaciones llevadas a cabo en el tratamiento de aguas residuales, en las que los cambios de características y propiedades del agua se realizan mediante la aplicación de fuerzas físicas, se conocen como operaciones unitarias como el caso del desbaste, dilaceración, homogenización de caudal, mezclado, sedimentación, flotación, filtración, entre otros. Y los procesos empleados en el tratamiento del agua en las que las transformaciones se producen mediante reacciones químicas reciben el nombre de procesos químicos unitarios, los procesos pueden ser precipitación química, adsorción, desinfección con cloro, etc.<sup>38 39</sup>.

## **2.11 Estudio en planta piloto**

En general los estudios en una planta piloto se identifican la tecnología y el conjunto de condiciones de operación dirigidas a la obtención de agua de calidad acorde con sus usos factibles; es decir, se determinan las condiciones de cada proceso que resulten ser las de mayor efectividad en las secuencias preestablecidas o sistemas de tratamiento. Una vez hecho lo anterior, se procede a efectuar una evaluación técnica y económica para definir la factibilidad del sistema de tratamiento, para que opere durante periodos de tiempo relativamente largos a fin de generar los parámetros básicos de diseño y fincar la confiabilidad estadística relativa a la obtención de agua con calidad acorde al uso requerido.

### **2.11.1 Tratamiento preliminar**

---

<sup>38</sup> Tchobanoglous G., Burton F. L., Op. Cit., Pág. 2-7, McGRAWILL-HILL, 1996.

<sup>39</sup> Sans F. R. y Ribas J. De P., Op. Cit., ALFAOMEGA EDITORES, Pág. 112-133. 1999.

En la primera fase de un tratamiento de agua residual, se considera al acondicionamiento y regulación del agua residual, en la que se hace un tratamiento previo que tiene como propósito:

- ✓ Reducir la temperatura de las aguas residuales para evitar su disposición anaeróbica y en consecuencia eliminar en lo posible, la variación de sus características de calidad y la generación de los malos olores.
- ✓ Mantener el almacenamiento un volumen adecuado de aguas residuales para poder alimentar los tratamientos subsecuentes.
- ✓ Efectuar, cuando sea necesario los ajustes pertinentes de pH y la adición de nutrientes requeridos para el tratamiento biológico.
- ✓ Eliminar los primeros sedimentos por gravedad.

En este paso se puede utilizar un tamiz o una malla de aberturas libres de 15 mm, ya que por lo regular las plantas de tratamiento lo utilizan, en las que se eliminan del agua residual entrante los sólidos de mayor tamaño, y para la limpieza de este se puede hacer manual o mecánicamente<sup>40</sup>. Para tener una mayor eficiencia en una planta piloto, es necesario un control en la operación y mantenimiento del sistema<sup>41</sup>.

### **2.11.2 Tratamiento primario**

Preparan las aguas residuales para su tratamiento biológico o químico, eliminan ciertos contaminantes y reducen la variación del caudal y concentración de las aguas que llegan a la planta. El sedimentador primario, acompañan al tratamiento biológico, se utiliza para separar los sólidos en suspensiones por un proceso de sedimentación.

### **2.11.3 Tratamiento secundario**

---

<sup>40</sup> Tchobanoglous G., Burton F. L., Op. Cit., Pág. 2-7, McGRAWILL-HILL, 1996.

<sup>41</sup> Palacios L., C., Op. Cit., Pág. 185-190, Revista Tecnológica ESPOL, 2006.

En este proceso de tratamiento de agua residual se pueden utilizar los biodiscos, el filtro percolador, los lodos activados o conocido como tratamiento biológico y el sedimentador secundario, este permite la preparación del agua para su posible tratamiento terciario o avanzado.

### **2.11.3.1 Tratamiento biológico**

Los tratamientos de descontaminación de agua abarcan una gran variedad de métodos. Entre los más utilizados están los que involucran microorganismos, debido a que estos desarrollan sistemas económicos, eficientes y no generan subproductos contaminantes<sup>42</sup>, el sistema de lodos activados, el cual se fundamenta en el trabajo de las bacterias aeróbicas para degradar los desechos existentes en el agua, transformándolos en elementos menos contaminantes<sup>43</sup>.

El proceso de lodos activados se origino en Inglaterra a finales del siglo XVII. Las primeras investigaciones estudiaron la remoción de los sólidos y control de olores del agua. En estudios anteriores se ha determinado que la utilización del aire en los sistemas de tratamiento permite la disipación de olores de las aguas producidas en las ciudades. Fue hasta 1914 cuando se origino el nombre de lodo activado, y se definió como la habilidad del lodo para purificar y estabilizar el contenido orgánico de los desechos en el agua residual a través del uso de sólidos floculados en presencia del aire<sup>44</sup>.

Para entender la operación del sistema es necesario comprender la biología natural del lodo activado. Los lodos activados o biomasa son una mezcla de microorganismos que digiere el material biodegradable del agua de desecho<sup>45</sup>. Una buena calidad del lodo puede ser definida como la biomasa que posee una mezcla de microorganismos, incluye virus, algas, bacterias, protozoarios, hongos y gusanos, y se debe

---

<sup>42</sup> López, M., Tratamiento Biológico de Aguas Residuales en Prospectiva de la Biotecnología en México. Pág. 259-284, CONACYT, 1981.

<sup>43</sup> García, O., Evaluación de un modelo de laboratorio de tratamiento de lodos activados con agua residuales de la industria Láctea., Pág. 101, 2001.

<sup>44</sup> Bravo, M. Moreno A., Hernández C., Yeomans J., Okumoto S., Implementación Y Monitoreo De La Etapa Inicial Del Sistema de Tratamiento De Aguas Residuales Del Laboratorio De Procesamiento De Alimento De la Universidad Earth., Pág. 94-102, 1995.

<sup>45</sup> Spellman, F., Protozoaand Other Microorganisms En: Microbiology for Water/Wastewater Operators. Pág. 63-93, 2002.

de mostrar en forma de grupo de lodo pegajoso llamados "floc". Además, esta calidad se puede determinar cuando el lodo presenta un olor particular, similar al de la tierra húmeda y mohosa durante su constante agitación en la fase de aireación<sup>46</sup>.

