

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

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL:
PREDICCIÓN Y CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES
DE LA PLANTA TRATADORA DE LA CIUDAD DEPORTIVA MÉXICO D. F.**

POR

JUAN GUALBERTO ANTONIO PÉREZ

T E S I S

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

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL:
PREDICCIÓN Y CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES
DE LA PLANTA TRATADORA DE LA CIUDAD DEPORTIVA MÉXICO D. F.**

**TESIS DEL C. JUAN GUALBERTO ANTONIO PÉREZ QUE SE
SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR
DE ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

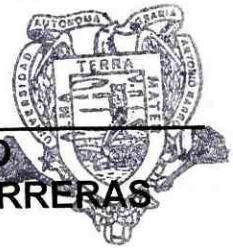
ASESOR PRINCIPAL: 
DR. HECTOR MADINAVEITIA RIOS

COASESOR: 
Ph.D. VICENTE DE PAUL ÁLVAREZ REYNA

COASESOR: 
ING. CUAUHTÉMOC ESPINO MÉNDEZ

COASESOR: 
DR. MARIO GARCÍA CARRILLO


**M. C. VICTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS
AGRONÓMICAS**



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL:
PREDICCIÓN Y CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES
DE LA PLANTA TRATADORA DE LA CIUDAD DEPORTIVA MÉXICO D. F.**

**TESIS DEL C. JUAN GUALBERTO ANTONIO PÉREZ, QUE SE
SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR
DE ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

PRESIDENTE: 
DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

VOCAL: 
Ph.D. VICENTE DE PAUL ÁLVAREZ REYNA

VOCAL: 
ING. CUAUHTÉMOC ESPINO MÉNDEZ

VOCAL SUPLENTE: 
DR. MARIO GARCÍA CARRILLO


**M. C. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS
AGRONÓMICAS**



Agradecimientos.

A mi Dios.

Por darme la vida, la mejor familia del mundo, salud y sobre todo, inteligencia, capacidad y sabiduría para terminar mis estudios de licenciatura.

A mi Virgencita Morena

Por interesarse por mi y mi familia ante Dios y cuidar mis pasos en todo momento.

A mis Padres.

Por permitirme seguir estudiando y alcanzar otra meta más, por el gran sacrificio que hicieron para que yo sea un hombre preparado y todos sus consejos, que son los mejores del mundo.

A mis Hermanos.

Por todo el apoyo moral y económico incondicional que me dieron.

A mi Alma Terra Mater.

Por darme la oportunidad de realizar mis estudios en sus instalaciones y las facilidades que durante el transecurso de mi preparación me brindaron.

A mis Maestros.

Por compartir conmigo esa gran sabiduría que los distingue y paciencia que me tuvieron. Especialmente al Dr. Madinavitia, Ph. D. de Paúl, Dr. Mario Carrillo, Dr. Resendez, Dr. Reyes, Dr. Cabral, Ing. Limones, Ing. Quirino e Ing. Márquez.

A mis Amigos.

Por su amistad, apoyo moral y económico que me brindaron, que me sirvió de mucho para no sentirme solo y no dejar mis estudios. Al Ing. Onofre, a Fede "Nichillo", a Mchita, Angélica, Henry, JR, Clemente (toda la banda Salpingoclasica), al "Mike" y su novia Susana (ARMYS), a "Chío", "Toty", el "Lezoba Lezoba", a Paco, al "Potro", al "Cearnzechon", a todos mis hermanos Brigadistas y a todos mis compañeros de clases.

Al Gobierno del Distrito Federal.

Por Permitir llevar a cabo mi trabajo de tesis en la Secretaría de Medio Ambiente, sistema de agua y saneamiento, planta de tratamiento de agua residual de Ciudad Deportiva. Especialmente al Ing. Francisco Cerrón Cruz.

Dedicatorias

A mis queridos Padres.

A ti "Papito", Sr. Cutberto Antonio Vázquez, por permitirme seguir estudiando y no importarte quedarte solo y sin nadie que te ayudara en tu parcela, A ti "Mamita", Sra. Antonia Pérez Cruz, por consentirme y animarme en todo momento. Los mejores padres del mundo, trabajadores, entusiastas, comprensivos, por sus grandes y mejores consejos, por su apoyo moral y económico, por no exigirme nada, por el amor y cariño infinito que me tienen. Gracias "Papitos", los quiero y amo con toda la fuerza del mundo.

A mis queridos Hermanos.

Mary, Félix, Dago, Linda, Juany, Aldo, Vicki "mi Chiquitika". A todos ellos por su cariño, amor, consejos, apoyo moral y económico que me han brindado y que estoy seguro, me seguirán brindando. Aldo, "ya ves que con muchísimo esfuerzo y contra todo el resto de obstáculos que hay en la vida, queriendo se puede", "gracias por escoger mi carrera profesional, siempre si me gusto"... gracias carnal.

A todo el resto de mi queridísima Familia.

Mis Abuelitas: Vicki y Mama "Ita". A mis Abuelitos: Transito † y Romualdo †, que aunque ya no están con nosotros, estoy seguro que desde el cielo nos mandan su bendición y están contentos del logro que obtuve. A mi tío Adán, a todos mis Sobrinos, para que les sirva de ejemplo y sepan que con mucho sacrificio y esfuerzo, todo se puede.

A Cely "mi morenita flaquita"

A ella, por su amor, cariño, comprensión, compañía, amistad y por que revivió en mí, la chispa de amor que estaba perdiendo.
TQM. 6r4e145 x 53r ml #0v14 y x 70d0 7u 4m0r.

ÍNDICE GENERAL

	PÁG.
AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA.....	ii
INDICE GENERAL.....	iii
INDICE DE CUADROS Y FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1.- Objetivo General.....	3
2.2.- Objetivos Específicos.....	3
III. HIPOTESIS.....	3
III. LITERATURA REVISADA.....	4
3.1 El agua.....	4
3.1.1 Estructura.....	5
3.1.2 Características físicas y químicas.....	5
3.1.3 Características biológicas.....	5
3.2 Impurezas presentes en el agua.....	6
3.3 Enfermedades de transmisión hídrica.....	6
3.3.1. Principales enfermedades.....	6
3.4 Antecedentes.....	7
3.5 Uso del agua.....	8
3.5.1 Usos del agua en México.....	9
3.5.1.1. Agua para irrigación.....	9
3.5.2 Uso del agua en Coahuila.....	10
3.6 Escasez y Demanda del recurso Hídrico.....	10
3.6.1 Escasez y demanda de agua en México.....	12
3.6.2 Escasez y demanda de agua en la Comarca Lagunera.....	12
3.7 Consumo excesivo del agua.....	13
3.8 Alternativas para el problema de la escasez del recurso hídrico.....	13
3.8.1 Reutilización del agua residual sin tratamiento previo.....	14
3.9 Ahorro de agua.....	15
3.10 Contaminación del agua por descarga urbana.....	16
3.11 Legislación para la contaminación del agua en México.....	18
3.12 Normatividad Ambiental en materia de contaminación de agua.....	18
3.12.1 NOM-001-SEMARNAT-1996.....	18
3.12.2 NOM-002-SEMARNAT-1996.....	19
3.12.3 NOM-003-SEMARNAT-1996.....	19
3.13 Agua residual.....	20
3.13.1 Características.....	20
3.13.2 Constituyentes.....	20
3.13.3 Características físicas.....	21
3.13.3.1 Sólidos totales.....	21
3.13.3.2 Color.....	21
3.13.3.3 Olores.....	21

3.13.3.4	Temperatura.....	22
3.13.3.5	Turbiedad.....	23
3.13.3.6	Conductividad.....	24
3.13.4	Características químicas.....	24
3.13.4.1	Constituyentes Químicos.....	24
3.13.4.1.1	Constituyentes Inorgánicos.....	25
3.13.4.1.1.1	Metales Pesados.....	25
3.13.4.1.2	Constituyentes orgánicos.....	25
3.13.4.2	Ph.....	25
3.13.4.3	Oxígeno disuelto.....	26
3.13.5	Características biológicas.....	27
3.13.5.1	Microorganismos.....	27
3.13.5.2	Patógenos.....	27
3.14	Tipos de agua residual.....	27
3.14.1	Agua residual urbana.....	27
3.15	Contaminantes en efluentes de agua.....	28
3.15.1	Contaminantes Físicos.....	28
3.15.2	Contaminantes químicos.....	29
3.15.3	Contaminantes biológicos.....	31
3.16	Historia del tratamiento de agua.....	31
3.17	Tratamiento de agua residual.....	32
3.17.1	Bases teóricas del tratamiento.....	33
3.17.2	Objetivo del pretratamiento.....	34
3.17.3	Objetivo del tratamiento.....	34
3.17.4	Pretratamiento.....	35
3.17.5	Tratamiento Primario.....	35
3.17.6	Tratamiento secundario utilizando procesos químicos.....	36
3.17.7	Tratamiento secundario utilizando procesos biológicos.....	36
3.17.8	Tratamiento terciario.....	36
3.18	Criterios generales en la selección de un método para el tratamiento de agua.....	37
3.19	Fiabilidad de los procesos de tratamiento.....	40
3.20	Tratamiento de agua mediante el proceso de lodos activados.....	40
3.20.1	Clasificación de los procesos de lodos activados.....	43
3.20.1.1	Lodos activados convencionales.....	44
3.21	Desinfección de agua tratada.....	44
3.21.1	Desinfección con cloro.....	45
3.22	Calidad del agua residual tratada.....	45
3.22.1	Calidad de agua en función del uso.....	47
3.22.2	Factores esenciales para determinar la calidad del agua.....	48
3.22.3	Índices de calidad.....	48
3.22.4	Evaluación de calidad.....	49
3.23	Reutilización del agua residual tratada.....	49
3.23.1	Formas de reutilización.....	50
3.23.2	Pruebas para estimar la capacidad de reutilización.....	51
3.23.3	Consideraciones sobre reutilización.....	51

3.23.4 Limitantes para la reutilización.....	52
3.24 Ventajas de la reutilización planificada del agua.....	52
3.25 Consideraciones a seguir para el buen funcionamiento de una planta de tratamiento de agua residual.....	53
3.25.1 Conocimiento adecuado por parte de los operadores...	53
3.25.2 Operaciones de proceso.....	53
3.25.3 Operaciones de seguimiento de la planta.....	53
3.25.4 Mantenimiento adecuado de los equipos.....	54
3.25.4.1 Control del mantenimiento.....	54
3.26 Técnicas de Regresión y Correlación.....	54
3.26.1. Regresión Lineal Simple.....	55
3.26.2. Correlación simple.....	56
3.26.3. Regresión múltiple.....	56
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	58
4.1. Planta Tratadora de Agua Residual de la Ciudad Deportiva, México D. F. (PTAR CDM).....	58
4.1.1. Localización.....	58
4.1.2. Flujo del agua residual.....	59
4.1.3. Infraestructura.....	60
4.1.4. Proceso de tratamiento.....	60
4.1.5. Diagrama de flujo.....	61
4.1.6. Uso del agua residual tratada.....	62
4.2. Descripción del procedimiento.....	62
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	65
5.1. Calidad del agua residual tratada.....	65
5.2. Modelo de predicción.....	69
5.3. Correlación simple.....	71
VI. CONCLUSIONES.....	73
VII. RECOMENDACIONES.....	74
VIII. LITERATURA CITADA.....	75
IX. APENDICE.....	83

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS.

CUADRO		PÁGINA
1	VALORES ESTADÍSTICOS BÁSICOS DE LAS VARIABLES MEDIDAS EN EL EFLUENTE DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA CIUDAD DEPORTIVA, MÉXICO, D. F., 2006.....	65
2	MODELO DE REGRESIÓN Y ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA PREDICCIÓN DEL PH DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE CIUDAD DEPORTIVA, MÉXICO, D.F., 2006.....	69
3	CORRELACIÓN SIMPLE ENTRE LAS VARIABLES MEDIDAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE CIUDAD DEPORTIVA, MÉXICO, D. F. 2006.....	71
4	BASE DE DATOS DEL AÑO 2006, DE LA PLANTA TRATADORA DE AGUA RESIDUAL DE LA CIUDAD DEPORTIVA, MÉXICO, UTILIZADA EN ESTE TRABAJO.....	82
FIGURA		PÁGINA
1	Croquis de localización de la PTAR CDM.....	58
2	Vista satelital de la PTAR CDM.....	59
3	Diagrama de flujo de la planta tratadora de agua residual de ciudad deportiva México D. F.....	61

RESUMEN

El objetivo de éste trabajo fue analizar los valores estadísticos básicos, determinar modelos de predicción (mediante regresión múltiple) y correlación simple de las variables de operación (T_A , Cl_r , SST, DQO, pH, CE y OD), de la Planta Tratadora de Agua Residual con lodos activados de la Ciudad Deportiva de México D. F., utilizando la base de datos del año 2006 y el paquete estadístico computacional SAS System (2001). Según los resultados, las siete variables analizadas estadísticamente, el agua residual tratada se encuentra dentro de los rangos de calidad que debe existir en un efluente, por lo cual la planta tratadora de agua residual, está operando de manera correcta. Para determinar el modelo de predicción, se hicieron varias combinaciones hasta obtener la que mayor coeficiente de determinación presentó, siendo éste, el que consideró al pH como variable dependiente con un coeficiente de determinación de 0.77, siendo la CE la que más influyó en el modelo. Al analizar las correlaciones entre las diferentes variables se pudo observar que la mayor correlación fue la que obtuvo el pH con relación a la conductividad eléctrica.

Palabras claves: planta tratadora de agua residual, regresión múltiple, correlación simple, tratamiento de agua.

I. INTRODUCCIÓN.

El agua, sin menospreciar otros componentes del ecosistemas, es el primer elemento de la vida, ocupa las tres cuartas partes de la tierra y de ello solamente el 3 % aprox. del total es agua dulce.

Como elemento de consumo, el agua se toma en gran cantidad no solo para los procesos fisiológicos de los seres vivos, sino también para otros procesos como riego, industria, municipales, etc. Esto ocasiona que exista gran demanda del recurso hídrico, no siempre fácil satisfacer por no estar disponible. Por todo ello la importancia que reviste como un recurso vital, resulta de interés primordial.

El agua como disolvente universal, esta expuesta a recibir una serie de elementos, compuestos y microorganismos, dejando de ser adecuada para diferentes usos. Debido a esto se ha definido un conjunto de acciones que integran la estrategia para la atención del problema de contaminación del agua.

