



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

**“ANÁLISIS DE POTENCIALIDAD DE REUSO
DE AGUA RESIDUAL EN EL EDIFICIO 12
DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:

ERICK IVÁN GARCÍA SANTIAGO

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. MARÍA TERESA ORTA LEDESMA



MÉXICO D.F. MARZO 27 DE 2009.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ZARAGOZA

**JEFATURA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
QUÍMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/005/09

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNO: GARCÍA SANTIAGO ERICK IVÁN
P R E S E N T E

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

PRESIDENTE	Biól. María Eugenia Ibarra Hernández
VOCAL	Dra. María Teresa Orta Ledesma
SECRETARIO	Quím. Martha Ortiz Rojas
SUPLENTE	I. Q Ana Lilia Maldonado Arellano
SUPLENTE	M. en C. Isaura Yáñez Noguez

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

México D. F., a 6 de Febrero de 2009

JEFA DE LA CARRERA


I. B. Q. HILDA OLVERA DEL VALLE



Agradecimientos.

A mis padres:

Bertha Santiago Osorio.

Guillermo García García.

Por brindarme la oportunidad y el apoyo para lograr esta meta, pero sobre todo por el cariño, ejemplo, valor y coraje que me mostraron siempre.

Para ustedes, todo mi amor y mi gratitud.

A mis hermanos:

Sonia Evelin García Santiago.

Oscar Jony García Santiago.

Por todo su cariño, confianza y apoyo que me brindaron siempre, y porque en ustedes encuentro el ejemplo de ética y constante superación.

A mi esposa e hijo:

Leticia García Trinidad.

Uriel Adair García García.

Razones suficientes para vivir y seguir adelante.

Por todo el amor, ternura, apoyo y comprensión que en éste tiempo me han brindado.

A mi abuelita y tíos:

Elsa Osorio Sánchez, Edelmiro, Zoilo, Edgar, Virginia, Balbina,

Donaldo, Armando, Guillermo y Eladio.

Gracias por brindarme su apoyo y confianza en todo momento.

A mis suegros y familia:

Luzca Trinidad Garduño.

Emilio García Hernández.

Por haberme apoyado durante los últimos años, pero sobre todo por sus valiosos consejos, y por depositar su confianza en mí para alcanzar ésta meta.

A la UNAM:

La máxima casa de estudios, por ser la institución que me brindó la oportunidad de realizar mis estudios profesionales.

Mi agradecimiento, respeto y una enorme GOYA.

A la F.E.S. Zaragoza:

Donde en cinco años de grandes experiencias y aprendizaje, tuve la oportunidad de cursar la carrera de Ingeniería Química y aprender de su mejor profesorado.

Al Instituto de Ingeniería de la UNAM:

Por haber colaborado en mi formación profesional, permitiéndome la realización de esta tesis y otorgarme una beca.

A mi director de tesis:

Dra. María Teresa Orta Ledesma.

Por su dirección, confianza y paciencia durante la elaboración de esta tesis. Mis más sinceros agradecimientos.

A mi asesor técnico:

Mtra. Isaura Yañez Noguez.

Por su tiempo, colaboración y apoyo durante las revisiones de ésta tesis.

A la:

*Dra. Ma. Nehalí Rojas Valencia y a la
Q.F.B. Ma. Guadalupe Corona García*

Por su valioso apoyo durante el análisis microbiológico de las muestras de agua.

Al:

Ing. Roberto Briones Méndez.

Por su apoyo y colaboración durante el tiempo que se trabajó con la planta de tratamiento de agua residual del edificio 12.

A mis amigos y compañeros:

*Ariadna, Abraham, Beatriz, Claudia, Daniel, Ernestina, Exal,
Fernando, Francisco, Gerardo, Germán, Guadalupe, Israel, Jazmín,
Javier, Jesús, Julio, Karen, Leonardo, Omar, Raúl, Rolando y
Wosvaldo.*

Con quienes compartí grandes momentos, tanto en la Facultad como en el Instituto, por su valiosa amistad y ayuda.