Los microorganismos que intervienen en los tratamientos biológicos son muy variados y pertenecen a diferentes categorías como son:

- Bacterias
- Hongos
- Algas
- Protozoos
- Rotíferos
- Nematodos y crustáceos

El tratamiento secundario más común es el tratamiento biológico aerobio seguido de una decantación secundaria. En un tratamiento biológico, las bacterias y otros organismos destruyen y metabolizan las materias orgánicas solubles y coloidales, reduciendo el DBO y DQO a valores inferiores a 100 mg/lts.

#### **2.11.3.2 Sedimentador secundario**

En la separación por sedimentador secundario se aprovecha la fuerza de gravedad que imprime a las partículas un movimiento descendente, cuya velocidad depende de la densidad y viscosidad del líquido, y del tamaño forma y densidad de la partícula. Para obtener una mayor eficacia en el proceso de sedimentación conviene obtener partículas pesadas y grandes. Si esto no ocurre espontáneamente se acude a una coagulación-floculación preliminar. Cuando la concentración de sólidos es importante, la densidad aparente del líquido aumenta y se produce una sedimentación retardada.

---

<sup>46</sup> Bravo, M. Moreno A., Hernandez C., Yeomans J., Okumoto S., Op. Cit., Pág. 94-102, 1995.

En las distintas fases de la sedimentación que con el tiempo se forman en la parte superior de superficie libre (semejante al del agua líquida, características de la existencia de un campo de fuerza gravitatoria y unas interacciones entre cierta clase de partículas), debajo de la cual sedimentan partículas libremente (excepto si la concentración inicial es muy elevada) y por encima de la cual hay agua limpia. Más hacia el fondo aparece una zona de alta concentración donde tiene lugar la compresión y la compactación del fango. La superficie libre desciende con el tiempo hasta contactar con la zona de compresión. Con el tiempo la velocidad de descenso es cada vez más lenta<sup>47</sup>.

### **2.11.3.2.1 Tipos de sedimentación**

La sedimentación es un proceso de separación de sólido-líquido donde las partículas más pesadas que el agua, se dirigen hacia el fondo del depósito como resultado de la fuerza de gravedad.

En función de la concentración y de la tendencia a la interacción de las partículas, se pueden producir cuatro tipos de sedimentación.

- ✓ Discreta
- ✓ Floculenta
- ✓ Retardada (también llamada por zonas)
- ✓ Por compresión

La sedimentación discreta o libre esta se refiere a la sedimentación de partículas en suspensión con baja concentración de sólidos. Las partículas sedimentan como entidades individuales y no existe interacción sustancial como las partículas vecinas, se sedimentan las arenas de las aguas residuales.

La sedimentación floculenta se refiere a una suspensión bastante diluida de partículas que se agregan o floculan, durante el proceso de sedimentación. Al unirse, las partículas aumentan de masa y sedimentan

---

<sup>47</sup> Miranda J., (En línea), Tratamiento Analítico de las Aguas Servidas. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile.

a mayor velocidad. Su aplicaciones en la eliminación de una fracción de sólidos en suspensión del agua residual, también elimina los flòculos químicos de los tanques de sedimentación.

La sedimentación retardada también llamada zonal esta se refiere a suspensiones de concentración inmediata en las que las fuerzas entre partículas son suficientes para entorpecer la sedimentación de las partículas vecinas. Las partículas tienden a permanecer en posiciones relativas fijas, y la masa de partículas sedimenta con una unidad.

La sedimentación por compresión se refiere a la sedimentación en la que las partículas están concentradas de tal manera que forman una estructura, y la sedimentación solo puede tener lugar como consecuencia de la compresión de la estructura. La compresión se produce por el peso de las partículas, que se van añadiendo constantemente a la estructura por sedimentación desde el líquido sobrenadante<sup>48</sup>. Generalmente se produce en las capas inferiores de una masa de lodo de gran espesor, tal como ocurre en el fondo de los decantadores secundarios y en las instalaciones de espesamiento de lodos.

#### **2.11.4 Tratamiento terciario o avanzado**

Esto completa el tratamiento de agua residual cuando se necesita una depuración mayor de la conseguida con los tratamientos primarios y secundarios.

##### **2.11.4.1 Filtración**

La filtración se utiliza para eliminar los sólidos que puedan haber sido arrastrado a la salida del sedimentador secundario, además de su aplicación en tratamiento especial. Como medio de filtración se puede emplear arena, grava, antracita, o material adecuado, o una combinación de ellos. El pulido de afluente de tratamiento biológico se suele hacer con capas de granulometría creciente, duales o multimedia, filtrando en profundidad por que el fango arrastrado bloquearía fácilmente un filtro de arena

---

<sup>48</sup> IMTA, Memorias del curso taller teórico practico, tratamiento de aguas residuales industrial municipal, 2002.

fina trabajando en superficie. Los filtros de arena fina son preferibles cuando hay que filtrar floculo formados químicamente y aunque su ciclo sea más corto pueden limpiarse con menos agua.

#### **2.11.4.2 Filtración por carbón activado y zeolitas**

La absorción con carbón activo se utiliza para eliminar la materia orgánica que ha pasado el tratamiento biológico. El carbón más usado es de forma granular, que puede regenerarse después de su agotamiento. A veces el carbón activo se añade en el tratamiento por fango activos para eliminar sustancias toxicas que puedan inhibir el crecimiento celular.

Actualmente existe un creciente interés mundial por encontrar métodos eficientes y económicos para el tratamiento de contaminantes del agua, en los cuales el objetivo principal es reducir los niveles de concentración de sustancias toxicas. Un aspecto importante es tratar de retener los contaminantes en materiales con capacidad de alta adsorción. El carbón activado y las zeolitas son reconocidos tecnológicamente en el tratamiento de agua residual, debido a que esos materiales presentan grandes áreas superficiales, elevado poder de adsorción y estructuras porosas.