Consecuencia de las actividades vitales del ser humano, se encuentra la generación de agua residual, que no es más que el agua con materiales sólidos y microorganismos vivos, que desprende la sociedad una vez que ha sido contaminada durante los diversos usos.

La descomposición de la materia orgánica que contiene el agua residual, provoca la generación de gases; además, existe la presencia de numerosos microorganismos patógenos causantes de enfermedades. Por lo anterior, es necesario su tratamiento, para evitar problemas de salud en el ser humano.

El tratamiento de agua residual es un proceso por el cual los contaminantes que el líquido contiene son separados parcialmente, haciendo que el resto de los sólidos orgánicos complejos muy putrescibles queden convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables.

Después de ser tratada, el agua residual debe ser evacuada al medio ambiente o reutilizada. Los potenciales efectos negativos de los constituyentes residuales presentes en los efluentes tratados puede variar considerablemente.

En este trabajo se analizan estadísticamente datos obtenidos durante el año 2006, de la planta tratadora de agua residual mediante el proceso de lodos activados, de la Ciudad Deportiva de México, D. F. (PTAR CDM)

El interés de este trabajo es conocer si las variables medidas en el tratamiento de agua residual se relacionan y así, determinar modelos de predicción y correlación entre variables.

II. OBJETIVOS.

2.1. Objetivo General.

Analizar datos de variables del año 2006, medidos en el efluente del tratamiento de agua residual mediante el proceso de lodos activados para determinar modelos de predicción y correlación entre variables de la planta tratadora de agua residual de la Ciudad Deportiva México D. F.

2.2. Objetivos Específicos.

- 1) Analizar los valores estadísticos básicos de las variables medidas (media, desviación estándar y valor mínimo y máximo) en el efluente de la planta de tratamiento de agua residual de la ciudad deportiva México D. F.
- 2) Obtener modelos de predicción para la planta de tratamiento de agua residual de la ciudad deportiva México D. F.
- 3) Obtener correlaciones simples entre variables de la planta de tratamiento de agua residual de la ciudad deportiva México D. F.

III. HIPOTESIS.

La PTAR CDM emite agua de buena calidad para el riego de áreas verdes

Es posible encontrar un modelo de predicción aceptable correlacionando variables.

III. LITERATURA REVISADA.

3.1. El agua.

El agua es un compuesto necesario e imprescindible para el ser humano, importante para la vida de la tierra (Rodríguez y Marín, 1999; Balairón, 2002). Toda la biosfera sobrevive gracias a ella (Brooks, 2004; Gutiérrez y Herrera, 2001). Es la sustancia esencial para la vida, único compuesto que se puede encontrar en los tres estados físicos de agregación de la materia (Marín, 2005).

Agua y aire son, sin duda, los elementos naturales indispensables para el hombre. El aire se obtiene sin esfuerzos, en todas partes y sin restricción. El agua, sin embargo, solo existe en ciertos lugares en cantidad variable de un momento a otro. Además, el agua no es sólo un recurso imprescindible para la vida, constituye también el soporte físico fundamental, o al menos interviene de forma importante e irremplazable, en prácticamente toda actividad industrial y económica. El hombre la necesita como ser vivo, pero todavía más como ser civilizado, ésta necesidad es más exigente, en cantidad y calidad, cuanto más alto sea el grado de civilización (Balairón, 2002). El uso que el hombre hace del agua varía dependiendo de la zona concreta del planeta (Marín, 2005).

A partir del recurso hídrico el hombre construye sus mitos, religiones y civilizaciones. El agua es considerado como un bien natural, verdadero,

inagotable en apariencia. Sin embargo, debido a su explotación y uso indiscriminado, la somete a una alarmante contaminación, convirtiéndose en un bien caro (Tortolero, 2000).

3.1.1. Estructura.

Esta formada por dos moléculas de hidrógeno y uno de oxígeno, respondiendo a la fórmula general H_2O (Rodríguez y Marín, 1999).

3.1.2. Características físicas y químicas.

El agua pura es un líquido inodoro, insípido, transparente, prácticamente incoloro, y sobre todo es un buen disolvente (Gil, 2005).

3.1.3. Características biológicas.

Las características biológicas y del agua vienen regidas por la población de microorganismos acuáticos que alberga y que afectan de modo muy importante su calidad. Algunos de estos organismos pueden dañar la salud humana, dando lugar a las denominadas enfermedades hídricas. El contenido biológico del agua puede afectar al desarrollo de olores o incluso promover o favorecer procesos de corrosión en tuberías de distribución de agua y depósitos de almacenamiento así como también en la canalización de evacuación de agua residual (Marín, 2005).

3.2. Impurezas presentes en el agua.

El agua natural pura prácticamente no existe, puede contener gran variedad de impurezas. Las que representan elementos nocivos para el uso a que va destinada el agua, denominados contaminantes. Por lo tanto, la calidad requerida determina si una impureza es contaminante o no (Rigola, 1989).

3.3. Enfermedades de transmisión hídrica.

Las características de un agua en su aspecto sanitario y en relación al uso humano se hayan relacionadas, en primer lugar, con la población de microorganismos acuáticos que alberga y que afectan de un modo determinante su calidad. La vía usual de contaminación por agentes microbiológicos patógenos de un agua es provocada por los afluentes residuales de la propia actividad humana, dada la gran cantidad de organismos patógenos intestinales que son evacuados continuamente por el ser humano cuando es portador de los mismos (Marín, 2005).

3.3.1. Principales enfermedades.

El número de muertes anuales, directamente relacionadas con el consumo de agua no potable, en el mundo se eleva a tres millones. Casi la mitad de la población de los países en desarrollo padece enfermedades transmitidas por el agua. Este grupo comprende enfermedades gastroentéricas tales como giardiasis, hepatitis A (virus de la polio) y rotavirus (cuyo origen vírico es el

virus del poliomelitis), así como las enfermedades epidémicas clásicas que se transmiten por el agua: cólera (causada por la bacteria *escherichia coli* enterotoxigénica), disentería (provocada por la bacteria *shigella* sp) y fiebre tifoidea (cuyo origen bacteriano es la *salmonella paratyphi*). Entre las enfermedades transmitidas por el agua, el grupo de enfermedades diarreicas es la causa principal de mortalidad infantil en los países en desarrollo. Del total de defunciones mundiales vinculadas con la diarrea, más del 90% ocurren en niños de menos de cinco años de edad y son causadas por enfermedades que no son el Cólera (Sánchez, 1997).

3.4. Antecedentes.

En las políticas hidráulicas en México se han destacados tres momentos. El primero entre 1975 y 1978, en el que se delineó una política para enfrentar la industria altamente consumidora y/o contaminadora del recurso; el segundo corresponde a una política orientada a la planificación del recurso; y en el tercero se registra la creación de organismos para su regulación, como la Comisión Nacional del Agua, en 1989 (Martínez, 2002).

En un mundo cada vez más poblado y en un contexto mundial en el que se aspira a conseguir una vida mejor gracias al desarrollo económico, es esencial que los recursos hídricos se administren efectivamente (MacNeely, 1998).

3.5. Uso del agua.

El término utilizar el agua se concibe como hacerla útil, emplearla para satisfacer una necesidad, por lo que el agua constituye un medio para alcanzar objetivos de producción o de consumo establecido por un agente económico (Balairón, 2002).

El agua tiene una amplia aplicación. Un cuerpo de agua puede usarse para fines recreativos, mantener la vida acuática y silvestre, el riego agrícola, actividades industriales o bien, como abastecimiento público de agua. Es evidente que se requiere calidad distinta en cada uno de estos usos (Olmos *et al.*, 2002).

Normalmente, el uso que se le puede dar al agua es variado y se clasifica en:

- 1.- Consumo humano (bebida, cocina y procesamiento de alimentos).
- 2.- Limpieza Personal.
- 3.- Cultivo de Peces, mariscos o cualquier otro tipo de vida acuática.
- 4.- agricultura.
- 5.- Industria.
- 6.- Municipal (riego de jardines, lavado de coches, fuentes de ornato, lavado de calles e instalaciones públicas.
- 7.- Recreativo (natación, veleo, etc.).
- 8.- Transporte de desechos.

9.- Servicio público (extinción de incendios, mantenimiento de infraestructura y riego de áreas verdes) (Jiménez, 2001).

10.- Hidroeléctrico.

11.- Navegación fluvial.

12.- Usos Medioambientales.

Los usos del agua son variables de una región a otra (Balairón, 2002).

3.5.1. Uso del agua en México.

La extracción del agua en México alcanza cerca de 186.4 km³ por año, esto es, 45 % de la precipitación del país. El principal consumo de agua se ve reflejado en la irrigación que es el 80 % del consumo total. México ocupa el séptimo lugar mundial en áreas irrigadas (6 de las 21 millones de hectáreas son de riego) (Jiménez, 2001).

3.5.1.1. Agua para irrigación.

Es sorprendente que se requiera 100 veces mas cantidad de agua para cultivar nuestros alimentos que para proporcionarnos agua potable. En todo el mundo la irrigación ocupa dos terceras partes de toda el agua dulce usada por los humanos. Las tierras irrigadas producen 40 % de los alimentos que consumimos. Por lo tanto, la irrigación es vital para nuestra subsistencia (Brooks, 2004).

Lamentablemente no existe uso eficiente del agua para el riego (al-Barrak, 2006). Grandes cantidades del agua de irrigación es desperdiciada. En los países en desarrollo, hasta el 75 % del agua desviada o bombeada para irrigación se pierde por evaporación, filtración, fugas o simplemente por mal manejo (Brooks, 2004).

3.5.2. Uso del agua en Coahuila.

El uso de agua en Coahuila es de: 82.6% en agricultura, 9.6% en abastecimiento público, 3.8% en industria, 3.9% en termoeléctricas. Coahuila tiene la tercera menor precipitación de México con tan solo 315 mm por año. Se utilizan 1,210 hectómetros cúbicos por año ($\text{hm}^3/\text{año}$) de agua superficial contra 1,287.2 hectómetros cúbicos por año ($\text{hm}^3/\text{año}$) de agua subterránea representando el 48.45% y 51.5% respectivamente. El promedio de dotación de agua por habitante es de 125 lt/día (SEMARNAC, 2008).

3.6. Escasez y demanda del recurso hídrico.

Con el aumento de la población y actividades económicas muchos países están llegando con rapidez a una situación en que el agua escasea. El rápido crecimiento de la demanda de agua se debe de un 70 a 80% al riego agrícola, en menos de un 20 % a la industria y solo un 6 % al consumo doméstico (CT e IICA, 1993).

La escasez de agua amenaza a todos, amenaza nuestro bienestar, arriesgando nuestros medios de subsistencia, poniendo en peligro nuestras

vidas. En los países más prósperos la escasez de agua dificulta el crecimiento económico y disminuye la calidad de vida. Habitualmente se define un país con escasez de agua aquel que cuenta con menos de 1000 m³ disponibles por habitante (Brooks, 2004).

Es de vital importancia cuidar y conservar todas las fuentes de agua, ya que sirve para regular la temperatura de la tierra. Si incrementamos el reciclaje del agua, hacemos más eficiente su uso y protegemos su calidad, siendo casi seguro que tendremos este recurso indefinidamente (Olmos *et al.*, 2002).

Es un hecho conocido el incremento continuo de consumo de agua debido al aumento de población, aumento de nivel de vida y actividades del hombre (Hernández *et al.*, 2004).

La necesidad del agua se deriva en base a cantidad y calidad de agua necesaria y suficiente para asegurar la aplicación de las funciones requeridas por los diversos usos (Balairón, 2002).

Se necesitan 100 litros de agua para producir un kilo de papel, 4500 litros para producir una tonelada de cemento, etc. (Gutiérrez y Herrera, 2001).

3.6.1. Escasez y demanda de agua en México.

El crecimiento demográfico, industrialización y urbanización están agotando y contaminando los lagos, ríos y acuíferos de forma irreversible. Las nuevas tecnologías permiten extraer agua mas rápidamente que la tasa de recarga del acuífero (Brooks, 2004).

Las regiones áridas y semiáridas del norte y centro del país parecen acercarse aceleradamente a límites de disponibilidad del recurso (Pineda, 2002).

La demanda de agua, depende fundamentalmente de la climatología de la zona y sobre todo de la socioeconomía; a mayor desarrollo social y/o económico corresponden una mayor demanda de agua (Balairón, 2002).

3.6.2. Escasez y demanda de agua en la Comarca Lagunera.

La Comarca Lagunera es una región en la que el agua es un recurso escaso que limita la actividad económica. Desde hace muchos años la extracción de agua subterránea ha sido mayor a la recarga, lo cual ha generado una sobre explotación del recurso. Esto es un uso no sustentable del recurso, pues la extracción es mayor a la capacidad de la recarga (García *et al.*, 2006).

En la comarca lagunera hay competencia por agua entre los diferentes consumidores. Competencia determinada por la baja disponibilidad del

recurso y existencia de diferentes usuarios como la agricultura de riego por bombeo y gravedad, el sector residencial, ganadería y la industria (Guzmán *et al.*, 2006).

La demanda de agua y poca disponibilidad del recurso ocasionará el aumento de tarifas o cuotas cobradas por su uso y servicio. El precio del agua puede ser un instrumento para disminuir la demanda (García *et al.*, 2006).

3.7. Consumo excesivo del agua.

Entre las causas más habituales de un consumo excesivo de agua pueden citarse las siguientes:

- Infraestructuras antiguas o mal conservadas.
- Sistemas de gestión y explotación obsoletos.
- Indefinición de los términos de las concesiones.
- Procedimientos o hábitos de riego antiguos.
- Falta de control de los caudales utilizados (Sans y de Pablo, 1989).

3.8. Alternativas para el problema de la escasez del recurso hídrico.

Las medidas para solucionar el problema del agua pasan por el ahorro, optimización, reutilización, desalación (Romero y Alberola, 2005).

Cuando el recurso agua es escaso existen alternativas:

1.- Aceptar restricciones y la escasez de agua.

2.- Actuar sobre el abastecimiento:

- ✓ Aumentar la eficiencia.
- ✓ Desalación de las aguas.

3.- Reutilización del agua residual.

4.- Modificar la demanda.

- Restricción del consumo.
- Actuar sobre los precios.
- Eliminar consumos no imprescindibles.
- Campañas educativas para ahorrar y conservar agua.
- Innovaciones tecnológicas (Hernández *et al.*, 2004).