A todos, mis más sinceros agradecimientos...

Índice De Contenido.

Contenido	Páginas
Índice De Contenido - - - - -	I
Lista De Tablas - - - - -	IV
Lista De Figuras - - - - -	V
Nomenclatura - - - - -	VII
Glosario - - - - -	VIII
Título - - - - -	XIV
Resumen - - - - -	XV
Objetivos - - - - -	XVI
Hipótesis - - - - -	XVII
Introducción - - - - -	XVIII

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES.

1.1.- El agua en México y el Mundo.	
1.1.1.- El agua en el Mundo - - - - -	02
1.1.2.- El agua en México - - - - -	07
1.1.3.- El agua en la zona metropolitana del Valle de México (ZMVM) - - - - -	12
1.1.4.- El agua en el Campus Universitario - - - - -	16

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE.

2.1.- Fuentes de contaminación del agua	
2.1.1.- Contaminación de acuerdo a su origen - - - - -	19
2.1.2.- Contaminación según el tipo de contaminante - - - - -	19
2.2.- Generalidades y clasificación de aguas residuales.	
2.2.1.- Aguas residuales Biológicas - - - - -	20
2.2.2.- Aguas residuales Comerciales - - - - -	20
2.2.3.- Aguas residuales Domésticas - - - - -	21

Contenido (Continuación)	Páginas
2.2.4.- Aguas residuales Industriales -----	21
2.2.5.- Aguas residuales de origen pluvial -----	21
2.3.- Tratamiento de aguas residuales.	
2.3.1.- Generalidades -----	22
2.3.2.- Pretratamiento -----	24
2.3.3.- Tratamiento primario -----	26
2.3.4.- Tratamiento secundario -----	29
2.3.5.- Tratamiento terciario -----	39
2.3.6.- Tratamiento terciario avanzado -----	42
2.3.7.- Tratamiento de lodos -----	45
2.4.- Tratamiento de aguas residuales en Ciudad Universitaria	
2.4.1.- Red de alcantarillado en Ciudad Universitaria -----	50
2.4.2.- Tanques de homogenización de la zona de GEOS -----	51
2.4.3.- Planta de tratamiento de agua residual de cerro del agua (PTARCA) -----	52
2.4.4.- Planta de tratamiento de agua residual de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales (PTARFCPS) -----	55
2.4.5.- Plantas de tratamiento de agua residual de tipo Birreactor Anaerobio Integrado (PTAR tipo BRAIN) -----	57
2.4.6.- Planta de tratamiento de agua residual del edificio 12 del Instituto de Ingeniería (PTARE12) -----	60
2.4.7.- Red de distribución de agua tratada -----	62
2.5.- Consideraciones para muestreo de aguas residuales -----	64
2.6.- Normatividad en materia de aguas residuales en México -----	66
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.	
3.1.- Selección de agua residual a tratar -----	70
3.2.- Ubicación del edificio y la planta de tratamiento -----	70
3.3.- Selección y ubicación de los puntos de muestreo -----	71
3.4.- Equipo y material de muestreo -----	72
3.5.- Determinación del número de muestras -----	72
3.6.- Análisis de las muestras	
3.6.1.- Análisis Físico-químico de las muestras -----	74
3.6.2.- Análisis Microbiológico de las muestras -----	75

Contenido (Continuación)	Páginas
3.7.- Balance hídrico en el edificio 12 del Instituto de Ingeniería - - - - -	76
CAPÍTULO 4: RESULTADOS.	
4.1.- Caracterización del agua residual cruda (Influente)	
4.1.1.- Resultados físico-químicos - - - - -	78
4.1.2.- Resultados microbiológicos - - - - -	80
4.2.- Caracterización del agua residual tratada (Efluente)	
4.2.1.- Resultados físico-químicos - - - - -	80
4.2.2.- Resultados microbiológicos - - - - -	81
4.3.- Balance hídrico en el edificio 12 del Instituto de Ingeniería.	
4.3.1.- Resultados de las mediciones de caudales - - - - -	82
CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	
5.1.- Discusión de resultados - - - - -	84
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES.	
6.1.- Conclusiones - - - - -	99
Referencias.	
Bibliografía - - - - -	100
Cibergrafía - - - - -	103
ANEXOS	
Anexo A: Tablas	
Anexo B: Figuras	