El carbón activado, como los aluminosilicatos, han sido empleados para remover contaminantes en soluciones acuosas, como por ejemplo el Fenol que puede ser removido por el carbón activado o bien las Zeolitas naturales o Sintéticas. Por otra parte si se trata químicamente a los aluminosilicatos con sales cuaternarias de amonio se observa que mejora su capacidad de adsorción de compuestos orgánicos y algunos materiales de estos con superficie hidrofílica han sido aprobados con éxito para la purificación de agua<sup>49</sup>.

#### **2.11.4.3 Desinfección**

---

<sup>49</sup> Rubio S., F. Granados, J. Jiménez, Retención de fenol en soluciones acuosas sobre carbón activado y zeolitas X, Pág. 34-40. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 2000.

Es considera un mecanismo para la desactivación o destrucción de organismos patógenos con el fin de prevenir la dispersión de enfermedades transmitidas a través del agua, tanto a los usuarios y al ambiente. Es muy importante que el agua residual sea tratada adecuadamente<sup>50</sup>. El impacto de las aguas residuales no tratadas en las fuentes de agua comunitarias ha puesto de manifiesto diversas problemáticas de salud y seguridad. Los organismos potencialmente problemáticos en el agua residual doméstica incluyen a las bacterias entéricas, los virus y los quistes de protozoarios. En resumen los microorganismos más comunes que se encuentran en el agua residual doméstica y los tipos de enfermedades humanas asociadas con los mismos son los siguientes:

<b>Organismos</b>	<b>Enfermedades Causada</b>
<b>Bacteria</b>	
<i>Escherichia coli</i> (enterotóxico)	Gastroenteritis
<i>Leptospira</i> (spp.)	Leptospirosis
<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea
<i>Salmonella</i> (2,100 serotipos)	Salmonelosis
<i>Shigella</i> (4 spp.)	Shigellosis (disentería bacilar)
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
<b>Protozoos</b>	
Balantidium coli	Balantidiasis
Cryptosporidium Parvum	Cryptosporidiasis
Entamoeba Histolytica	Amebiasis (disentería amoébrica)
Giardia lamblia	Giardiasis
<b>Helmintos</b>	
Ascaris lumbricoides	Ascariasis

<sup>50</sup> EPA, (en línea), Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, 1999.

T. solium	Teniasis
Trichuris trichiura	Tricuriasis
<b>Virus</b>	
Enterovirus (72 tipos; por ejemplo: virus echo y coxsackie del polio)	Gastroenteritis, anomalías del corazón y meningitis.
Hepatitis A	Hepatitis de tipo infeccioso
Agente de Norwalk	Gastroenteritis
Rotavirus	Gastroenteritis

La selección de un desinfectante adecuado para una instalación de tratamiento depende de los siguientes criterios:

- La capacidad de penetrar y destruir los gérmenes infecciosos en condiciones normales de operación.
- La facilidad y seguridad en el manejo, el almacenamiento y el transporte.
- La ausencia de residuos tóxicos y de compuestos mutagénicos o cancerígenos.
- Costos razonables de inversión de capital y de operación y mantenimiento (O/M).

#### **2.11.4.3.1. Luz ultravioleta**

El sistema de desinfección con luz ultravioleta (UV) transfiere energía electromagnética desde una lámpara de vapor de mercurio al material genético del organismo (ADN o ARN). Cuando la radiación UV penetra en las paredes de la célula de un organismo, esta destruye la habilidad de reproducción de la célula. La radiación UV, generada por una descarga eléctrica a través de vapor de mercurio, penetra al material genético de los microorganismos y retarda su habilidad de reproducción.

La eficacia del sistema de desinfección con luz ultravioleta depende de las características del agua residual, la intensidad de la radiación, el tiempo de exposición de los microorganismos a la radiación y la configuración del reactor. Para cualquier planta de tratamiento, el éxito de las actividades de

desinfección está directamente relacionado con la concentración de componentes coloidales y de partículas en el agua residual.

Los componentes principales del sistema de desinfección con luz UV son las lámparas de vapor de mercurio, el reactor y los balastos electrónicos (*ballasts*). La fuente de luz UV son las lámparas de arco de mercurio de baja o mediana presión, bien sea de intensidad baja o alta.

La longitud de onda óptima para desactivar eficazmente los microorganismos se encuentra en el rango de 250 a 270 nm. La intensidad de la radiación emitida por la lámpara se disipa a medida que la distancia de la lámpara aumenta. Las lámparas de baja presión emiten básicamente luz monocromática a una longitud de onda de 253.7 nm. Las longitudes estándar de las lámparas de baja presión son de 0.75 y 1.5 metros, y sus diámetros van de 1.5 a 2.0 cm. La temperatura ideal de la pared de la lámpara se encuentra entre 95 y 122 °F.

#### **Ventajas:**

- La desinfección con luz UV es eficaz para la desactivación de la mayoría de los virus, esporas y quistes.
- La desinfección con luz UV es más un proceso físico que una desinfección química, lo cual elimina la necesidad de generar, manejar, transportar, o almacenar productos químicos tóxicos, peligrosos o corrosivos.
- No existe ningún efecto residual que pueda afectar a los seres humanos o cualquier organismo acuático.
- La desinfección con luz UV es de uso fácil para los operadores.
- La desinfección con luz UV tiene un período de contacto más corto en comparación con otros desinfectantes (aproximadamente de 20 a 30 segundos con la utilización de las lámparas de baja presión).
- El equipo de desinfección con luz UV requiere menos espacio que otros métodos.

#### **Desventajas:**

- La baja dosificación puede no desactivar efectivamente algunos virus, esporas y quistes.
- Algunas veces los organismos pueden reparar o invertir los efectos destructivos de la radiación UV mediante un “mecanismo de reparación”, también conocido como fotoreactivación o, en ausencia de radiación, como “reparación en oscuro”.
- Un programa de mantenimiento preventivo es necesario para controlar la acumulación de sólidos en la parte externa de los tubos de luz.
- La turbidez y los sólidos suspendidos totales (SST) en el agua residual hacen que la desinfección con luz UV sea ineficaz. El uso de la desinfección con lámparas UV de baja presión no es tan efectivo en el caso de efluentes secundarios con niveles de SST mayores a 30 mg/L.
- La desinfección con luz UV no es tan económica como la desinfección con cloro, pero los costos son competitivos cuando la cloración requiere descloración.