3.8.1. Reutilización del agua residual sin tratamiento previo.

En muchos casos, se utiliza agua residual bruta para riego. La reutilización del agua residual no es un hecho nuevo. 1000 años a.c., el agua conducida por los colectores de Jerusalén desembocaban en un estanque donde, después de una sedimentación, se utilizaban para riego (Hernández *et al.*, 2004).

Actualmente, la irrigación de cultivos agrícolas con agua residual, es una práctica común especialmente en regiones áridas como en el norte de

México. Sin embargo, existen requerimientos de calidad que deben tomarse en cuenta para su aprovechamiento en riego (Rivas *et al.*, 2003).

La reutilización es un componente intrínseco del ciclo del agua. La reutilización de agua residual procedente de otros usos para satisfacer posteriores demandas antes de ser vertidas a los ríos, constituye un moderno sistema de utilización del recurso hídrico de un territorio, especialmente adecuado en zonas de escasez de agua. Un caso particular de la reutilización sería el reciclado del agua (entendiéndose por tal la reutilización del agua por uno o varios usuarios, coincidiendo inicialmente por los usuarios iniciales), especialmente en actividades industriales (Balairón, 2002).

3.9. Ahorro de agua.

Para atender los incrementos de demanda de agua se pueden desarrollar programas de ahorro de agua o, incluso, restringir actividades demandantes de agua. Una gran parte de los problemas del deterioro ambiental causado por el aprovechamiento del recurso hídrico tiene su origen en las afecciones a su calidad y/o cantidad ocasionadas por los incrementos de los usos consuntivos (Balairón, 2002).

La importancia del ahorro del agua es limitada. Debe existir eficiencia en el uso del agua, sobre todo en las zonas áridas del país (Abolfazl y Ali, 2007), para lograr un mejor ahorro del recurso y evitar impactos ambientales (Yang *et al.*, 2006).

3.10. Contaminación del agua por descarga urbana.

Los seres humanos constituyen el centro de preocupación relacionada con el desarrollo sostenible. Tienen derecho a una vida saludable y en armonía con la naturaleza. La humanidad se encuentra en un momento decisivo de la historia. Se enfrenta al continuo deterioro de los ecosistemas. Para protegerlos contra la contaminación, es preciso contar con tecnologías innovadoras y aprovechar plenamente sus procesos (CT e IICA, 1993).

El acelerado proceso de urbanización plantea algunos retos importantes, tal es el caso de los problemas ambientales como la contaminación del agua (Gutiérrez y Herrera, 2001).

Más del 90 % del agua servida en los países en desarrollo retornan sin tratamiento alguno a la tierra y corrientes de agua (Brooks, 2004). El desarrollo urbano-rural, turístico y agroindustrial ha incrementado el vertimiento de agua residual con una insuficiencia en el tratamiento de los mismos, provocando la contaminación del recurso (Rovirosa *et al.*, 2003). Dicha contaminación, plantea efectos adversos sobre mantos acuíferos, cuerpos de agua, ecosistemas y salud pública (Gutiérrez y Herrera, 2001).

Los ríos reciben diferentes aportaciones, ya sean naturales o por la influencia de la actividad humana en sus múltiples acciones, como son la generación de agua residual urbana, industrial, etc. Para preservar la calidad de los ríos deben regularse las descargas que reciben (Gil, 2005).

El agua residual antes de ser vertida a la masa receptora, debe recibir un tratamiento adecuado, capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas al límite para evitar que su disposición provoque problemas graves de contaminación al cuerpo receptor (Rivas *et al.*, 2003).

El impacto ambientales ocasionado por la descarga de agua sin un tratamiento previo, ha sido alto (Yang *et al.*, 2006). Es necesario cuidar y preservar los recursos naturales como el agua (CT e IICA, 1993).

El agua contaminada deteriora el medio ambiente (Jiménez, 2001). El deterioro en la calidad de los diferentes cuerpos de agua, como consecuencia directa del vertido sin previo tratamiento del agua municipal, agrícola e industrial, que contienen grandes cantidades de sustancias químicas, la naturaleza de éstas y sus efectos sobre los cuerpos de agua, varían dependiendo del origen del agua residual, concentración de las sustancias contaminantes, volúmenes descargados y características de los propios cuerpos de agua (Olmos *et al.*, 2002).

El medio ambiente está amenazado en todos sus componentes bióticos y abióticos. Los estados tienen responsabilidad de velar que las actividades que se realicen no causen daño al entorno ecológico (CT e IICA, 1993).

Es posible señalar una serie de soluciones a la problemática ambiental del país (Gutiérrez y Herrera, 2001).

3.11. Legislación para la contaminación del agua en México.

Regida principalmente por el marco legislativo de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), título IV, Protección al Ambiente, capítulo III, prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos (LGEEPA, 2005).

3.12. Normatividad Ambiental en materia de contaminación del agua.

El comité consultivo de normalización tiene como objetivo proponer, diseñar y aprobar la normatividad ambiental para el aprovechamiento sustentable su conservación y restauración de los recursos naturales. Para la prevención y control de la contaminación del agua, se crearon las Normas oficiales Mexicanas que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de agua residual (SEMARNAT, 2007 (a)).

3.12.1. NOM-001-SEMARNAT-1996.

Esta Norma Oficial Mexicana, aprobada el 30 de octubre de 1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de agua residual vertida a agua y bienes nacionales con el objeto de proteger su calidad y posibilitar su uso, es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a la descarga de agua proveniente de drenaje pluvial independiente (SEMARNAT, 2007 (b)).

3.12.2. NOM-002-SEMARNAT-1996.

Esta Norma Oficial Mexicana, aprobada el 9 de diciembre de 1997, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de agua residual a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación del agua y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma no se aplica a la descarga de agua residual doméstica, pluvial, ni a las generadas por la industria, que sean distintas al agua residual de proceso y conducidas por drenaje separado (SEMARNAT, 2007 (c)).

3.12.3. NOM-003-SEMARNAT-1996.

Esta Norma Oficial Mexicana, aprobada el 22 de abril de 1998, establece los límites máximos permisibles de contaminantes para el agua residual tratada que se reusen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reuso. En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de la presente Norma, desde la producción del agua tratada hasta su reuso o entrega, incluyendo la conducción o transporte de la misma (SEMARNAT, 2007 (d)).

3.13. Agua residual.

Agua residual es el líquido de composición variada proveniente de uso municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada, y que por ese motivo haya sufrido degradación o alteración en su calidad original (Olmos *et al.*, 2002).

3.13.1. Características.

Las características del agua residual de una comunidad tienen gran variación dependiendo de factores como el consumo de agua potable, tipo de sistema de alcantarillado, existencia de sistemas individuales de disposición de excretas y presencia de desechos industriales (Olmos *et al.*, 2002).

3.13.2. Constituyentes.

El agua residual se caracteriza por su composición física, química y biológica (Metcalf & Eddy, 1996 a).

Es de fundamental importancia para la implementación de instalaciones de manejo de agua residual conocer los constituyentes encontrados en el agua residual y conocer el destino de tales constituyentes una vez liberados al ambiente. Los constituyentes encontrados en el agua residual pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos (Crites *et al.*, 2000).

3.13.3. Características físicas.

Las principales características físicas de un agua residual, son contenido de sólidos, color, olor, temperatura, turbiedad y conductividad (Crites *et al.*, 2000).

3.13.3.1. Sólidos totales.

El contenido de sólidos totales se define como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105 °C (Metcalf & Eddy, 1996 a).

3.13.3.2. Color.

El color en el agua residual es causado por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. El color generado por sólidos suspendidos se llama color aparente mientras que el color causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina color verdadero (Crites *et al.*, 2000).

3.13.3.3. Olores.

Los olores son debido a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica (Metcalf & Eddy, 1996 a).

La determinación de olor es cada vez más importante en la medida en que el público se ha interesado más por la propia operación de las

instalaciones de tratamiento de agua residual. El olor en un agua residual fresca es en general inofensivo, pero una gran variedad de compuestos malolientes son liberados cuando se produce la degradación biológica bajo condiciones anaerobias del agua residual. El principal compuesto de olor indeseable es el sulfuro de hidrógeno (olor a huevo podrido). Otros compuestos como Indol, Eskatol y Mercaptanos, formados bajo condiciones anaerobias, pueden causar olores muchos mas ofensivos que el de sulfuro de hidrógeno (Crites *et al.*, 2000).

3.13.3.4. Temperatura.

La temperatura del agua residual es por lo general mayor que la temperatura del agua para abastecimiento como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. La temperatura del agua está directamente relacionada con la temperatura ambiental y los aireadores de los reactores secuenciales. La temperatura de un agua residual varía de estación a estación y también con la posición geográfica en regiones frías, la temperatura varía de 7- 18 °C mientras que en regiones cálidas la variación será de 13 a 30 °C. La medición de la temperatura es importante, ya que muchos de los sistemas de tratamiento de agua residual incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura. Parámetro importante que afecta directamente las reacciones químicas y velocidad de reacción, vida acuática y adecuación del agua para fines benéficos. El oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría, el

aumento de velocidad de las reacciones bioquímicas, como consecuencia del incremento en la temperatura del agua superficial, puede ocasionar una drástica disminución en la concentración del oxígeno disuelto durante los meses de verano. La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana está en el rango de 25 a 35 °C cuando la temperatura se acerca a los 15 °C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad y alrededor de los 5 °C las bacterias autotróficas nitrificantes dejan de actuar. Cuando la temperatura es de 2 °C se alcanza incluso la inactivación de bacterias quimioheterotróficas que actúan sobre la materia orgánica carbonacea (Crites *et al.*, 2000; Metcalf & Eddy, 1996 b).

3.13.3.5. Turbiedad.

Es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia en los rayos luminosos que pasan a través del cuerpo de agua. Es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbiedad en el agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, etc. (Romero, 1999).

3.13.3.6. Conductividad.

La conductividad eléctrica (CE) del agua es la medida de la capacidad de una solución para reducir la corriente eléctrica. Como la corriente eléctrica es transportada por iones en solución, el aumento en la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad. Por lo tanto, el valor de la CE es usado como un parámetro sustituto de la concentración de sólidos disueltos totales (SDT). Actualmente, el parámetro más importante para determinar la posibilidad de uso de un agua para riego se establece mediante la medición de su conductividad eléctrica. El agua de baja salinidad se puede usar para riego con baja probabilidad de que el suelo se vuelva salino. (Crites *et al.*, 2000).

3.13.4. Características químicas.

En cuanto a su composición química, la materia orgánica representa entre el 55 y 60 % del total de sólidos presentes y la inorgánica (derivados del fósforo y del nitrógeno, sobre todo) entre el 40 y 45 %, esta importante proporción de materia orgánica representa una fuente de energía disponible aprovechada por muchos microorganismos en condiciones aeróbicas o anaeróbicas (Herce y Miró, 2002).

3.13.4.1. Constituyentes químicos.

Los constituyentes químicos del agua residual son clasificados en inorgánicos y orgánicos (Crites *et al.*, 2000).

3.13.4.1.1. Constituyentes inorgánicos.

Los inorgánicos incluyen elementos individuales como calcio (Ca), Cloruro (Cl), Hierro (Fe), Cromo (Cr), y Zinc (Zn), además de una amplia variedad de compuestos como nitratos (NO_3) y sulfatos (SO_4) (Crites *et al.*, 2000).

3.13.4.1.1.1. Metales Pesados.

Como constituyentes importantes del agua, también se pueden encontrar cantidades a nivel de trazas, de muchos metales. Entre ellos podemos destacar el níquel (Ni), manganeso (Mn), plomo (Pb), cromo (Cr), cadmio (Cd), cinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y el mercurio (Hg). Muchos de estos metales también están catalogados como contaminantes prioritarios (Metcalf & Eddy, 1996 b).

3.13.4.1.2. Constituyentes orgánicos.

Los constituyentes orgánicos agregados comprenden un número de compuestos que no pueden ser distinguidos en forma separada, de gran interés en el tratamiento, vertido y reutilización del agua residual al igual que los constituyentes orgánicos específicos (Crites *et al.*, 2000).

3.13.4.2. pH.

La expresión usual para medir la concentración del ión Hidrógeno en una solución está en términos del pH, el cual se define como el logaritmo negativo de la concentración del ión hidrógeno:

$$\text{pH} = -\text{Log}_{10}[\text{H}^+]$$

La concentración del ión hidrógeno en el agua está íntimamente relacionada con la extensión de la reacción de disociación de las moléculas del agua. El agua se disocia en los iones hidroxilo e hidrógeno. Los microorganismos presentes en el agua no soportan variaciones en el pH. La mayoría de ellos habitan en agua con un pH neutro (Crites *et al.*, 2000). El pH ideal para una buena calidad de agua tratada utilizada para el riego de áreas verdes es de 6-9 (Álvarez *et al.*, 2002).

3.13.4.3. Oxígeno disuelto.

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida, la concentración ideal para la supervivencia de los microorganismos es de 5 ml/l. Sin embargo, el oxígeno es solo ligeramente soluble en agua (Metcalf & Eddy, 1996 b).

3.13.5. Características biológicas.

3.13.5.1. Microorganismos.

Los principales grupos de organismos presentes en el agua residual se clasifican en eucariotas, eubacterias y arqueobacterias. La mayoría de los organismos presentes en el agua residual pertenecen al grupo de las eubacterias (Metcalf & Eddy, 1996 a).

3.13.5.2. Patógenos.

Los organismos patógenos que se encuentran en el agua residual pueden proceder de desechos humanos infectados o portadores de una determinada enfermedad. Las principales clases de organismos patógenos presentes son: bacterias, virus, protozoos y el grupo de los helmintos (Metcalf & Eddy, 1996 a).

3.14. Tipos de agua residual.

Los tipos de agua residual que pueden generarse se agrupan principalmente en tres categorías: pluvial, industrial y urbana, siendo esta última las de mayor interés (Olmos *et al*, 2002).

3.14.1. Agua residual urbana.

Generalmente, se presentan enormes volúmenes de agua residual en los sectores altos y medios de la población (Martínez, 2002).

Por lo general, indistintamente de la procedencia, el agua residual urbana presenta la misma composición. El agua residual urbana tiene las siguientes propiedades físicas, constituyentes químicos y biológicos: Olor, color, sólidos en suspensión y disueltos, temperatura, carbohidratos, grasas y aceites, proteínas, agentes tensoactivos, alcalinidad, cloruros, nitrógeno, fósforo, azufre, sulfuro de hidrógeno, metano, protistas y virus (Jiménez, 2001).