Índice De Tablas

Nº de Tabla	Contenido	Pág.
Tabla 1-1.-	Estimación de la distribución de agua en el planeta.....	06
Tabla 1-2.-	Principales descargas de agua residual industrial en México.....	11
Tabla 1-3.-	Distribución de agua potable en la zona metropolitana del Valle de México.....	13
Tabla 1-4.-	Plantas para tratamiento de aguas residuales en el Valle de México.....	15
Tabla 1-5.-	Aportación de agua potable de los pozos de CU.....	17
Tabla 2-1.-	Procesos de tratamiento de aguas residuales y sus dispositivos.....	23
Tabla 2-2.-	Procesos biológicos de acuerdo a su disposición de oxigenación.....	29
Tabla 2-3.-	Típos de sistemas biológicos y las tecnologías utilizadas.....	30
Tabla 2-4.-	Descripción de las principales modificaciones a los lodos activados.....	34
Tabla 2-5.-	Procesos basados en microorganismos y su condición de O ₂	35
Tabla 2-6.-	Procesos basados en macroorganismos.....	37
Tabla 2-7.-	Estado actual de las plantas de tratamiento de agua residual tipo BRAIN.....	58
Tabla 2-8.-	Cisternas de almacenamiento de agua tratada	62
Tabla 2-9.-	Frecuencia de muestreo.....	64
Tabla 2-10.-	Características por parámetro de conservación.....	65
Tabla 3-1.-	Características del material de muestreo por parámetro.....	72
Tabla 3-2.-	Horarios de muestreo.....	73
Tabla 3-3.-	Método de análisis de los parámetros Físico-químicos.....	73
Tabla 3-4.-	Método de análisis de los parámetros Microbiológicos.....	75
Tabla 4-1.-	Promedios diarios del análisis físico-químico del cárcamo de bombeo.....	78
Tabla 4-2.-	Promedios diarios del análisis físico-químico de la fosa séptica.....	79
Tabla 4-3.-	Resultados de metales pesados y grasas y aceites del cárcamo de bombeo.....	79
Tabla 4-4.-	Resultados Microbiológicos del cárcamo de bombeo y fosa séptica.....	80
Tabla 4-5.-	Promedios diarios del análisis físico-químico del agua tratada.....	80
Tabla 4-6.-	Resultados de metales pesados y grasas y aceites del agua tratada.....	81
Tabla 4-7.-	Resultados Microbiológicos del agua tratada.....	81
Tabla 5-1.-	Remoción a la entrada de la planta	84
Tabla 5-2.-	Remoción a la salida de la planta	84
Tabla 5-3.-	Eficiencia de remoción en función de la DBO ₅	85