#### **2.11.4.3.2. Ozonización**

Una alternativa para eliminar ciertos compuestos orgánicos es su destrucción por oxidación con ozono ( $O_3$ ). En algunos casos la ozonización se puede activar o complementar con luz ultravioleta. Los compuestos alifáticos insaturado y los aromáticos se oxidan con ozono, pero bajo ciertas condiciones pueden generar sustancias fenolicas toxicas. La combinación ozono/UV es efectiva para tratar pesticidas.

La desinfección con ozono se utiliza generalmente en plantas de tamaño mediano o grande una vez que el agua residual haya recibido por lo menos tratamiento secundario. Además de la desinfección, otro uso común del ozono en el tratamiento del agua residual es el control de malos olores.

El tratamiento con ozono tiene la capacidad de lograr niveles más altos de desinfección en comparación con el cloro o la luz ultravioleta; sin embargo, los costos de inversión así como los gastos de mantenimiento no son competitivos con las alternativas disponibles. Por lo tanto, el ozono es utilizado con poca frecuencia, principalmente en casos especiales en los cuales otras alternativas no son efectivas.

#### **Ventajas:**

- El ozono es más eficaz que la utilización del cloro para la desinfección o destrucción de virus y bacterias.
- El proceso de ozonización utiliza un período corto de contacto (aproximadamente de 10 a 30 minutos).
- No existen residuos peligrosos que necesiten ser removidos después del proceso de ozonización porque el ozono se descompone rápidamente.
- Después del proceso de ozonización, los microorganismos no crecen nuevamente, a excepción de aquellos que están protegidos por las partículas en la corriente de agua residual.
- El ozono es generado dentro de la planta, existiendo así muy pocos problemas de seguridad industrial asociados con el envío y el transporte.
- El proceso de ozonización eleva la concentración de oxígeno disuelto (O.D.) del efluente. El incremento O.D. puede eliminar la necesidad de reaeración y también puede incrementar el nivel de O.D. en la corriente de agua receptora.

**Desventajas:**

- La baja dosificación puede no desactivar efectivamente algunos virus, esporas o quistes.
- El proceso de ozonización es una tecnología más compleja que la cloración o la desinfección con luz ultravioleta, por lo cual se requieren equipos complicados y sistemas de contacto eficientes.
- El ozono es muy reactivo y corrosivo, requiriendo así de materiales resistentes a la corrosión tales como el acero inoxidable.
- El proceso de ozonización no es económico para las aguas residuales con altas concentraciones de sólidos suspendidos (SS), demanda bioquímica del oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno, o carbono orgánico total.
- El ozono es extremadamente irritante y posiblemente tóxico, así que los gases de escape que salen de la cámara de contacto deben ser destruidos para evitar que los trabajadores estén expuestos a ellos.

- El costo del tratamiento puede ser relativamente alto en cuanto a la inversión de capital y la demanda de energía eléctrica.<sup>51</sup>

#### **2.11.4.3.3. Cloración**

La cloración final del agua depurada se emplea para lograr su esterilización, gracias a su poder oxidante de la materia orgánica. La cloración es además importante en otros procesos de oxidación, como el tratamiento de las aguas cianuradas, vertido típico de los procesos galvánicos<sup>52</sup>.

El cloro es el desinfectante más usado para el tratamiento del agua residual doméstica porque destruye los organismos a ser inactivados mediante la oxidación del material celular. El cloro puede ser suministrado en muchas formas que incluyen el gas de cloro, las soluciones de hipoclorito y otros compuestos clorinados en forma sólida o líquida. El cloro es un desinfectante que tiene ciertos limitantes en términos de salubridad y seguridad, pero al mismo tiempo tiene un largo historial como un desinfectante efectivo. Antes de decidir si el cloro reúne las condiciones para su uso es necesario entender las ventajas y desventajas de este producto.

#### **Ventajas:**

- La cloración es una tecnología bien establecida.
- En la actualidad la cloración es más eficiente en términos de costo que la radiación UV o la desinfección con ozono (excepto cuando la descloración y el cumplimiento con requisitos de la prevención de incendios son requeridos).
- El cloro residual que permanece en el efluente del agua residual puede prolongar el efecto de desinfección aún después del tratamiento inicial, y puede ser medido para evaluar su efectividad.

---

<sup>51</sup> EPA, Folleto informativo de tecnología de agua residual, Desinfección con Ozono, 1999.

<sup>52</sup> Rollin Cruz M, Heriberto Arevalo M, Freddy Chamorro R, Freddy Fernández V., Efecto Del Uso De Un Método Artesanal Para El Tratamiento De Agua En Comunidades Rurales De la Región San Martín, Perú, Pág. 117-122., 2005.

- La desinfección con cloro es confiable y efectiva para un amplio espectro de organismos patógenos.
- El cloro es efectivo en la oxidación de ciertos compuestos orgánicos e inorgánicos.
- La cloración permite un control flexible de la dosificación.
- El cloro puede eliminar ciertos olores molestos durante la desinfección.

#### **Desventajas:**

- El cloro residual, aún a bajas concentraciones, es tóxico a los organismos acuáticos y por ello puede requerirse la descloración.
- Todas las formas de cloro son muy corrosivas y tóxicas. Como consecuencia, el almacenamiento, el transporte y el manejo presentan riesgos cuya prevención requiere normas más exigentes de seguridad industrial.
- El cloro oxida ciertos tipos de materiales orgánicos del agua residual generando compuestos más peligrosos (tales como los metanos trihalogenados [MTH] ).
- El nivel total de sólidos disueltos se incrementa en el agua efluente.
- El cloro residual es inestable en presencia de altas concentraciones de materiales con demanda de cloro, por lo cual pueden requerirse mayores dosis para lograr una desinfección adecuada.
- Algunas especies parásitas han mostrado resistencia a dosis bajas de cloro, incluyendo los oocistos de *Cryptosporidium parvum*, los quistes de *Entamoeba histolytica* y *Giardia lamblia*, y los huevos de gusanos parásitos.
- Se desconocen los efectos a largo plazo de la descarga de compuestos de la descloración al medio ambiente.