3.15. Contaminantes en efluentes de agua.

Después de ser descargada el agua residual proveniente de fuentes urbanas, industriales, agrícolas o naturales a un cuerpo de agua, los desechos pierden su identidad y se obtienen mezclas heterogéneas de contaminantes. La intensidad de los efectos de la descarga de agua residual sobre los cuerpos receptores depende de ambos, es decir, de las concentraciones y gastos de las descargas, así como del volumen, condiciones ambientales y movimiento de los cuerpos de agua (Olmos *et al.*, 2002).

3.15.1. Contaminantes Físicos.

Sólidos en suspensión. Cuando los sólidos en suspensión de un agua residual se vierten en lechos de ríos, lagos, etc., conducen al desarrollo de depósitos de lodos y aumentan las condiciones anaeróbicas de las zonas de vertido (Jiménez, 2001).

3.15.2. Contaminantes químicos.

Las características químicas se presentan en dos partes de acuerdo con la naturaleza química de estos materiales: materia orgánica y materia inorgánica. Las primeras son importantes porque generalmente son compuestos hidrofóbicos con solubilidad escasa en agua, posee una actividad biológica marcada y son de difícil detección. Las inorgánicas modifican, aún a baja concentración, el sabor y dureza, algunas representan riesgos tóxicos (Olmos *et al.*, 2002).

En los cuerpos de agua contaminados también se puede encontrar materia orgánica biodegradable. La materia orgánica biodegradable se mide en términos de DBO y de DQO. La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos por lo cual expresa la concentración de masa de oxígeno consumido por la descomposición química de la materia orgánica e inorgánica. El vertido de agua residual con elevada DQO en el entorno acuático puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas. Además de la materia orgánica biodegradable también existe materia orgánica refractaria. Este tipo de materia orgánica puede interferir en los métodos convencionales de tratamiento, por otra parte el vertido de agua que la contenga con elevada concentración puede contaminar el agua natural de productos tóxicos o,

según algunos estudios, incluso cancerígenos (pesticidas, fungicidas, herbicidas, fenoles, etc.) (Jiménez, 2001).

Como contaminantes, pueden estar presentes las sustancias orgánicas: proteínas (40-60 %), carbohidratos (25-50 %), lípidos (grasas y aceites, 10 %). Estas sustancias son susceptibles de ser biodegradadas por poblaciones heterogéneas de microorganismos (Herce y Miró, 2002).

En muchas ocasiones existe la presencia de metales pesados en aguas contaminadas. Proviene principalmente de agua residual comercial e industrial. Aunque algunos de estos metales son necesarios para el desarrollo de la vida biológica, la concentración elevada de éstos pueden interferir en los procesos de depuración y su vertido al medio acuático podría poner en peligro el aprovechamiento del agua natural dada su alta toxicidad (Villalobos *et al.*, 1987).

La plata, cobre, boro, cianuro, cromato, cromo, plomo y arsénico, son tóxicos en alguna medida para los microorganismos y, por lo tanto, pueden interferir en los procesos de depuración biológica. Estos compuestos, tienen la misma problemática de los metales pesados. Su vertido al entorno se puede considerar de la misma naturaleza que los metales pesados (Jiménez, 2001).

3.15.3. Contaminantes biológicos.

Los principales organismos encontrados en el agua residual se clasifican como virus, protistas, plantas y animales. La categoría de los protistas incluye a bacterias, hongos, protozoarios y algas (Olmos *et al.*, 2002). Los organismos patógenos pueden transmitir enfermedades contagiosas (Jiménez, 2001).

Los hongos autóctonos del agua residual, pueden desarrollarse en condiciones ambientales más extremas que las soportadas por las bacterias (más alto rango de pH y temperatura, etc.). Las bacterias y hongos son capaces de degradar prácticamente todos los compuestos orgánicos, bien disueltos o en suspensión del agua residual, pudiendo llegar a convertirlos en último extremo en CO₂, agua y sales inorgánicas, es decir remineralizándolos (Marín, 2005).

3.16. Historia del tratamiento de agua.

Desde tiempos antiguos el ser humano ha buscado la forma mas apropiada para “deshacerse” del agua residual producto de sus actividades cotidianas. Uno de los métodos comúnmente usados desde épocas milenarias para la disposición del agua residual urbana es el almacenamiento de las mismas, sin embargo, no se considera como mecanismo de tratamiento (Manga *et al.*, 2005).

3.17. Tratamiento de agua residual.

Las características físicas y químicas del agua residual obligan a un tratamiento previo antes de ser evacuadas al medio natural, con el fin de evitar riesgos sanitarios a las personas y medio ambiente. Por lo tanto, debe existir una concepción unitaria de red de drenaje, de recogida del agua residual, y transporte a las plantas de depuración antes del vertido al medio natural (Herce y Miró, 2002).

La reutilización de los efluentes tratados requiere que los criterios de calidad del agua tratada sean cada vez más exigentes. Para proteger al ambiente, los requerimientos de descarga para agua residual tratada son cada vez más estrictos para descargas grandes y pequeñas. El desafío está en ser capaz de proveer el nivel de tratamiento exigido, sujetos a serias limitaciones económicas (Sans y de Pablo, 1989).

El agua residual urbana principalmente está compuesta en su mayoría por sólidos. Estos se caracterizan físicamente por estar en estado de suspensión hasta un 40 o 45 %, las dos tercias partes de ellos son sedimentables, si el agua está en reposo; el resto de los sólidos (55-60 %) está en estado disuelto (Herce y Miró, 2002).

La tecnología para el tratamiento de agua residual continua renovándose en investigación y desarrollo, con nuevas aportaciones de

procedimientos, materiales e instrumentación que mejoran los procesos de descontaminación existente (Gil, 2005).

3.17.1. Bases teóricas del tratamiento.

El tratamiento de agua residual industrial consta de una serie de procesos fundamentalmente de carácter fisicoquímico, mientras que para el tratamiento de agua residual doméstica, es llevada a cabo por mecanismos de carácter microbiológico (Marín, 2005).

El grado de tratamiento a aplicar al agua residual que haya que generar depende de su calidad y uso al que se vayan a destinar, pero lo habitual es que haya que someterlas a tratamientos primarios, secundarios y terciarios (Balairón, 2002). En el tratamiento de un agua pueden considerarse varios aspectos:

- a) Eliminación de materias en suspensión y coloides, utilizando fenómenos de coagulación-floculación, flotación y filtración.
- b) Eliminación de materias disueltas, llevado a cabo por medio de membranas filtrantes, absorción e intercambio iónico.
- c) Reacciones puramente químicas.
- d) Procesos de oxidación y desinfección.
- e) Tratamientos biológicos (Marín, 2005).

En el tratamiento de agua residual se debe obtener un agua depurada de alta calidad que facilite su reutilización sin riesgo (Romero y Alberola, 2005). Sin embargo, encontramos, que por una parte, hay un bajo número de plantas de tratamiento que realmente cumplen con los estándares de calidad, y por otra, hay muchas que tienen problemas de operación (Gutiérrez y Herrera, 2001).

3.17.2. Objetivo del pretratamiento.

El objetivo del pretratamiento del agua residual es remover sólidos, grasas y aceites y otros materiales flotantes o sedimentables para que el agua residual pueda ser tratada eficientemente y reutilizada o vertida sin ningún riesgo (Crites *et al.*, 2000)

3.17.3. Objetivo del tratamiento.

En el pasado, el objetivo del tratamiento era la remoción de parámetros como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), sólidos suspendidos y patógenos. En la actualidad, toma cada vez más importancia la remoción de nutrientes, de compuestos tóxicos y la reutilización de los efluentes. Además de proteger la salud pública, proteger la degradación o contaminación al ambiente receptor o reducir los costos de tratamiento mediante la retención de agua y sólidos (Crites *et al.*, 2000).

El tratamiento de agua residual tiene como objetivo general la eliminación de sustancias en suspensión, sustancias disueltas, supresión de

la flora microorganica, así como la corrección de algunas características fisicoquímicas no determinantes por si solas para desechar el agua para un determinado uso (Marín, 2005).

El hecho de utilizar uno o varios procesos dependerá del agua residual a tratar (Jiménez, 2001).

3.17.4. Pretratamiento.

Se define como el proceso de eliminación de los constituyentes del agua residual cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares (Metcalf & Eddy, 1996 a).

Se emplean las fuerzas físicas para el pretratamiento. La depuración del agua residual urbana implica, inicialmente, de un pretratamiento de tipo físico, como desbaste, dilaceración, flotación, desarenado (Sans y de Pablo, 1989).

En esta etapa, principalmente existe la remoción de materia gruesa flotante, remoción de materia granular, remoción de grasas y aceites y, desmenuzado (Serrano, 1997).

3.17.5. Tratamiento Primario.

En el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual. Esta eliminación suele

llevarse a cabo mediante operaciones físicas tales como tamizado y sedimentación (Serrano, 1997).

3.17.6. Tratamiento secundario utilizando procesos químicos.

Si el agua residual contiene metales tóxicos, puede ser necesario un tratamiento químico del agua procedente del tratamiento físico (Sans y de Pablo, 1989).

3.17.7. Tratamiento secundario utilizando procesos biológicos.

La mayoría de las ocasiones, en el tratamiento de agua es necesario un tratamiento de tipo secundario, que normalmente consiste en un tratamiento biológico para eliminar la materia orgánica biodegradable (Jiménez, 2001).

3.17.8. Tratamiento terciario.

Después del tratamiento secundario, en función de la exigencia del vertido y composición del mismo, puede ser necesario un tratamiento terciario, que es una combinación del físico, químico y biológico, así como tratamientos específicos de agua residual (Jiménez, 2001).

3.18. Criterios generales en la selección de un método para el tratamiento de agua.

Los procesos de tratamiento deben satisfacer los requerimientos cada vez mayores de las leyes ecológicas y minimizar los costos de construcción y operación. Para poder satisfacer estos requerimientos son necesarias, además de procesos de tratamiento eficaces, estrategias de control adecuadas (Moreno y Buitrón, 2002).

La elección de los procesos de tratamiento es uno de los aspectos más interesantes en el diseño de las plantas de tratamiento (Metcalf & Eddy, 1996 b).

Antes de poder decidir sobre el método de tratamiento, los especialistas necesitan tener información suficiente sobre la calidad del agua disponible y exigida en el proceso. Si el agua tiene su origen en la red municipal, conviene verificar que se dispone de datos del agua de los distintos orígenes que pueda llegar como suministro (Rigola, 1989).

Algunos sistemas de tratamiento no resuelven el impacto del agua residual en el medio ambiente. Es necesario adoptar tecnología apropiada y buscar soluciones para los problemas ecológicos (CT e IICA, 1993). El objetivo de cualquier tratamiento es eliminar los componentes definidos como contaminantes, molestos o con efectos nocivos para el medio ambiente y ajustar la calidad del agua vertida a las especificaciones legales (Castro *et*

al., 2001). Sin embargo, el objetivo principal de una planta de tratamiento de agua residual es conseguir rendimiento en el tratamiento de la misma, que sea acorde con la legislación vigente y a un costo económico, social y medio ambiental, mínimo. Para conseguir este objetivo dependerá de la correcta realización de tres actividades complementarias entre sí:

- a) Mantenimiento y conservación de equipos e instalaciones, tanto electromecánicas, como de obra civil y servicios complementarios.
- b) Explotación de equipos e instalaciones para alcanzar los objetivos previstos, seguimiento del proceso y rendimiento de cada fase.
- c) Control y seguimiento de la marcha técnica, económica, administrativa, y resto de los aspectos generales de la planta (Hernández *et al.*, 2004).

Otro factor importante en la decisión para la elección de un tratamiento de agua, es el grado de pureza requerido en el agua tratada. Mientras el costo del tratamiento, es en cierta medida proporcional al contenido de impurezas, a partir de ciertos niveles el incremento de calidad en el agua tratada representará un incremento exponencial del costo. Las impurezas se encuentran en el agua como materia en suspensión, como materia coloidal o como materia en solución. Mientras que la materia en suspensión siempre se separa por medio mecánico con intervención o no de la gravedad, la materia coloidal requiere un tratamiento fisicoquímico preliminar y la materia en solución puede tratarse en el propio estado molecular o iónico, o precipitarse mediante agentes químicos y separarse utilizando los mismos procesos

empleados para separar los sólidos iniciales en suspensión. La calidad de salida puede ser una exigencia por razones de calidad o una decisión económica. También, el factor de la mano de obra es importante a la hora de decidir la elección entre equipos automatizados o equipos de funcionamiento manual (Rigola, 1989).

Es fundamental considerar siempre los gastos de mantenimiento y conservación, gestión, amortización, financiación y posibles modificaciones, mejoras o ampliaciones. Aunque las plantas sean pequeñas, las operaciones de mantenimiento y explotación son complejas. La óptima explotación del conjunto de instalaciones de una planta de agua residual, es consecuencia de la unión de un conjunto de acciones que pueden agruparse en cuatro apartados:

- 1.- Conocer exactamente las características del agua aportada, en cada una de las etapas del proceso.
- 2.- Conocer los parámetros que definen dichas etapas.
- 3.- Modificar los parámetros para conseguir en cada momento la mejor calidad de agua tratada y así alcanzar el mayor rendimiento.
- 4.- Conseguir que los elementos, integrantes de cada etapa del proceso cumplan el programa establecido, de acuerdo a las características del agua y parámetros del proceso (Hernández *et al.*, 2004).

3.19. Fiabilidad de los procesos de tratamiento.

La fiabilidad de los procesos de tratamiento del agua residual es también un punto de especial interés para garantizar la calidad del agua. Por el contrario, el tratamiento inadecuado de agua residual que va a utilizarse directamente puede provocar un riesgo ambiental y sanitario inaceptable (Balairón, 2002).

Esto pone claramente de manifiesto que la regeneración de agua residual se concibe actualmente como un proceso destinado a producir un producto de calidad, donde La satisfacción de los diferentes usuarios sea máxima (Tilmant *et al.*, 2007).

3.20. Tratamiento de agua mediante el proceso de lodos activados.

Este proceso fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Arden y Lockett, su nombre proviene de la producción de una masa activa de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia. En la actualidad existen muchas versiones del proceso original, pero son todas fundamentalmente iguales (Metcalf & Eddy, 1996 a; Crites *et al.*, 2000).

El sistema de lodos activados es el más aplicado en el mundo. La versatilidad y criterios de diseño bien definidos lo han convertido en el sistema de referencia para el tratamiento de agua residual municipal (Jiménez, 2001).