Índice De Figuras

Nº de Figura	Contenido	Pág.
Figura 1-1.-	Gráfica de distribución de agua en el planeta.....	02
Figura 1-2.-	Gráfica de distribución de agua dulce en el planeta.....	02
Figura 1-3.-	Infiltración de agua en el subsuelo.....	04
Figura 1-4.-	Diagrama de agua subterránea.....	05
Figura 1-5.-	Gráfica de distribución global de agua.....	05
Figura 1-6.-	Regiones hidrológico-administrativas.....	08
Figura 1-7.-	Gráfica de distribución porcentual de agua.....	10
Figura 2-1.-	Rejilla mecánica.....	24
Figura 2-2.-	Cribas finas.....	24
Figura 2-3.-	Desmenizador.....	24
Figura 2-4.-	Medidor de gasto.....	25
Figura 2-5.-	Desarenador.....	25
Figura 2-6.-	Tanque de homogenización.....	25
Figura 2-7.-	Tanque de preaireación.....	25
Figura 2-8.-	Distribuidor de gasto.....	26
Figura 2-9.-	Sedimentador tipo lamella.....	27
Figura 2-10.-	Sedimentador circular.....	28
Figura 2-11.-	Estanque de flotación.....	28
Figura 2-12.-	Discos biológicos rotatorios.....	31
Figura 2-13.-	Filtro biológico.....	31
Figura 2-14.-	Lagua aerobia.....	32
Figura 2-15.-	Aireador.....	33
Figura 2-16.-	Tanque de lodos activados.....	33
Figura 2-17.-	Reactores Batch Secuenciales.....	35
Figura 2-18.-	Zanjas de oxidación.....	35
Figura 2-19.-	Clorador.....	39
Figura 2-20.-	Ozonador.....	40
Figura 2-21.-	Desinfección térmica.....	40
Figura 2-22.-	Filtros de arena.....	41
Figura 2-23.-	Dispositivo de luz UV.....	41
Figura 2-24.-	Adsorción con carbón activado.....	42
Figura 2-25.-	Tanque sedimentador.....	43
Figura 2-26.-	Electrodializador.....	43
Figura 2-27.-	Intercambiador iónico.....	44
Figura 2-28.-	Equipo para microfiltración.....	44
Figura 2-29.-	Dispositivo para osmosis inversa.....	45
Figura 2-30.-	Dispositivo para la estabilización de lodos.....	46

Nº de Figura	Contenido (Continuación)	Pág.
Figura 2-31.-	Filtro prensa.....	48
Figura 2-32.-	Filtro banda.....	48
Figura 2-33.-	Filtro de bolsa.....	48
Figura 2-34.-	Decantador centrifugo.....	49
Figura 2-35.-	Diagrama del tanque de homogeneización.....	52
Figura 2-36.-	Diagrama de la PTAR de Cerro del agua	54
Figura 2-37.-	Diagrama de la PTAR de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.....	56
Figura 2-38.-	Diagramas de las PTAR tipo BRAIN.....	59
Figura 2-39.-	Diagrama de la PTAR del edificio 12 del Instituto de Ingeniería.....	61
Figura 2-40.-	Distribución de las cisternas de almacenamiento de agua tratada.....	63
Figura 3-1.-	Localización del Instituto de ingeniería.....	70
Figura 3-2.-	Localización del edificio 12.....	70
Figura 3-3.-	Ubicación de los puntos de muestreo.....	71
Figura 3-4.-	Representación esquemática del cárcamo de bombeo.....	72
Figura 3-5.-	Análisis de muestras en el laboratorio.....	73
Figura 3-6.-	Análisis físico-químico de las muestras.....	74
Figura 3-7.-	Colonias de coliformes fecales.....	75
Figura 3-8.-	Colonias de coliformes totales.....	75
Figura 3-9.-	Helmintos.....	75
Figura 5-1.-	Comparación gráfica de la DBO ₅ durante el tren de tratamiento de la planta.....	85
Figura 5-2.-	Comparación gráfica de los SST durante el tren de tratamiento de la planta.....	86
Figura 5-3.-	Comparación gráfica de la DQO durante el tren de tratamiento de la planta.....	87
Figura 5-4.-	Comparación gráfica de los SDT durante el tren de tratamiento de la planta.....	88
Figura 5-5.-	Comparación gráfica del COT durante el tren de tratamiento de la planta.....	88
Figura 5-6.-	Comparación gráfica del pH durante el tren de tratamiento de la planta.....	89
Figura 5-7.-	Comparación gráfica de la T durante el tren de tratamiento de la planta.....	90
Figura 5-8.-	Comparación gráfica de la CND durante el tren de tratamiento de la planta.....	90