Luego de la desinfección el cloro residual puede persistir por muchas horas en el efluente. La mayoría de los gobiernos estatales no permiten el uso del cloro cuando se hacen descargas a aguas receptoras en estado natural debido a sus efectos en las especies acuáticas, a menos que se minimicen estos efectos, para lo cual debe hacerse la descloración del agua residual. La descloración es el proceso de remoción de los residuos libres y combinados de cloro para reducir la toxicidad residual luego de la cloración y antes de su descarga. El dióxido de sulfuro, el bisulfito de sodio, y el metabisulfito de sodio son los

compuestos comúnmente usados como químicos de descloración. El carbón activado también ha sido utilizado. El total del cloro residual puede ser normalmente reducido a un nivel no tóxico a la vida acuática. Los sistemas de cloración/descloración son más complejos de operar y mantener que los sistemas de cloración.

#### **2.11.5 Tratamiento de lodo**

En México, la ausencia de una regulación en torno al manejo de lodos producidos durante el tratamiento de las aguas residuales, propició que casi todas las plantas construidas hasta la mitad de la década de 1990 carezcan de instalaciones específicas para el tratamiento de estos lodos. Ante esta problemática, el gobierno de México, publicó recientemente la Norma Oficial Mexicana que regulará la disposición y el reuso de los lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales<sup>53</sup>. Los lodos o biosólidos son subproductos líquidos, sólidos o semisólidos generados durante el tratamiento de aguas servidas. Esto incluye, pero no se limita, a sólidos removidos en tratamientos primarios, secundarios o terciarios y material derivado de lodos sanitarios<sup>54</sup>.

El Tratamiento de agua residual por [método biológico](#)/químico reduce los contaminantes existentes en el agua. Estos compuestos permanecen en los lodos de las plantas del tratamiento que se generan al final del tratamiento del agua. El tratamiento del lodo es necesario tanto para reducir y mejorar los lodos, que son producidos durante el tratamiento biológico de las aguas residuales. Tratamiento biológico y químico de aguas residuales produce distinto tipo de lodos, de los cuales son los siguientes<sup>55</sup>.

---

<sup>53</sup> NOM-004-SEMARNAT- 2002, PROTECCIÓN AMBIENTAL.- LODOS Y BIOSÓLIDOS.-Especificaciones Y Límites Máximos Permisibles De Contaminantes Para Su Aprovechamiento Y Disposición Final.

<sup>54</sup> Castro C. P., Henriquez O. y Freres R, Posibilidades de aplicación de lodos o biosólidos a los suelos del sector norte de la Región Metropolitana de Santiago. Pág.35-45. 2007.

<sup>55</sup> Google, (En línea), <http://www.lenntech.com/espanol/tipo-de-lodos.htm>.

a) Lodo Crudo: **es aquel que no ha sido tratado ni estabilizado, que puede extraerse de plantas de tratamiento de aguas residuales. Tiende a producir la acidificación de la digestión y produce olor.**

b) Lodo primario: **es producido durante los procesos de tratamiento primario de las aguas residuales. Esto ocurre después de las pantallas y desarenado y consiste en productos no disueltos de las aguas residuales. El lodo en el fondo de tanque primario de sedimentación se llama también lodo primario. El lodo primario contiene generalmente una gran cantidad de materia orgánica, vegetales, frutas, papel, etc.**

*c) **Lodo activo:** La eliminación de materia orgánica disuelta y los nutrientes de las aguas residuales tiene lugar durante el tratamiento biológico del agua. Normalmente se caracteriza por la interacción de distintos tipos de bacterias y microorganismos, que requieren oxígeno para vivir, crecer y multiplicarse y consumen materia orgánica. El lodo resultante se llama lodo activo. Normalmente este lodo está en forma de flocos que contienen biomasa viva y muerta además de partes minerales y orgánicas adsorbida y almacenada. El comportamiento de sedimentación de los*

*flòculos de los lodos activos es de gran importancia para el funcionamiento de la planta de tratamiento biológico.*

**d) Lodo activo de retorno:** este proviene del tanque de aireación biológica al clarificador final. Los flòculos de lodo activo sedimentan al fondo y pueden separarse del agua limpia residual. La mayoría del lodo que se lleva de nuevo a tanque de aireación se llama lodo activo de retorno.

**e) Exceso de lodo, lodo secundario:** Para alcanzar una vida del lodo constante, la biomasa en exceso debe de eliminarse de la planta biológica de tratamiento. El lodo en exceso contiene partículas no hidrolizables y biomasa resultado del metabolismo celular.

## **CAPITULO III METODO**

### **3.1 Localización del área de estudio.**

El presente trabajo se llevó a cabo en el año 2007 en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna del municipio de Torreón Coahuila, que se localiza en Periférico Raúl López Sánchez y Carretera Santa Fe, con una ubicación de acuerdo a las coordenadas UTM (Google Earth) Latitud N 25° 33' 21.49" y Longitud O 103° 22' 20.97" <sup>56</sup>. Con la finalidad de diseñar un sistema de tratamiento de agua residual industrial o municipal, ya que existen diversos tipos como son físicos, químicos y biológicos<sup>57</sup>.

### **3.2 Metodología utilizada**

Se realizó una investigación de documentos relacionados con tratamiento de aguas residuales, procedentes de Libros, Revistas, Artículos Científicos, artículos por Internet, y otros medios electrónicos. Se investigó la mayor parte de las referencias que a la fecha disponen las páginas de Internet (por medio de los buscadores google, google Earth, ask, altavista, yahoo, terra, y otros) y los libros de mayor relevancia en materia de tratamiento de agua residual. Se tomó como referencia el laboratorio de una planta piloto de tratamiento de agua residual que se encuentra localizado en Jiutepec Morelos, en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, donde se realizó una visita y con asesoría de los investigadores del IMTA, se concluyó en el presente trabajo.