En el pasado, muchos procesos de lodos activados fueron diseñados con el modelo de mezcla completa. Sin embargo, la comprensión de los mecanismos de remoción biológica de nitrógeno y fósforo ha mejorado y numerosos procesos o variantes de lodos activados se han desarrollado. En los procesos de tratamiento con lodos activados cíclicos se pueden tratar residuos mediante la combinación de etapas aerobias y anaerobias haciendo posible la remoción biológica tanto de nitrógeno como fósforo (Crites *et al.*, 2000).

El lodo activado es un proceso biológico de tratamiento de residuos, así llamado porque implica la producción de una masa activa de microorganismos capaces de estabilizar sustancias aeróbicamente biodegradables. La biomasa reciclada, en presencia de oxígeno, descompone la materia orgánica biodegradable por hidrólisis y oxidación (Martínez *et al.*, 1995). El término lodos activados se aplica al conglomerado de microorganismos, materia orgánica y materiales inorgánicos. La superficie de estos flóculos son altamente activas en la acción de absorber materiales coloidales suspendidos que se encuentran en el agua residual, por lo que, en una primera etapa, se remueve también por adsorción (Jiménez, 2001). Los productos finales de esta operación son dióxido de carbono, agua y un residuo (Martínez *et al.*, 1995).

El lodo esta formado por una población heterogénea de microorganismos, que cambian continuamente en función de la composición

del agua residual y condiciones ambientales. Por lo general, los lodos con esponjamiento son el resultado de agua residual tratada en un proceso de mezcla completa o con deficiencia de oxígeno y/o nutrientes que está asociado a la presencia de microorganismos de naturaleza filamentosa (Pacheco *et al.*, 2003). Los microorganismos en suspensión mineralizan los componentes tóxicos del agua residual (Moreno y Buitrón, 2002).

El crecimiento controlado de poblaciones microbianas se utiliza habitualmente en la depuración de agua residual, a fin de reducir su carga orgánica. La materia orgánica contenida en el agua residual es mineralizada mediante la acción de microorganismos (Marín, 2005).

Los factores principales que intervienen en la formación del floculo y su sedimentación son: edad de los lodos, toxicidad (presencia de metales pesados y compuestos orgánicos), descargas de lodos, actividad abundante de los protozoarios ciliados, etc. (Pacheco *et al.*, 2003).

Los pasos típicos de este proceso son: aireación en tanque abierto entre 6 y 24 horas y clasificación del producto tratado (Martínez *et al.*, 1995).

Cuando se tienen sólidos suspendidos totales en la salida de la planta, se debe a la presencia de microorganismos filamentosos en el proceso. El crecimiento de microorganismos filamentosos en una planta de tratamiento de lodos activados es indicador de un proceso de tratamiento deficiente; su control dependerá entonces, de la calidad del influente, condiciones de

operación, diseño de la planta de tratamiento, variaciones estacionales y sobre todo, del tipo de microorganismos filamentosos (Pacheco *et al.*, 2003). La calidad esperada del agua tratada de los sistemas por aplicación al suelo debe presentar una media <1 mg/l y una máxima <5 mg/l (Álvarez *et al.*, 2002).

El tratamiento mediante lodos activados, consume energía para la aireación y sus costos de construcción y operación son altos (Rovirosa *et al.*, 2003).

3.20.1. Clasificación de los procesos de lodos activados.

A través del tiempo se han desarrollado variaciones del proceso básico de lodos activados. Los principales procesos de lodos activados se pueden clasificar como sigue:

- a) Lodos activados convencionales.
- b) Aeración extendida.
- c) Estabilización por contacto.
- d) Aeración por etapas.
- e) Alto gasto (Metcalf & Eddy, 1996 a).
- f) Zanjas de oxidación.
- g) Aeración con oxígeno.

Entre las variantes de lodos activados, las mas empleadas son las convencionales o de flujo pistón y la aeración extendida. En menor medida

se encuentra la estabilización por contacto, aeración por etapas, zanjas de oxidación y aeración con oxígeno (Jiménez, 2001).

3.20.1.1. Lodos activados convencionales.

Es la única variante que tiene sedimentación primaria como primer paso después del pretratamiento. El efluente del pretratamiento pasa a sedimentación primaria para que los sólidos se depositen en el fondo de los tanques, los cuales se conducen a los tanques de digestión anaerobia donde se estabilizan. El siguiente paso es la aeración donde se inyecta aire por medio de compresoras o aeradores mecánicos, etapa en el cual se forman los lodos activados. En éste tanque ocurre la estabilización del agua residual. El paso siguiente es la sedimentación secundaria donde se recogen los sólidos o lodos activados, parte de ellos son recirculados a la aeración para hacer una especie de siembra y elevar la eficiencia en el sistema. Finalmente el efluente de la sedimentación secundaria es desinfectado para obtener un producto inocuo bacteriológicamente y ser manejado sin peligro (Serrano, 1997).

3.21. Desinfección de agua tratada.

Desinfección es el término aplicado a aquellos procesos en los cuales microorganismos patógenos pero no sus esporas son destruidos. El propósito primario de la desinfección del agua es el de impedir la diseminación de enfermedades hídricas (Romero, 1999).

La mayoría de las plantas de tratamiento de agua residual que utilizan el proceso de lodos activados para la depuración de su agua, utilizan al cloro (en cualquiera de sus disponibilidades) para la desinfección (Hernández *et al.*, 2004).

3.21.1. Desinfección con cloro.

El cloro ha sido usado principalmente como desinfectante para el control de microorganismos en agua residual (Romero, 1999).

Para la desinfección con cloro es necesario entender la regulación de la dosificación (Hernández *et al.*, 2004).

Para que exista una buena calidad en el agua tratada utilizada para el riego de áreas verdes, el cloro residual debe ser mayor o igual a 1 mg/l (Álvarez *et al.*, 2002).

Una de las desventajas de desinfectar el agua con cloro es el riesgo de formación de compuestos organohalogenados tóxicos (Rodríguez, 2003).

3.22. Calidad del agua residual tratada.

Generalmente el agua de desecho se emplea en cultivo o incluso se da de beber a los animales, representando, por su gran contenido y complejidad de contaminantes químicos y biológicos, un peligro potencial tanto para el ser humano como para el ambiente. Existe en la actualidad gran variedad de plantas de tratamiento que contribuyen, en parte, a resolver

este problema; sin embargo, en algunos casos no son tan eficiente como se desea (Moreno *et al.*, 1992).

El agua, tiene una composición precisa (H_2O) y, por lo tanto, es fácil identificar los compuestos ajenos a ella. Sin embargo, la definición de cuales son contaminantes es difícil. Es un hecho de que el agua rara vez se encuentra en forma pura y, afortunadamente, para fines prácticos no se requiere así o no importa el que contenga otros compuestos; todo depende del uso que se le dé (Jiménez, 2001). Los aspectos que mas influyen en la calidad de los ríos y lagos son el vertido de agua residual doméstica mal tratada (CT e IICA, 1993).

La contaminación del agua y alteración de su calidad por factores ajenos al ciclo hidrológico, es, en la actualidad, uno de los problemas más preocupantes (Balairón, 2002).

Todo ser humano necesita agua de buena calidad para poder vivir; por ello el recurso hídrico, es parte indispensable de todos los ecosistemas terrestres, y hay que utilizarlo en forma óptima y protegerlo de la contaminación, para que se mantenga un recurso de buena calidad para todo el planeta (CT e IICA, 1993).

La calidad del agua en general puede definirse por sus características químicas, físicas y biológicas, o por su uso (Olmos *et al.*, 2002). La eficiencia, es una realidad física, medible, conservable directamente (Balairón, 2002).

Los efluentes tratados en la mayoría de los casos no cumplen con la normatividad (Castro *et al.*, 2001).

El estado actual de nuestra sociedad y nuestro entorno demanda una mejor calidad de los efluentes tratados, sin que por ello los costos derivados del tratamiento se incrementen, sino que más bien les ocurra todo lo contrario (Hernández *et al.*, 2004).

Cualquier planta de tratamiento de agua, se apoya en una serie de operaciones básicas de carácter fisicoquímico o microbiológico, que deben ser conocidas para poder explotarlas correctamente, sacando de ella el máximo rendimiento, tanto técnico como económico. al referirse a rendimiento, se entiende por ello el conseguir la mejor calidad de agua considerando, además el aspecto económico. El mayor rendimiento para el tratamiento de agua residual urbana, representará la mayor reducción en sólidos y carga orgánica (demanda bioquímica y química de oxígeno) del agua que posteriormente será vertida o reutilizada (Marín, 2005).

3.22.1. Calidad de agua en función del uso.

Para hacer uso del agua se requiere que tenga la calidad adecuada y exista en cantidad suficiente (Jiménez, 2001).

La importancia que tiene el estudio de la calidad exigida al agua para los diferentes usos que de ella se hacen radica fundamentalmente en la repercusión que tiene en los seres vivos. Otros problemas importantes

derivados de la falta de calidad del recurso, puede ser la filtración de sustancias nocivas en el terreno. Para solucionar estos problemas, es preciso que se establezcan criterios de tipo biológico y sanitario para controlar la calidad del agua, tal es el caso de la Ley de Aguas Nacionales (LAN) y sus respectivos reglamentos y normas en materia de aguas. La LAN, establece distintos requisitos de calidad exigibles al recurso hídrico en función del uso al que vaya a estar destinado (Balairón, 2002).

3.22.2. Factores esenciales para determinar la calidad del agua.

Los factores esenciales para determinar la calidad del agua tratada son los siguientes:

- 1) Grupo principales de microorganismos en el agua.
- 2) Organismos patógenos en el agua.
- 3) Organismos indicadores de la contaminación del agua
- 4) Métodos utilizados para evaluar la toxicidad de los efluentes (Sans y de Pablo, 1989).

3.22.3. Índices de calidad.

Existen índices de calidad del agua desarrollando cálculos de un índice conocido como potencial de uso. Con el se toma en cuenta la calidad del agua a partir de la información disponible, es decir por medio de la caracterización del agua, y empleo que se les va a dar (Jiménez, 2001).

La baja concentración de la materia orgánica presente en el agua de alimentación influye considerablemente en la eficiencia de los sistemas de tratamiento (Braulio *et al.*, 2006).

3.22.4. Evaluación de calidad.

La evaluación de calidad consiste en el proceso de utilización de medidas de control de calidad externo e interno con objeto de determinar la calidad de los datos obtenidos en el laboratorio (APHS y WPCF, 1992).

Los efluentes están sujetos a unas calidades mínimas de vertido, establecidas para el cauce receptor, si no las cumple deben someterse a otros tratamientos que den la calidad de vertido necesario (Rigola, 1989).

3.23. Reutilización del agua residual tratada.

Una respuesta obvia y antigua a la escasez de agua es reciclar el agua sucia después de usada. Muchos países, cuyas fuentes de agua se están agotando, obtienen gran parte del agua para la agricultura a partir de agua residual tratada (Brooks, 2004). No olvidar que la reutilización exige un tratamiento adecuado del agua y un control riguroso (Hernández *et al.*, 2004).

La reutilización directa y planificada del agua residual es una necesidad. La depuración previa debe realizarse de modo que se alcance la calidad necesaria para el uso adecuado. En muchas ocasiones la mala

calidad del agua residual, exige tratamientos costosos que encarecen excesivamente su reutilización (Romero y Alberola, 2005).

La reutilización planificada del agua es un sistema de utilización del recurso hídrico que puede emplearse con éxito en actividades tales como uso urbanos del agua (jardinería, incendios, lavado de calles, etc.), uso agrícola, industrial, recreativo o en la recarga artificial de acuíferos (Balairón, 2002).

3.23.1. Formas de reutilización.

El campo de aplicación por excelencia en la reutilización del agua residual urbana es su aprovechamiento agrícola, para el riego de cultivos. Resultado del contenido en nutrientes en dicha agua, los cuales pueden ser utilizados directamente por los vegetales para su crecimiento (Balairón, 2002).

Los riesgos de consumir los alimentos producidos con agua residual tratada son insignificantes (Brooks, 2004). Después de años de investigación en suelo y plantas en Monterrey, con los tratamientos adecuados, se ha llegado a la conclusión de que es saludable y aceptable el riego con agua residual en cultivos (lechuga, brócoli, coliflores, alcachofas). No se observa deterioro del suelo o del agua subterránea (Hernández *et al.*, 2004).

Otra forma de reutilizar el agua residual es en la recarga de los acuíferos, que puede consistir en cosas tan simples como cavar zanjas o

pozos, otras tan complicadas comprenden la inyección de grandes cantidades de agua por medio de pozos profundos, en capas permeables (Brooks, 2004).

3.23.2. Pruebas para estimar la capacidad de reutilización.

Pruebas de C.E., pH, alcalinidad, cloruros y sulfatos son realizadas para estimar la capacidad de reutilización del agua residual tratada y también como pruebas para el control de varios procesos de tratamiento (Crites *et al.*, 2000 a).

3.23.3. Consideraciones sobre reutilización.

En la reutilización se entiende que se pretende utilizar el agua de consumo humano, como agua de calidad superior, después de su uso para otros fines. Para pensar en una reutilización del agua deben hacerse cuatro preguntas importantes:

- 1.- ¿Cuál es el riesgo para la salud en cada uno de los usos especificados citados?
- 2.- ¿Bajo que condiciones es una alternativa eficaz y económica en los abastecimientos municipales?
- 3.- ¿Cuál será la aceptación social?
- 4.- ¿Cómo se garantizará un control adecuado? (Hernández *et al.*, 2004)

3.23.4. Limitantes para la reutilización.

Virus, bacterias, protozoos y helmintos son sin duda las grandes limitaciones para la reutilización del agua residual (Hernández *et al.*, 2004).

3.24. Ventajas de la reutilización planificada del agua.

Entre las principales ventajas, cabe destacar las siguientes:

- Disminución de los costos de tratamiento y vertido del agua residual. Ofrece una clara ventaja económica cuando las exigencias de calidad de la alternativa de reutilización considerada sean inferiores a las definidas por el medio receptor al que serían vertidas.
- Reducción de aportes contaminantes a los cursos naturales de agua, en particular cuando la reutilización se efectúa mediante riego agrícola. En estos casos, las sustancias orgánicas difícil de mineralizarse durante los procesos convencionales de tratamiento de agua residual pueden ser degradadas biológicamente durante su infiltración a través del terreno de cultivo, donde sus componentes minerales serán posteriormente asimilados por las plantas (Balairón, 2002).