Nomenclatura

Nomenclatura	Descripción	Unidades
CF =	Coliformes fecales	UFC/100ml
CT =	Coliformes totales	UFC/100ml
COT =	Carbón Orgánico Total	mg/L
CND =	Conductividad	mS/cm
DBO ₅ =	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L
DQO =	Demanda Química de Oxígeno	mg/L
R =	Remoción a la salida	g/d
R _o =	Remoción a la entrada	g/d
G y A =	Grasas y Aceites	mg/L
HHe =	Huevos de Helminto	h/100ml
NO ₃ =	Nitratos	mg/L
OD _i =	Oxígeno disuelto inicial	mg/L
OD _f =	Oxígeno disuelto al quinto día	mg/L
pH =	Potencial de hidrógeno	-
Q =	Gasto o flujo	L/s
Q _i =	Caudal medido en la descarga al momento de tomar la muestra simple.	L/s
Q _n =	Ultimo caudal medido	L/s
Q _t =	Σ Q _i hasta Q _n .	L/s
SDT =	Sólidos Disueltos Totales	mg/L
SST =	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L
SUR =	Surfactantes	mg/L
T =	Temperatura	°C
V _{TOTAL}	Volumen total del recipiente	ml
V _{MUESTRA}	Volumen de la muestra	ml
VMC =	Volumen de la muestra compuesta necesario para realizar la totalidad de los análisis de laboratorio requeridos.	Litros
VMS _i =	Volumen de cada una de las muestras simples "i".	Litros

Glosario de Términos.

Los siguientes términos fueron tomados de las normas y libros referidos en la bibliografía.

Aguas crudas: Son las aguas residuales sin tratamiento.

Aguas residuales: Las aguas de composición variada provenientes de la descarga de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Aguas residuales de proceso: Las resultantes de la producción de un bien o servicio comercializable.

Aguas residuales domésticas: Las provenientes del uso particular de las personas y del hogar.

Aguas residuales tratadas: Son aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reuso en servicios al público.

Bacterias heterotróficas: Se denominan así a todas aquellas bacterias que se alimentan de restos de desechos. Dentro de este grupo existe un enorme grupo de bacterias, pero todas ellas se caracterizan por transformar, en presencia del oxígeno los restos orgánicos de desecho en lodos. Estas bacterias no incluyen a las bacterias denominadas Nitrosomas y Nitrobacterias.

Biodegradación: Es el proceso de destrucción o mineralización de cualquier material sintético o de origen natural mediante microorganismos provenientes de los sistemas de tratamiento de suelos, agua o aguas de desecho

Características físicas y organolépticas: Son aquellas que se detectan sensorialmente. Para efectos de evaluación, sabor y olor se ponderan por medio de los sentidos y el color y la turbiedad se determina por medio de métodos analíticos de laboratorio.

Carbono orgánico total (COT): Es la cantidad de carbono contenido en aguas residuales el cual es de naturaleza orgánica, estos son sólidos que provienen de animales y plantas, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos, generalmente formados por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, en ocasiones también están combinados con nitrógeno, azufre, fosforo o hierro. El carbono puede estar presente tanto en forma orgánica o inorgánica, pero solo el carbón orgánico es de relevancia.

Cárcamo: Es la estructura hidráulica complementaria que sirve como almacenamiento provisional, para rebompear algún líquido de un nivel determinado a un nivel superior. Se emplea para el agua potable, agua tratada, drenaje sanitario y drenaje pluvial.

Cisterna: Almacenamiento subterráneo para rebompear algún líquido de un nivel determinado a un nivel superior. Se emplea para el agua potable, agua tratada, drenaje sanitario y drenaje pluvial.

Coagulación: Es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante.

Colector: Es un conducto abierto o cerrado que recibe las aportaciones de agua de otros receptores.

Coliformes: Las coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos. La presencia de bacterias coliformes en el suministro de agua es un indicio de que el suministro de agua puede estar contaminado con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo.

Coliformes fecales: Son microorganismos con una estructura parecida a la de una bacteria común que se llama *Escherichia coli*, se transmiten por medio de los excrementos, y por tanto son específicamente de origen intestinal. Actualmente se emplean como indicadores de contaminación fecal en el agua.

Coliformes totales: Comprende la totalidad del grupo de bacterias coliformes.