Se consultó la empresa ACRITEC para que nos otorgara la cotización y tipo de material a utilizar en cada uno de los módulos, y la empresa Representaciones Habilitaciones y Montaje (RHM) en la que se hizo la cotización del soporte de acero inoxidable para cada uno de dichos módulos. Las dos empresas se encuentran en Torreón, Coahuila, México.

---

<sup>56</sup> INEGI, Perfil municipal. Ubicación geográfica y datos generales de Torreón Coahuila, pp. 2-19, 2003.

<sup>57</sup> Sans F. R. y J. De Pablo Ribas, Ingeniería Ambiental Contaminación Y Tratamientos, ALFAOMEGA EDITORES, MEXICO, D F, PAG. 67-133. 1999

Para los códigos de colores de las tuberías según la NOM-026-STPS-1998, COLORES Y SEÑALES DE SEGURIDAD E HIGIENE, E IDENTIFICACION DE RIESGOS POR FLUIDOS CONDUCTOS EN TUBERIAS, se debe de utilizar los siguientes.

	agua - verde
	agua recirculada (entrada) - verde y señalización secundaria
	agua recirculada (salida) - verde y señalización secundaria
	aire a presión - azul
	gas butano - amarillo
	drenaje - negro

Los procesos y operaciones unitarias utilizadas en un tratamiento de agua residual que a continuación se mencionan son los que se proponen en la elaboración de este trabajo.

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>PROCESO</b>
<b>Preliminar</b>	<b>Acondicionamiento y Regulación</b>
<b>Primario</b>	<b>Sedimentador primario</b>
<b>Secundario</b>	<b>Lodos activados Sedimentador secundario</b>
<b>Avanzado</b>	<b>Químico</b> Mezcla rápida Floculación Sedimentación <b>Filtración (arena-antracita)</b> <b>Desinfección con cloro, luz ultravioleta y Ozonación.</b>

Tabla 1.- Procesos y operaciones unitarias de tratamientos utilizados para tratar agua residual.

El sistema de tratamiento de agua residual tendrá un seguimiento desde el tratamiento preliminar, primario, secundario y avanzado; así también en cada tratamiento se generaran lodos a los cuales se les dará un manejo adecuado para su almacenamiento. Este diseño servirá para analizar cualquier tipo de agua residual y de acuerdo a las características de la misma, será el tratamiento diseñado. Se tomara en cuenta la calidad de agua que se requiere obtener, tomando como parámetro el uso que se le dará a este producto.

De acuerdo a sus objetivos de remoción de materiales que pueda contener un agua residual, se simularan los siguientes tratamientos:

A.1. Acondicionamiento y regulación---Sedimentación primaria---Tratamiento químico---Sedimentador secundario---Filtración---Desinfección---Análisis de calidad.

A.2. Acondicionamiento y regulación---Sedimentación primaria---Tratamiento Biológico---Sedimentador secundario---Filtración---Desinfección---Análisis de calidad.

#### **4.1. Acondicionamiento y regulación del agua residual domestico e industrial.**

También conocido como tratamiento preliminar, en el cual estará formada por un tinaco circular de capacidad de 3000 litros, en donde llegara el agua residual y se eliminaran los primeros sólidos de mayor tamaño, este tinaco tendrá su salida de lodo por abajo en donde se observara que tiene una válvula de paso, una check y la tubería será de pvc. El agua clarificada que se genere tendrá su flujo al sedimentador primario y para que se realice esto se tendrá que utilizar una válvula de paso y una bomba. La base para sostener el tinaco será de acero inoxidable de 1 ½" pulgada.

#### **4.2. Sedimentador primario.**

Conocido como tratamiento primario, este sedimentador será de forma piramidal tendrá su entrada de agua residual por medio de tuberías de pvc, así también, tendrá su salida de lodos que contara con una válvula de paso, una check y la tubería será de pvc. En el centro del sedimentador estará un pilar central, en el cual tendrá un cilindro donde entrara el agua residual y un cubo en la parte de arriba donde se tomara el agua clarificada, luego será trasladada al módulo de tratamiento químico o ya sea biológico dependiendo del tratamiento que se le asigne. En la salida del agua clarificada será por medio de tubo de pvc en el cual contara con una válvula de paso y también con una bomba, en esta parte se hará en dos flujos ya sea al módulo químico o al biológico, en cada flujos tendrán sus válvulas de paso y sus Check. La base del tinaco será de acero inoxidable de 1 ½" pulgada.

#### **4.3. Tratamiento químico.**

Este forma parte del tratamiento secundario, en el cual estará formado por un módulo de forma cúbica, en el interior de ello estarán dos cámaras con una peletas donde se tratara de mezclar lo mas rápido posible el coagulante y floculante, la entrada del agua clarificada será por medio de pvc al igual el agua resultante que será llevada al sedimentador secundario. En la parte de abajo del módulo estará una cajón donde se almacenara los lodos resultante de dicho proceso en el cual este lodo se ira al almacenamiento de lodo. Habrá dos recipientes de capacidad de 200 litros en la parte de abajo donde estarán el coagulante y floculante, en la cual tendrá un ventury y esto permitirá que las sustancias se han llevados al módulo de tratamiento químico. El soporte del módulo es de acero inoxidable de 1 ½" pulgada.

#### **4.4. Tratamiento biológico.**

Este tratamiento es secundario, estará conformado de material de acrílico como un cajón donde tendrá tres divisiones, la entrada del agua vendrá del sedimentador primario y será por tubería de pvc, con su check de plástico, en la parte de abajo saldrá el lodo generado del tratamiento y su salida del agua clarificada es por medio de pvc y será destinada al sedimentador secundario, en ello al igual que todos tendrá su válvula de paso y su check de plástico, el soporte del módulo es de acero inoxidable de 1 ½" pulgada.

#### **4.5. Sedimentador secundario.**

Este sedimentador tiene forma piramidal, es de material acrílico y en el centro tendrá un pilar en la que entrara el agua en tratamiento que vendrá ya sea del módulo de tratamiento químico o del biológico, en la parte de abajo saldrá el lodo generado del la sedimentación y este lodo será llevado al módulo de almacenamiento de lodo.