3.25. Consideraciones a seguir para el buen funcionamiento de una planta de tratamiento de agua residual.

Las consideraciones para el buen funcionamiento de una planta de tratamiento de agua residual son las siguientes (Castro *et al.*, 2001):

3.25.1. Conocimiento adecuado por parte de los operadores.

Es necesario que los operadores tengan el conocimiento adecuado, debido a que para controlar un proceso, es necesario que el sistema bajo control sea entendido. Cuanto mayor sea la planta de tratamiento de agua residual, el proceso va siendo más complejo, debiendo existir un perfecto conocimiento de los equipos (Castro *et al.*, 2001).

3.25.2. Operaciones de proceso.

Las actividades de proceso consisten fundamentalmente en la determinación analítica de una serie de parámetros, que son los que indican cómo está funcionando la planta (Hernández *et al.*, 2004).

3.25.3. Operaciones de seguimiento de la planta.

Se requiere de vigilancia e inspecciones para que, conjuntamente con los resultados analíticos de proceso, se puedan ajustar las diferentes fases de tratamiento, consiguiendo el funcionamiento óptimo de las instalaciones, y el mejor rendimiento (Hernández *et al.*, 2004).

3.25.4. Mantenimiento adecuado de los equipos.

Algunos de los problemas de las plantas existentes, es la falta o mantenimiento deficiente (Castro *et al.*, 2001). Debe existir un mantenimiento preventivo de los equipos, de tal manera que se reduzca al mínimo la posibilidad de fallos en cada uno de ellos (Hernández *et al.*, 2004). Las unidades de tratamiento rara vez reciben mantenimiento alguno, como resultado han ocurrido muchas fallas en los sistemas (Crites *et al.*, 2000).

3.25.4.1. Control del mantenimiento.

El adecuado desarrollo de todas las actividades de mantenimiento y explotación, es imprescindible para llevar un control de las mismas, de forma que diariamente vayan quedando reflejadas todas las operaciones realizadas (Hernández *et al.*, 2004).

3.26. Técnicas de Regresión y Correlación.

Existen numerosas aplicaciones de la regresión, en todos los campos de la ciencia. El análisis de regresión puede ser usada para predecir algunos fenómenos de la naturaleza en función de otros factores de la misma (Serrato, 1994). La aplicación del análisis de regresión es valiosa para tratar de comprender las interacciones de los factores en la naturaleza (Salisbury y Ross 1994).

El análisis de regresión y correlación, es una técnica estadística que puede ser usada para analizar la relación entre una variable dependiente y variables independientes (Hair *et al.*, 1999). Con la ayuda de computadoras de alta velocidad es posible incorporar un gran número de variables en una función de regresión y así incrementar nuestra capacidad de predicción del valor de una variable como función de otras variables relacionadas (Hoel, 1988).

El objetivo del análisis de regresión es que ayuda a estimar una variable simple a partir del conocimiento de una o más variables independientes (Hair *et al.*, 1999).

3.26.1. Regresión Lineal Simple.

Si el problema involucra una variable dependiente con otra variable independiente, entonces la técnica estadística es considerada como regresión simple (Hair *et al.*, 1999).

De todo un grupo de puntos que puede existir en una recta, se trata de formalizar la idea de que existe una relación entre los valores de X e Y, una de las variables jugará el valor de variable independiente (X) y la otra desempeñará el valor de variable dependiente de la primera (Y). La recta de regresión de Y sobre X es la recta $y = a + bx$. La idea de la recta de regresión es intentar encontrar la recta que mejor represente al grupo de puntos, en el sentido de minimizar la media de los cuadrados de las

distancias verticales de los diferentes puntos de la nube de la recta. Según como sea el grupo de puntos, la recta de regresión la representará mejor o peor, esto vendrá medido por la línea de tendencia presentada en un gráfico, entre mas se aproxime a 1 la R^2 menos error habrá. Siempre se puede hallar la recta que mejor presente esa nube de puntos (De la Horra, 2003).

3.26.2. Correlación simple.

El coeficiente de correlación toma siempre un valor entre -1 y 1, igual ocurriría con la covarianza, hay una cierta asociación entre r^2 y la orientación de el grupo de puntos. Entre mas se acerque a 1 o a -1, existirá una mayor correlación entre los parámetros analizados, a la vez que está relacionado con el valor de probabilidad, debido a que entre mayor sea la correlación menor será el grado de probabilidad. (Pérez, 2005).

3.26.3. Regresión múltiple.

Cuando el problema involucra una variable dependiente con dos o más variables independientes es referido como análisis de regresión múltiple (Hair *et al.*, 1999). En este trabajo se empleó esta técnica.

Dada una serie de variables, se trata de estudiar el grado de dependencia simultánea entre todas o entre grupo de ellas, de acuerdo a la intensidad con que dependan, establecer una función que explique una variable mediante las demás, que se supone son causas influyentes (Martín y García, 2004). El objetivo del análisis de regresión múltiple es usar, variables

independientes, cuyos valores son conocidos para predecir el valor de la dependiente simple que se desea conocer. El resultado es una variable, es decir una combinación lineal de las variables independientes que mejor predicen la variable dependiente. Las variables son sopesadas en el proceso, su peso denota su contribución relativa para la predicción en su totalidad. De este modo, el análisis de regresión asegura que el análisis está provisto de la máxima predicción en un formato que también facilita la interpretación de la influencia que cada factor ejerce en la predicción (Hair et al., 1999).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1. Planta Tratadora de Agua Residual de la Ciudad Deportiva México D. F. (PTAR CDM).

4.1.1. Localización.

La planta tratadora de agua residual “Ciudad Deportiva”, se encuentra ubicada en viaducto río de la piedad y circuito interior río churubusco, sin número, delegación Iztacalco, Ciudad de México. A 0.5 Km. de la estación del metro “ciudad deportiva”.

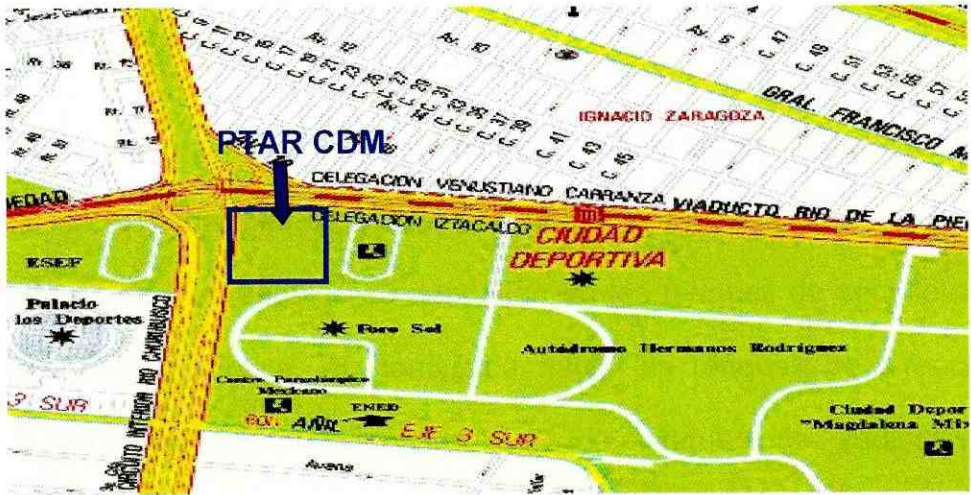


Fig. 1 Croquis de localización de la PTAR CDM.

La PTAR CDM se localiza a una altitud norte de $19^{\circ} 24' 30.06''$, y una longitud oeste de $99^{\circ} 5' 46.76''$, a una altura sobre el nivel del mar de 2235 msnm.



Fig. 2 Vista satelital de la PTAR CDM

4.1.2. Flujo del agua residual.

El agua residual de tipo doméstico, principalmente, que conduce el drenaje de la ciudad, es desviado, por medio de tuberías de fibra de vidrio hacia la planta y en seguida se depositan en los tanques de sedimentación primaria, posteriormente, es conducida hacia los tanques de aireación o reactor biológico, después, pasan por los tanques de sedimentación secundaria (que a la vez cuenta con clarificadores), y en seguida pasan por las canaletas de contacto o canaletas de desinfección, y finalmente son depositadas en el tanque de almacenamiento, para su posterior bombeo al cárcamo.

4.1.3. Infraestructura.

Para el tratamiento del agua residual, la PTAR CDM, cuenta con dos tanques de tratamiento primario, dos tanques de aireación o reactor biológico, dos tanques de sedimentación secundaria (clarificadores), dos cámaras o tanques de cloración y dos tanques de almacenamiento.

Cuenta con 4 compresores para la aireación (1 con capacidad de 300 HP., 2 de 100 HP., 1 de 50 HP con turbina de 300 HP. y otro de 200 HP), un gasificador y cuatro bombas para el bombeo del agua tratada hacia las áreas que lo requieran, además con un controlador automatizado, que regula el proceso tratamiento de toda la planta.

4.1.4. Proceso de tratamiento.

Se caracteriza por ser un tratamiento biológico para desechos domésticos donde se utiliza el proceso de lodos activados con digestión aerobia convencional. El agua residual se introduce a los tanques de tratamiento donde se mantiene un cultivo aerobio en suspensión. La demanda de oxígeno de los microorganismos se abastece a través de un compresor, al mismo tiempo se produce una mezcla de agua residual y microorganismos (principalmente bacterias) en los tanques de tratamiento. En el fondo de la fosa de agua residual son sedimentados los sólidos y lodos para separarse del agua residual.

Antes del tanque de almacenamiento existen cámaras de cloración, en dichas cámara la cloración se realiza mediante el contacto del agua con gas cloro.

4.1.5. Diagrama de flujo.

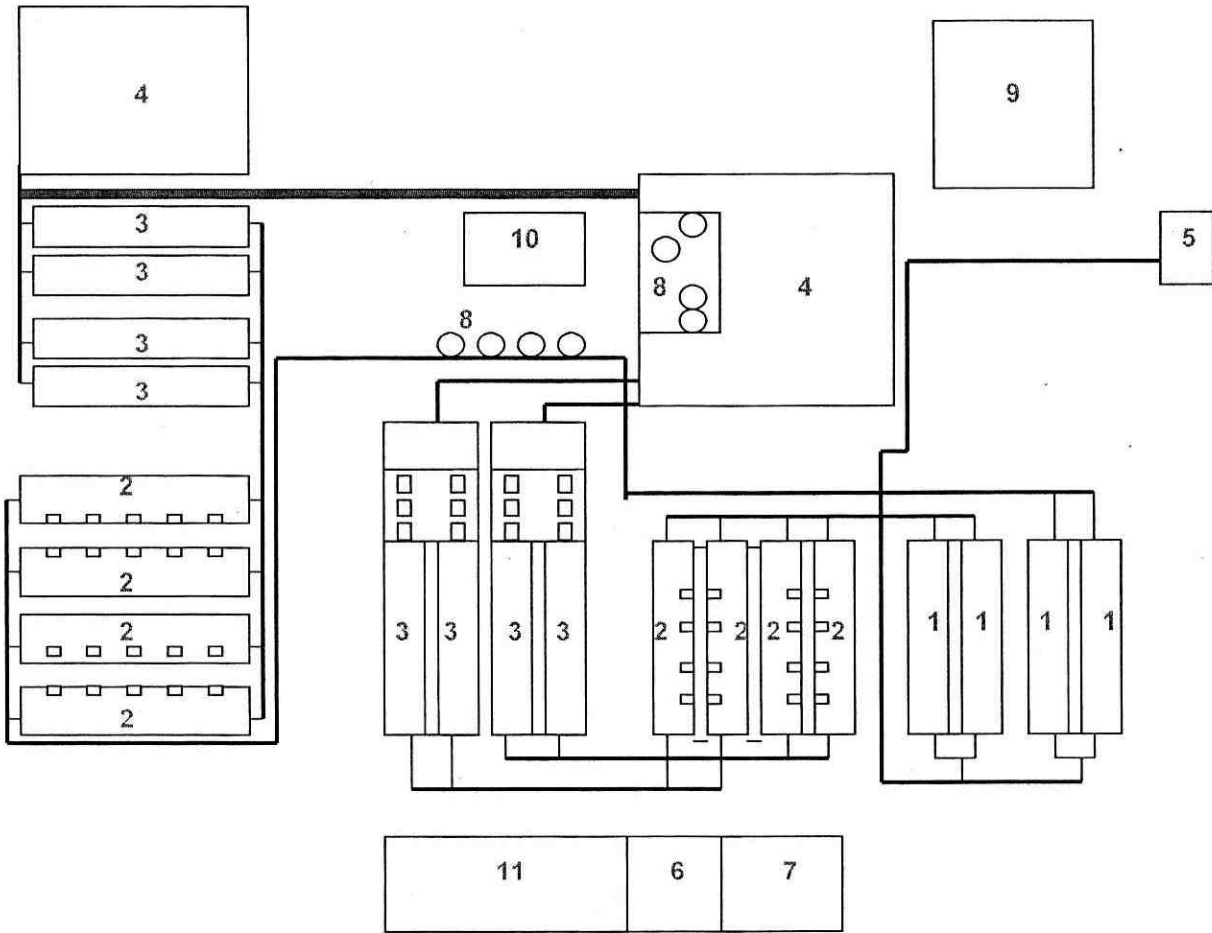


Fig. 3. Diagrama de flujo de la planta tratadora de agua residual de ciudad deportiva México D F.

- 1.- Sedimentador Primario.
- 2.- Reactor biológico.
- 3.- Sedimentador secundario.
- 4.- Tanque de almacenamiento.
- 5.- Colector
- 6.- Compresores.
- 7.- Controlador.
- 8.- Bombas.
- 9.- Laboratorio de control de proceso.
- 10.- Controladores manuales.
- 11.- Oficinas.

4.1.6. Uso del agua residual tratada.

El agua residual tratada es destinada para riego de áreas verdes

4.2. Descripción del procedimiento.

En este estudio se utilizó la base de datos que contiene los resultados del análisis de los parámetros de operación de la Planta Tratadora de Agua Residual con lodos activados de la Ciudad Deportiva, México D. F. del año 2006.