#### **4.6. Filtración.**

Este tratamiento es considerado terciario o avanzado, estará conformado de 6 columnas de forma cilíndrica con una altura de 1.80 metros con un diámetro de 15 cm. En cada columna tendrá diferentes materiales que se utilizan como medio de filtración como son gravilla, arena, antracita, carbón activado, zeolita y el último estará vacío, esto debido a que si surge un nuevo producto será utilizado de la misma forma que los demás antes mencionados. En la primera columna tendrá un retrolavado por lo tanto se utilizará dos bombas para dicho proceso y al igual el agua que resulte será llevado al sedimentador primario.

#### **4.7. Desinfección.**

Este es el último tratamiento del módulo ya que será desinfectada por medio de cloro que se utiliza para eliminar patógenos que se presenten en el agua residual<sup>58</sup>, o ya sea por medio de luz ultravioleta, esto dependiendo de las necesidades del agua a tratar, en la entrada y salida del agua tendrá su válvula, su check y una bomba. El material del módulo es de acrílico y tiene forma de un cubo, la base de soporte es de acero inoxidable de 1 ½" pulgada.

#### **4.8. Análisis de calidad de agua.**

Este simplemente será un recipiente de plástico de 200 litros donde llegará el agua tratada para su posible análisis físico, químico y biológico; y de esos datos verificar cuál es el tratamiento adecuado para el agua problema que se analiza, y por lo tanto se podrá calcular los parámetros estadísticos, probabilísticos y se determinará la confiabilidad y en caso de referirse se podrá realizar evaluación económica bajo la técnica que se considera la adecuada.

#### **4.9. Almacenamiento de lodo.**

---

<sup>58</sup> EPA, 1999 (en línea), Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, <http://www.epa.gov/informacion/agua>.

Los lodos que generen en los módulos de acondicionamiento y regulación del agua residual, en el sedimentador primario y secundario, en los tratamientos químicos y biológicos, serán trasladados a este módulo por medio de tubería de pvc, lo cual llegara a un tinaco con un cono en el centro donde se rescatara el agua que contenga el lodo y después el lodo que genere será llevado a un recipiente de 200 litros para que el lodo sea analizado.

Para la elaboración de este sistema fue necesario tener conocimiento de hidráulica, esto para señalar donde irán colocados las Válvulas de paso, las Bombas, Check, Venturi, la Pichancha. Así también en las tuberías se señalo por medios de sus colores si es de flujo de lavado, del lodo, del agua tratada, del coagulante y floculante, pero también el agua rescatada del lodo. En el caso de los materiales a utilizar para construir los sedimentadores primario y secundario, el módulo de tratamiento químico y biológico, los tubos de filtros, el módulo de desinfección, será el material de tipo acrílico.

#### **4.10. Esquemas y diagramas del módulo de tratamiento.**

A continuación se mencionan los diferentes diagramas, en la cual primeramente esta por bloques, el esquema general, por tratamiento en corte y por módulo. Ya que en ello nos indica donde estarán ubicados cada módulo y su respectivas características. Los soportes de cada módulo es de acero inoxidable con 1 ½" pulgadas, los diseños no se muestran en los dibujos pero se hizo la cotización dependiendo del módulo, así también el material para cada módulo es de acrílico con espesor de 5 mm, pero el acondicionamiento y regulación será un tinaco de 3000 litros de rotoplas transparente, los del coagulante, floculante y del análisis del agua son de rotoplas transparente de 200 litros, y las de filtración como son columnas de espesor de 3 mm de acrílico trasparente, igual será el material utilizado en el cilindro que estará en el sedimentador primario y secundario.

## **CAPITULO V CONCLUSION Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 CONCLUSION**

En la elaboración de este módulo de tratamiento de agua residual, se observó que hay diferentes tipos de tratamiento de agua residual y es conveniente tener una simulación de la misma para encontrar el mejor resultado posible de cualquier tipo de agua. Con este diseño se podrá observar el comportamiento del agua residual ya que el material de los módulos es de acrílico transparente, así mismo se podrán utilizar diferentes métodos de tratamiento ya sea químico (Coagulación y Floculación) o biológico (Lodos Activados), y materiales de filtración.

### **5.2 RECOMENDACIONES**

Para la construcción de este módulo hay que tomar en cuenta las distancias de cada tratamiento ya que no se proporcionan en los esquemas.

El proceso de acondicionamiento y regulación debe de estar afuera del laboratorio, esto para tener un buen manejo del agua problema y así sea más fácil el almacenamiento.

El precio cotizado no incluye la construcción del laboratorio ni la mano de obra de quien lo va a construir, solamente incluye cotización de los materiales de cada módulo de tratamiento.

## **CAPITULO VI LITERATURA CITADA**

Bravo, M. Moreno A., Hernández C., Yeomans J., Okumoto S., 1995, Implementación Y Monitoreo De La Etapa Inicial Del Sistema de Tratamiento De Aguas Residuales Del Laboratorio De Procesamiento De Alimento De la Universidad Earth, Universidad Earth, Las Mercedes de Guácimo, Limón, Costa Rica, pp. 94-102.

Castro C. P., Henríquez O. y Freres R. 2007, Posibilidades de aplicación de lodos o biosólidos a los suelos del sector norte de la Región Metropolitana de Santiago. *Rev. Geogr. Norte Gd.*, No.37, Pág.35-45.

CNA, 1999 (en línea), Tratamiento de aguas residuales, Comisión Nacional del Agua (México). [http://www.conagua.gob.mx/eCNA/Espaniol/Publicaciones/Subsector1999/Cap6\\_99.pdf](http://www.conagua.gob.mx/eCNA/Espaniol/Publicaciones/Subsector1999/Cap6_99.pdf), (Consultada el 1 de mayo del 2007).

CNA, 2005 (en línea), El recurso hídrico en México. En Estadísticas del agua en México 2005 – Síntesis. Comisión Nacional del Agua (México), [http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Estadisticas/Central/Cap\\_3\\_EAM2005.pdf](http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Estadisticas/Central/Cap_3_EAM2005.pdf), (Consultada 20 de abril del 2007).