La base de datos proporcionada por la PTAR CDM contiene los resultados del análisis de 11 variables, las cuales son: temperatura ambiente ($T_{amb.}$), temperatura del agua (T_A), sólidos sedimentables (SS), cloro residual

(Cl_r), sólidos totales (ST), sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), dureza total (Dt), pH, conductividad Eléctrica (CE) y oxígeno disuelto. De estas variables, solamente siete de ellas tienen los datos completos del año 2006 (T_A, Cl_r, SST, DQO, pH, CE y OD) y las restantes están incompletas, por lo que se desecharon y se formó la base de datos finalmente con las siete variables seleccionadas. Del total de datos registrados, se seleccionaron 50 datos por cada variable (de 4 a 5 datos por mes con 5 u 8 días de diferencia entre cada dato, hasta completar 50), la cual fue la base de datos empleada en este análisis (apéndice).

Para determinar los valores de las siete variables antes mencionadas, el laboratorio de calidad de la PTAR CDM utilizó los siguientes métodos:

- ✓ Método visual con Termómetro (T_A)
- ✓ Método Gravimétrico (C_R)
- ✓ Método gravimétrico (SST)
- ✓ Método de Oxidación (DQO).
- ✓ Método Potenciométrico (pH)
- ✓ Método visual con Conductímetro (CE)
- ✓ Método de Oxidación (OD).

Con la base de datos así determinada y utilizando el paquete estadístico computacional SAS System (2001), se procedió a:

- 1) Determinar los valores estadísticos básicos (de cada variable se obtuvo la media, desviación estándar, valor mínimo y máximo) de las

variables medidas en el efluente del tratamiento de agua residual de la planta de tratamiento.

- 2) Determinar el modelo de regresión. Para determinar el modelo, se hicieron varias combinaciones hasta obtener el mejor coeficiente de determinación.
- 3) Determinar la correlación y probabilidad entre variables.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1. Calidad del agua residual tratada.

En el cuadro 1 se presentan los datos estadísticos básicos, en el cual se observa que la temperatura del agua tuvo una variación entre 8.5 y 17 °C, mientras que la media fue de 13.3 °C. Se considera que la temperatura del agua óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana está en el rango de 25 a 35 °C y que, cuando la temperatura se acerca a los 15 °C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad (Crites *et al.*, 2000 y Metcalf & Eddy, 1996). La temperatura (ni aún tomando en cuenta el máximo valor registrado) en el efluente de la planta de tratamiento de agua, no permite, según lo recomendado, la actividad bacteriana y por consiguiente no habrá bacterias productoras de metano que puedan estar presentes en el efluente.

El cloro residual permaneció en un rango entre 0.9 y 40.9 mg/l, observándose una media de 6.55 mg/l. Una de las desventajas de desinfectar el agua residual tratada con cloro es el riesgo de formación de compuestos organohalogenados tóxicos. (Hernández *et al.*, 2004 y Rodríguez, 2003). Para que exista buena calidad en el agua tratada utilizada para el riego de áreas verdes, el cloro residual debe ser mayor o igual a 1 mg/l (Álvarez *et al.*, 2002). Con relación a la concentración de cloro residual recomendado, es preciso decir, que la concentración obtenida se encuentra dentro de los valores de calidad que debe existir en el efluente, ya que se tiene una media de 6.55 mg/l que es superior a 1 mg/l recomendado.

Los sólidos suspendidos totales se mantuvieron entre 15 y 92.4 mg/l, con una media de 37.97 mg/l. Cuando se tiene sólidos suspendidos totales en la salida de la planta, se debe a la presencia de microorganismos filamentosos en el proceso (Pacheco *et al.*, 2003). Además, el color (aparente) en el agua residual es causado por los sólidos suspendidos (Crites *et al.*, 2000). La turbiedad en un agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión (Romero, 1999). Los datos medidos presentan rangos que se salen de lo recomendado por Álvarez *et al.* (2002), que mencionan que la calidad esperada del agua tratada de los sistemas por aplicación al suelo debe presentar una media <1 mg/l y una máxima <5 mg/l de sólidos suspendidos totales, pero aparentemente el agua tratada se observa de un color no significativo y sin turbiedad considerable.

La Demanda Química de Oxígeno presentó una media de 29.02 mg/l, con una mínima de 19.5 y una máxima de 49.3 mg/l. La DQO es la concentración de masa de oxígeno consumido por la descomposición química de la materia orgánica e inorgánica y un agua residual con elevada DQO puede llevar al agotamiento oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas (Jiménez, 2001). No existe un dato que establezca la concentración ideal de la DQO. Sin embargo los valores obtenidos pueden señalar que en realidad no es significativo, porque relacionándolo con el color y turbiedad, se considera prácticamente libre de materia orgánica y sin desarrollo de condiciones sépticas.

El pH registro una media de 7.69, un mínimo de 7.1 y un máximo de 8.3. Aunque el valor neutro de la media de pH registrado son considerados según Crites *et al.*, (2000) como ideal para el desarrollo y hábitat de los microorganismos, la temperatura y oxígeno disuelto impedirían el desarrollo de estos, ya que la temperatura obtuvo una media de 13.3 °C y el oxígeno disuelto presentó una concentración media de 2.72 ml/l, según lo recomendado por Crites *et al.* (2000) y Metcalf & Eddy (1996), no es la ideal para el desarrollo de microorganismos, debido a que la temperatura y el oxígeno disuelto ideal es de 25 a 30 °C para la temperatura y de 5 ml/l para la concentración del OD. El valor de pH registrado se encuentra dentro del rango recomendado por Álvarez *et al.* (2002) que menciona que el pH ideal para una buena calidad de agua tratada utilizada para el riego de áreas verdes es de 6-9.

El parámetro más importante para determinar la posibilidad del uso de agua para riego se establece mediante la medición de la conductividad eléctrica debido a que el agua de baja salinidad se puede usar para riego con baja probabilidad de que el suelo se vuelva salino (Crites *et al.*, 2000). En este trabajo de investigación la conductividad eléctrica se mantuvo en una media de 27.6 μ mhos dentro del rango que abarca un mínimo de 6.5 y un máximo de 49 μ mhos. Cabe mencionar que el agua tratada se emplea para el riego de áreas verdes de la Ciudad Deportiva, y aparentemente no se observan daños físicos en la vegetación.

El Oxígeno Disuelto presentó una media de 2.72 ml/l, un mínimo de 0.5 y un máximo de 6.2 ml/l. El cual según lo recomendado por Metcalf & Eddy (1996) que mencionan que el oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida y que la concentración ideal para la supervivencia de los microorganismos es de 5 ml/l, se considera que la concentración de oxígeno disuelto obtenida en el efluente de la planta de tratamiento de agua no permitirá el desarrollo de microorganismos debido a que la media obtenida (2.72 ml/l) es inferior a lo recomendado (5 ml/l).

CUADRO 1. VALORES ESTADÍSTICOS BÁSICOS DE LAS VARIABLES MEDIDAS EN EL EFLUENTE DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA CIUDAD DEPORTIVA, MÉXICO, D. F., 2006.

Variable	N*	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
T _A * (°C)	50	13.31	1.84	8.50	17.00
Cl _r * (mg/l)	50	6.55	8.18	0.90	40.90
SST * (mg/l)	50	37.97	20.05	15.00	92.40
DQO* (mg/l)	50	29.02	8.00	19.50	49.30
pH *	50	7.69	0.20	7.10	8.30
CE* (μmohos)	50	27.59	6.95	6.50	49.00
OD* (ml/l)	50	2.72	1.53	0.50	6.20

*N = número de datos analizados.

*T = temperatura del agua residual, Cl_r = cloro residual, SST = sólidos suspendidos totales, DQO = demanda química de oxígeno, pH = potencial hidrógeno, CE = conductividad eléctrica, OD = oxígeno disuelto.

5.2. Modelo de predicción.

El mejor modelo encontrado fue el que consideró el pH como la variable dependiente. El Cuadro 2 incluye el modelo de regresión y el análisis de varianza para la predicción de pH.

CUADRO 2. MODELO DE REGRESIÓN Y ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA PREDICCIÓN DEL PH DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE CIUDAD DEPORTIVA, MÉXICO, D.F., 2006.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Probabilidad mayor de F	R ²
Modelo	6	1.47	0.24	23.91	1 x 10 ⁻⁴	0.77
Error	43	0.44	0.01			
Total	49	1.89				

Variable	Grados libertad	Parámetros estimados	Error estándar	Probabilidad Mayor de T
Intercepto	1	7.27	0.12	1.00 x 10 ⁻⁴
T _A *	1	-1.03 x 10 ⁻²	8.58 x 10 ⁻³	2.35 x 10 ⁻¹
Cl _r *	1	-8.58 x 10 ⁻³	1.89 x 10 ⁻³	1.00 x 10 ⁻⁴
SST*	1	-7.04 x 10 ⁻⁴	7.78 x 10 ⁻⁴	3.71 x 10 ⁻¹
DQO*	1	5.32 x 10 ⁻⁴	2.03 x 10 ⁻³	7.95 x 10 ⁻¹
CE*	1	2.29 x 10 ⁻²	2.19 x 10 ⁻³	1.00 x 10 ⁻⁴
OD*	1	-3.15 x 10 ⁻³	9.96 x 10 ⁻³	7.54 x 10 ⁻¹

*T_A = temperatura del agua residual, Cl_r = cloro residual, SST = sólidos suspendidos totales, DQO = demanda química de oxígeno, pH = potencial hidrógeno, CE = conductividad eléctrica, OD = oxígeno disuelto.

Al graficar los datos, según como el grupo de puntos, la recta lo representará mejor o peor, medido por la línea de tendencia presentada, entre mas se aproxime a 1 el coeficiente de determinación (R²) menos error habrá (De la Horra, 2003). En el Cuadro 2 se observa que el coeficiente de

determinación es 0.77, lo cual considera como al modelo bastante aceptable para éste tipo de sistemas.

En el Cuadro 2 se aprecia que el modelo es altamente significativo ($P < 0.01$) con un coeficiente de determinación de 0.77, por lo que de acuerdo al análisis, el 77 % de la variación del pH es explicado por las diferencias entre los valores de T, Cl_r , SST, DQO, CE y OD obtenidos después del tratamiento del agua. En relación con las variables independientes, el Cl_r y la CE presentaron valores altamente significativos ($P < 0.01$). Las demás variables tuvieron poca significancia.

5.3. Correlación simple.

El coeficiente de correlación toma siempre un valor entre -1 y 1. Entre más se acerque a 1 o a -1, existirá una mayor correlación entre los parámetros analizados, a la vez que está relacionado con el valor de probabilidad debido a que entre mayor sea la correlación menor será el grado de probabilidad (Pérez, 2005). En el Cuadro 3 se observa que la mayor correlación que existe entre los parámetros analizados es la que obtuvo el pH con relación a la conductividad eléctrica (CE) con un valor de coeficiente de correlación de 0.80, seguida por el cloro con relación al pH con un valor de correlación de coeficiente de -0.37. En ambas correlaciones se corrobora que efectivamente la CE y el Cl_r son las que más influyen en el modelo de predicción mencionado. Posteriormente se encuentra la correlación entre temperatura y demanda química de oxígeno con 0.35 de coeficiente de correlación, siguiendo la temperatura con respecto a la conductividad eléctrica con un coeficiente de correlación de 0.24, y por último el cloro con respecto al pH con un coeficiente de correlación de -0.24. Corroborando lo mencionado por Pérez (2005), y observando los valores de correlación y probabilidad de las variables descritas en el Cuadro 3, efectivamente entre mayor sea la correlación menor será la probabilidad, como ejemplo están la correlación entre el pH y la C.E., teniendo un coeficiente de correlación de 0.8 y una probabilidad de 0. Por el contrario, esta la correlación entre la T_A y los SST, que tienen una correlación de 0.04 y una probabilidad de 0.78.

CUADRO 3. CORRELACIÓN SIMPLE ENTRE LAS VARIABLES MEDIDAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE CIUDAD DEPORTIVA, MÉXICO, D. F. 2006.

PARES DE VARIABLES	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (r^2)	VALOR DE P
$T_A^* - Cl_r^*$	-0.13	0.37
$T_A^* - SST^*$	0.04	0.78
$T_A^* - DQO^*$	0.35	0.01
$T_A^* - pH^*$	0.15	0.30
$T_A^* - CE^*$	0.24	0.09
$T_A^* - OD^*$	0.12	0.41
$Cl_r^* - SST^*$	-0.24	0.09
$Cl_r^* - DQO^*$	-0.23	0.10
$Cl_r^* - CE^*$	-0.05	0.73
$Cl_r^* - OD^*$	-0.03	0.81
$SST^* - DQO^*$	-0.11	0.47
$SST^* - pH^*$	0.11	0.45
$SST^* - CE^*$	0.12	0.42
$SST^* - OD^*$	-0.24	0.10
$DQO^* - pH^*$	0.22	0.13
$DQO^* - CE^*$	0.18	0.21
$DQO^* - OD^*$	0.20	0.15
$pH^* - CE^*$	0.80	0.00
$pH^* - Cl_r^*$	-0.37	0.01
$pH^* - OD^*$	-0.08	0.56
$CE^* - OD^*$	-0.10	0.48

*T = temperatura del agua residual, Cl_r = cloro residual, SST = sólidos suspendidos totales, DQO = demanda química de oxígeno, pH = potencial hidrógeno, CE = conductividad eléctrica, OD = oxígeno disuelto.

VI. CONCLUSIONES.

Se concluye que, el agua residual tratada en la PTAR CDM mediante el proceso de lodos activados, se encuentra dentro de los rangos de calidad que debe existir en el efluente y, conforme a los resultados obtenidos se deduce que la planta está operando correctamente.

El valor del coeficiente de determinación ($R^2 = .77$) del modelo encontrado, permite que pueda ser considerado bastante aceptable para este tipo de sistemas.

La mayor correlación que existe entre las variables analizadas esta la de pH y conductividad eléctrica.

VII. RECOMENDACIONES.

En el análisis total del agua tratada de la PTAR CDM mediante el proceso de lodos activados, es recomendable que se lleven acabo todas las mediciones posibles de los parámetros de operación y parámetros normados, para tener valores precisos y representativos, pero sobre todo confiables.

Realizar estudios, que determinen contaminantes en el suelo, en las áreas donde se utiliza éste tipo de agua, para verificar que realmente el agua tratada no esta causando daños.

VIII. LITERATURA CITADA.

- Abolfazl N. y H. Ali F. 2007. Water use efficiency in winter wheat under deficit irrigation. *Journal of Biological Sciences*. pp. 19-26.
- al- Barrak K. M. 2006. Water use efficiency in wheat grown under drought conditions. *Journal of biological sciences (vol.2)* pp. 408-411.
- Álvarez B., D., S. M. Contreras R. y H. M. Poggi V. 2002. Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales por Aplicación al Suelo. Departamento de Biotecnología y Bioingeniería del Cinvestav. Avance y perspectiva, vol. 21. pp. 333-340.
- American Public Health Association y Water Pollution Control Federation (APHA y WPCF). 1992. Métodos normalizados para el Análisis de agua potable y residuales. Ediciones Díaz de Santos, Córdoba, Veracruz. pp. 13.
- Balairón P., L. 2002. Gestión de recursos Hídricos. Ediciones UPC. España. 478 pp.
- Braulio V., M. A., E. A. Sandoval S. y J. U. Aréchiga V. 2006. Operación y rediseño de una tecnología para el tratamiento de aguas residuales en Cuernavaca. *Revista Mexicana de ingeniería Química (vol. 5)*, México, D. F. pp. 5-9.
- Brooks B., D. 2004. Agua. Manejo a nivel local. Editorial Alfaomega Colombiana S.A. Bogotá, Colombia. pp. 1-70.
- Castro G., A., M. Enríquez P. y C. Durán de B. 2001. Estudio de laboratorio y simulación para el diseño, construcción y operación de un sedimentador primario. *REDALYC (vol. 16)*, México, D. F. pp. 84-88.

- Crites, R., T. George, C. Miller, P. y M. Guillermo. 2000 a. Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Editorial McGraw-Hill Interamericana, S.A., Bogotá, Colombia. pp. 1-50.
- CT e IICA. 1993. Consejo de la Tierra e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura 1993. La cumbre de la Tierra ECO 92: Visiones diferentes. IICA, San José, Costa Rica. pp 15 -99.
- De la Horra N., J. 2003. Estadística Aplicada. Ediciones Díaz de Santos, Córdoba, Veracruz. 358 pp.
- García S., J. A., E. Guzmán S. y M. Fortis H. 2006. Demanda y distribución del agua en la comarca lagunera, México. Agrociencia (vol. 40), Texcoco, México. pp. 269-276.
- Gil R., M. 2005. Procesos de descontaminación de aguas. Cálculos informatizados avanzados. Editorial Thomson Learning Ibero. pp. 10, 52.
- Gutiérrez B., B. E. y N. I. Herrera C. 2001. La ingeniería ambiental en México. Editorial Limusa, México, D. F. pp: 7, 22, 53.
- Guzmán S., E., J. A. García S., J. S. Mora F., M. Fortis H., R. Valdivia A. y M. Portillo V. 2006. La demanda de agua en la comarca lagunera, México. Agrociencia (vol. 40), Texcoco, México. pp. 793-803.
- Hair, Jr. J.F., R.E. Anderson, R. L. Z. Tatham and W.C. Black. 1999. Análisis Multivariante. Quinta edición. Prentice Hall International Inc. España 799 pp.
- Herce v., M. y J. Miró F. 2002.El soporte infraestructural de la ciudad. Ediciones UPC, Cataluña, España. pp. 69.

- Hernández M., A. A. Hernández L. y P. Galán M. 2004. Manual de depuración Uralita. Sistemas para depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20, 000 habitantes. Editorial Thomson Learning Ibero. pp: 289, 299, 307, 317, 331, 360 -362.
- Hoel, G.P. 1988. Estadística Elemental. Sexta impresión. Ed. CECSA. Mex. D.F. pp 313 – 315.
- Jiménez C., B. E. 2001. La contaminación ambiental en México. Causas, efectos y tecnología apropiada. Editorial Limusa, México, D. F. pp 33-300.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). 2005. 6ª edición. Ediciones Luciana. México, D.F. pp. 68-72.
- MacNeely A. J. 1998. Principales problemas de la conservación en el decenio de 1990. Resultados de los seminarios del congreso mundial de la naturaleza. The World Conservation Union, Montreal, Canada. pp. 104.
- Manga C., J., N. Molinares A. y J. Arastia P. 2005. Tratamiento de aguas residuales mediante sistemas de lagunaje. vol. 1. Editada por la universidad del Norte, México, D. F. pp. 1.
- Marín G., R. 2005. Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. Ediciones Díaz de Santos, Córdoba, Veracruz. 319 pp.
- Martín P., F. J. y M. García S. 2004. Introducción a la Estadística Económica y Empresarial (Teoría y Práctica). Editores Cengage Learning, Estados Unidos de Norte América. 599 pp.
- Martínez G., J. A., F. Manjón-Cabeza M., J. A. Martínez A. y M. A. Villar M. 1995. Tecnología. Editoriales MAD, Madrid, España. pp. 122.

- Martínez O., M. C. 2002. La gestión privada de un servicio público. El caso del agua en el Distrito Federal, 1988 -1995. Editorial Plaza y Valdés, México, D. F. pp 75-78 y 98.
- Metcalf & Eddy, 1996 a. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Tomo 1. Editorial Mc Graw-Hill (3^a edición), México, D.F. pp. 1-10, 191.
- Metcalf & Eddy, 1996 b. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Tomo 2. Editorial Mc Graw-Hill (3^a edición), México, D.F. pp. 1-20.
- Moreno J. y G. Buitrón. 2002. Optimización de un biorreactor aerobio para el tratamiento de aguas residuales industriales. Computación y sistemas, Instituto Politécnico Nacional. REDALYC. México, D. F. pp. 74-82.
- Moreno, J., A. Colín y O. Vázquez. 1992. Remoción de fenoles, detergentes y coliformes presentes en aguas residuales por medio de irradiación. Revista internacional de contaminación ambiental (vol. 8), México, D. F. pp. 29-35.
- Olmos R., R., M. Sepúlveda, R. y M. Villalobos, F. 2002. El agua en el medio ambiente. Muestreo y análisis. Editores Plaza y Valdés. México, D.F. 184 pp.
- Pacheco S., V. F., B. Jáuregui R., T. B. Pavón S. y G. V. Mejía P. 2003. Control del crecimiento de microorganismos filamentosos en una planta de tratamiento de aguas residuales industriales. Revista internacional de contaminación ambiental, REDALY (vol. 19), México, D. F. pp. 47-53.
- Pérez L., C. 2005. Métodos Estadísticos Avanzados con SPSS. Editores Cengage Learning, Estados Unidos de Norte América. 775 pp.

- Pineda P., N. 2002. La política urbana de agua potable en México: del centralismo y los subsidios a la municipalización, la autosuficiencia y la privatización. *Región y sociedad* (vol. 14), Sonora, México. pp. 1-30.
- Rigola L., M. 1989. Tratamiento de aguas residuales: Aguas de proceso y residuales. Editorial Alfaomega Marcombo. pp. 11, 43, 44, 49.
- Rivas L., B. A., G. V. Nevárez M., R. G. Bautista M., A. Pérez H. y R. Saucedo T. 2003. Tratamiento de aguas residuales de uso agrícola en un biorreactor de lecho fijo. *Agrociencia* (vol. 37), Texcoco, México. pp 157-166.
- Rodríguez M., J.M. y G. Marín R. 1999. Fisicoquímica de aguas. Ediciones Díaz de Santos, México, D.F. pp. 1-5.
- Rodríguez V., F. J. 2003. Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización. Ediciones Díaz de Santos, Córdoba, Veracruz. pp.37, 65.
- Romero R., J. A. 1999. Calidad del agua. Alfaomega grupo editor, S.A. de C.V. (vol. 2), México, D.F. pp. 63-80, 191-195.
- Romero, J. y M. Alberola. 2005. Los límites del territorio. El país Valenciano en la encrucijada. Publicado por la Universidad de Valencia. pp: 85 y 86.
- Rovirosa M., N., P. González S., A. Pellón A. y M. del C. Espinoza LI. 2003. Tratamiento de aguas residuales en zonas costeras con intrusión marina. *Tecnología, Ciencia y Educación* (vol. 18), México, D. F. pp. 71-80.
- Salisbury, F. y C. L. Ross. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo editorial Iberoamérica S.A. de C.V. México D.F. 759 pp.

Sánchez T., N. 1997. Alternativas de desinfección del agua. Biblioteca virtual de vigilancia en salud (vol. 2). 6 pp.

Sans F., R. y J. de Pablo R. 1989. Ingeniería Ambiental. Contaminación y tratamiento. Ediciones Marcombo. 149 pp.

SAS Institute, Inc., 2001. SAS/STAT User's guide. 1200 p. Cary, N. C., U. S. A.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Coahuila (SEMARNAC). 2008. (en línea). El agua en Coahuila. Disponible en: <http://www.semarnac.gob.mx>. Consultado el 12/05/2002008.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2007 (a). (en línea). Leyes y normas. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Pages/inicio.aspx>. Consultado el 20/10/2007.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2007 (b). (en línea). NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-001-ECOL.pdf> . Consultado: 20/10/2007.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2007 (c). (en línea). NORMA Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Normas%20Oficiales%20>

Mexicanas%20vigentes/NOM-ECOL-002.pdf. Consultado el 20/10/2007.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2007 (d). (en línea). NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Disponible en:

<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-ECOL-003.pdf>. Consultado el 20/10/2007

Serrano E., L. 1997. El Agua. Las Aguas Residuales y Su tratamiento. Editorial ERCA, S.A. de C.V., México D.F. pp. 1-20.

Serrato, S. R. 1994a. Análisis ecológicos de sitios en los bosques de pino-encino del estado de Durango. Disertación doctoral. Universidad autónoma de Chihuahua. Fac. de Zootecnia. Div. de Posgrado e investigación. Mex. 113 pp.

Tilmant, A., P. Van der Z. y P. Fortemps. 2007. Modeling and analysis of collective management of water resources. Hydrology and Earth System Sciences. pp. 711-720.

Tortolero V., A. 2000. El agua y su historia. México y sus desafíos hacia el siglo XXI. Umbrales de México. México, D.F. 168 pp.

Villalobos P., M., M. E. Gutiérrez R. y S. Castillo B. 1987. A study of the factors that influence the interference of Fe (III) in the colourimetric analysis of Cr (VI), in polluted waters. Revista internacional de contaminación ambiental (vol. 3), México, D. F. pp. 7-23.

Yang H., L. Wang., K. C. Abbaspour y A. J. B. Zehnder. 2006. Virtual water trade: an assessment of water use efficiency in the international food trade. *Hydrology and Earth System Sciences* (vol. 10). pp. 443-454.

CUADRO 4. BASE DE DATOS DEL AÑO 2006, DE LA PLANTA TRATADORA DE AGUA RESIDUAL DE LA CIUDAD DEPORTIVA, MÉXICO, UTILIZADA EN ESTE TRABAJO.

No.	TEMP. DEL AR (°C.)	CI RESIDUAL (ml/l)	SST (ml/l)	DQO (ml/l)	PH	CE (μ mohos)	O Disuelto (ml/l)
1	13,1	29,9	20,0	23,9	7,5	20,5	3,3
2	12,0	40,9	29,0	24,2	7,6	26,2	3,5
3	13,5	31,7	15,0	24,1	7,1	29,4	2,7
4	13,2	5,3	15,0	23,8	7,4	14,8	1,8
5	12,3	4,4	48,9	23,7	8,3	49,0	2,4
6	12,5	17,6	20,0	24,3	7,8	34,5	1,4
7	11,7	22,0	15,0	23,8	7,6	30,0	2,2
8	12,5	13,2	48,9	23,6	7,1	6,5	1,4
9	13,0	4,8	85,0	23,2	7,7	27,5	0,5
10	12,0	5,3	48,9	23,2	7,7	28,4	4,5
11	13,5	7,9	63,5	23,2	7,8	31,0	0,9
12	15,5	7,9	20,0	24,6	7,7	28,5	0,9
13	13,2	8,0	30,0	23,6	7,8	30,1	0,9
14	13,0	1,3	55,0	24,2	7,8	30,9	0,9
15	13,7	2,6	15,0	23,8	7,8	28,5	0,7
16	14,3	5,3	55,0	23,9	7,7	24,5	0,6
17	17,0	2,6	60,0	23,9	7,7	27,7	5,1
18	13,7	3,1	45,0	32,4	7,7	29,0	6,0
19	15,0	7,5	15,0	35,4	7,8	28,5	4,7
20	15,0	4,8	20,0	29,4	7,9	38,0	2,6
21	15,0	4,0	85,0	23,5	7,8	36,3	3,5
22	16,0	1,8	40,0	23,4	7,8	33,5	4,9
23	15,0	5,3	25,0	30,0	7,5	22,5	5,4
24	15,0	4,4	15,0	35,7	7,6	26,0	5,8
25	13,5	2,2	15,0	23,0	7,5	14,9	6,2
26	15,0	1,3	61,5	39,2	7,7	26,4	0,8
27	15,0	8,8	61,5	44,5	7,6	29,3	1,4
28	15,0	2,2	20,0	23,6	7,7	28,5	1,6
29	15,0	1,8	48,9	24,3	7,7	28,7	2,1
30	14,0	0,9	48,9	45,3	7,7	29,0	2,5
31	13,5	1,3	15,0	47,5	7,8	30,2	2,9
32	15,5	1,8	50,0	34,6	7,8	28,3	3,3
33	15,0	3,5	45,0	49,3	7,8	30,1	3,7
34	16,0	2,2	15,0	45,4	7,8	28,3	4,1
35	14,0	0,9	25,0	45,3	7,7	27,7	3,5
36	13,5	1,3	35,0	39,5	7,8	27,4	2,3
37	14,0	8,8	25,0	36,2	7,9	39,0	2,1
38	14,5	4,4	34,5	32,5	7,9	37,0	1,8
39	13,5	5,7	92,4	28,5	7,8	33,4	1,5
40	11,5	4,8	19,5	25,4	7,7	24,5	1,6
41	12,0	2,6	24,5	24,6	7,7	25,0	1,9
42	11,0	2,2	37,5	23,4	7,8	29,2	2,3
43	11,5	2,5	49,2	20,0	7,6	22,5	1,9
44	11,6	3,1	56,2	19,5	7,2	12,5	2,8
45	11,0	3,5	51,3	23,5	7,6	26,1	1,4
46	10,7	3,2	45,0	26,7	7,6	16,7	2,6
47	10,5	4,3	23,9	28,4	7,7	20,1	3,8
48	10,0	5,8	34,6	33,8	7,6	25,4	5,0
49	9,4	3,1	47,3	28,4	7,8	30,5	3,4
50	8,5	3,8	27,4	23,6	7,7	26,8	2,9