Duarte-Dimas, A., 2006, Desorción y recuperación de sulfuros presentes en el agua residual provenientes de la etapa de pelambre, TESIS, Torreón, Coahuila, Pág. 9-12.

EPA, Folleto informativo de tecnología de agua residual, Desinfección con Ozono, 1999.

EPA, 1999 (en línea), Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, <http://www.epa.gov./informacion/agua>, (Consultada el 10 de mayo del 2007).

Escalas C., A., 2006, Estimación Propia de la Generación y Recolección de Aguas Residuales en 1992, a partir de de datos de años posteriores. Editorial Limusa, México D. F.

Freeman, M. A., 1992, Control de la contaminación del agua y aire, Editorial Limusa, Grupo Noriega Editores, México DF, Pág. 194,196, 197, 198.

García, O. 2001. Evaluación de un modelo de laboratorio de tratamiento de lodos activados con agua residuales de la industria Láctea. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, pp. 101.

Ghaly A. E., Show A. y Faber B.E., 2007, Effective Coagulation Technology for Treatment of Grease Filter Washwater, American Journal of Environmental Sciences, Canada, Vol. 3(1), Pág. 9-29, 2007.

Google, (En línea), <http://www.lenntech.com/espanol/tipo-de-lodos.htm> (Consultada el 28 de octubre del 2007),

IMTA, 2002, Memorias del curso de taller teórico practico, tratamiento de aguas residuales industriales municipales, Subordinación de tratamiento de aguas residuales, Jiutepec, Morelos, México.

INEGI, 2003. Perfil municipal. Ubicación geográfica y datos generales de Torreón Coahuila. pp. 2-19.

Lazcano-Arriola L. M., Ortiz-Ramírez J. A., Ramírez-Zamora R.M., Duran-Moreno A., 1998, Evaluación y biodegradabilidad de diferentes aguas residuales pretratadas con el método de Fenton, Facultad de química, UNAM, Ciudad Universitaria México DF. pp. 1-13.

LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y PROTECCION AL AMBIENTE, Pág. 57-70, Ediciones Delma, 2004.

López, M. 1981. Tratamiento Biológico de Aguas Residuales en Prospectiva de la Biotecnología en México. CONACYT. (Ed.) pp. 259-284.

Miranda J., (En línea), Tratamiento Analítico de las Aguas Servidas. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile, Santiago, Chile. <http://cabierta.uchile.cl/revista/6/aguas.htm> (Consultada el 28 de Octubre del 2007).

Nacional Research Council, Academia de la Investigación Científica, Academia Nacional de Ingeniería, 1995 (en línea), El suministro de agua en la Ciudad de México. National Academy Press, Washington DC. URL: <http://lanic.utexas.edu/la/Mexico/water/libro.html>, (Consultada el 28 de mayo del 2007).

NMX-AA-03-1980. "*Aguas residuales.-Muestreo*"

NOM-001-ECOL-1996.- NORMA OFICIAL MEXICANA 001-ECOL.1996 Que Establece Los Limites Máximos Permisibles De Contaminantes En Las Descargas De Aguas Residuales En Aguas Y Nacionales.

NOM-002-ECOL-1996.- NORMA OFICIAL MEXICANA 002-ECOL.1996 Que Establece Los Limites Máximos Permisibles De Contaminantes En Las Descargas De Aguas Residuales A Los Sistemas De Alcantarillado Urbano O Municipal.

NOM-003-ECOL-1997.- NORMA OFICIAL MEXICANA 003-ECOL.1997 Que Establece Los Limites Máximos Permisibles De Contaminantes En Las Descargas De Aguas Residuales Tratadas Que Se Rehúsen En Servicios Públicos.

NOM-004-SEMARNAT- 2002, PROTECCIÓN AMBIENTAL.- LODOS Y BIOSÓLIDOS.- ESPECIFICACIONES Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA SU APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL.

Palacios L., C., 2006, Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, Antártida- Verano Austral 2003- 2004, Revista Tecnológica ESPOL, Vol. 19, N. 1, Pág. 185-190.

Rigola-Lapeña, M., 1999, Tratamiento De Aguas Industriales-Aguas De Procesos Y Residuales, ALFAOMEGA GRUPO EDITORES, MEXICO DF., PAG. 27-39, 43-46, 49-91, 137-154.

Rollin Cruz M, Heriberto Arevalo M, Freddy Chamorro R, Freddy Fernández ., 2005, Efecto Del Uso De Un Método Artesanal Para El Tratamiento De Agua En Comunidades Rurales De la Región San Martín, Perú, Rev. Perú Med Exp Salud Pública 22(2), Pág. 117-122.

Rubio S., F. Granados, J. Jiménez, Revista Internacional de Contaminación Ambiental, UNAM, México, 2000, Retención de fenol en soluciones acuosas sobre carbón activado y zeolitas X, Vol. 16, Núm. 001, Pág. 34-40.

Ruiz-Pérez A., 2005, Determinación de Coagulante y Floculante, y su Dosis Óptima para el Tratamiento de Agua Residual Municipal Mediante: Coagulación, Floculación y Sedimentación, Tesis, Torreón, Coahuila, Pág. 4-33, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna.

Sans F. R. y J. De Pablo Ribas, 1999, Ingeniería Ambiental Contaminación Y Tratamientos, ALFAOMEGA EDITORES, MEXICO, D F, PAG. 67-133.

Spellman, F. 2002. Protozoa and Other Microorganisms En: Microbiology for Water/Wastewater Operators. Technomic Publishing Company, Inc. Lancaster, Pennsylvania. pp. 63-93.

Tchobanoglous G., Burton F. L. 1996, Ingeniería de aguas residuales, Tomo 1, Metcalf, E., México, Pág. 2-7

Tejero I., J. Suárez, A. Jácome y J. Temprano, 2001, Introducción a la Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Volumen I, Capítulo 8, Pág. 6-18.

UNESCO, 2003 (en línea), World Water Development Report. URL: [http://www.unesco.org/bpi/wwdr/WWDR\\_chart1\\_eng.pdf](http://www.unesco.org/bpi/wwdr/WWDR_chart1_eng.pdf), (Consultada el 25 de abril del 2007).