Condiciones particulares de descarga: El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por la Comisión Nacional del Agua para el responsable o grupo de responsables de la descarga o para un grupo receptor específico, con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas conforme a la ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

Conductividad: La conductividad de una sustancia se define como la habilidad o poder de conducir o transmitir calor, electricidad o sonido. Las unidades son Siemens por metro [S/m] en el sistema internacional y micromhos por centímetro [mmho/cm] en unidades estándar de EE.UU.

Conservador: Es una sustancia adicionada a la muestra para así poder mantener los componentes en un estado en particular.

Contaminación del agua: Es la alteración de las propiedades físicas, químicas y biológicas del estado natural del agua, en la cual, generalmente se aprecian cambios de color, olor y sabor del mismo. Como resultado de una previa utilización directa o indirecta. La utilización del agua contaminada produce efectos nocivos como daños a la salud humana y vida acuática en general.

Contaminantes básicos: Son aquellos compuestos o parámetros que pueden ser removidos o estabilizados mediante procesos convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana solo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, demanda bioquímica de oxígenos y sólidos suspendidos totales.

Contaminantes patógenos y parasitarios: Son los microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que presentan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana, solo se consideran los coliformes fecales medidos como NMP o UFC/100ml. (número más probable o unidades formadas de colonias por cada 100 mililitros) y los huevos de helminto medidos como h/L (huevos por litro).

Cuerpo receptor: Toda red colectora, río, cuenca, cauce, vaso o depósito de aguas que sean susceptibles de recibir directa o indirectamente la descarga de aguas residuales.

DBO₅: La Demanda Bioquímica de Oxígeno es una prueba empírica que se utiliza para determinar los requerimientos relativos de O₂ de las aguas residuales. Se refiere a la determinación de la degradación de sustancias principalmente orgánicas por microorganismos. Para llevar a cabo esta degradación, las bacterias toman oxígeno del medio y liberan CO₂. Para calcular la cantidad de O₂ gastado se hace mediante medidas de presión y el CO₂ formado lo eliminamos absorbiéndolo con NaOH.

Demanda actual: Es el gasto de consumo de agua potable de una población determinada en la época actual.

Demanda proyectada: Es el gasto de consumo de agua potable para una proyección futura proyectada, a un periodo determinado en las condiciones de un proyecto o de unas necesidades predeterminadas.

Descarga: Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando este es un bien del dominio público de la Nación.

Desinfección: Es la destrucción de los organismos patógenos y tiene por finalidad proteger los cuerpos receptores de aguas residuales para evitar la propagación de enfermedades. La desinfección se puede realizar mediante agentes químicos, físicos o radiación. Los agentes químicos que se han utilizado son: cloro (y sus compuestos), yodo, bromo y ozono. Para la desinfección física se tiene la filtración, el calor y la luz. Por último las radiaciones empleadas son la radiación ultravioleta y gamma.

Disolución estándar: Disolución de concentración conocida preparada a partir de un patrón primario.

Disolución madre: Corresponde a la disolución de máxima concentración en un análisis. Es a partir de esta disolución que se preparan las disoluciones de trabajo.

Disolución patrón: Disolución de concentración conocida preparada a partir de un patrón primario.

DQO: Es una medida del O₂ equivalente a la cantidad de materia orgánica contenida en una muestra que es susceptible de oxidarse en presencia de un oxidante químico fuerte.

Edificio verde: Un edificio verde es una tendencia ambiental para reducir el impacto global del entorno, este tipo de edificio considera aspectos como el ahorro energético y de agua, la calidad del aire, iluminación interior natural, reciclaje de materiales, selección de desechos y la reducción de costos de operación.

Efluente: Término empleado para nombrar a las aguas servidas con desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son emitidos por viviendas y/o industrias, generalmente a los cursos de agua; o que se incorporan a estas por el escurrimiento de terrenos causado por las lluvias.

Entidad pública: Los gobiernos de los estados, del Distrito Federal, y de los municipios por sí solos o a través de sus organismos públicos que administren el agua.

Escherichia coli: Es una bacteria que se encuentra normalmente en el intestino del hombre y en el de otros animales, y por tanto está presente en aguas residuales.

Filtración: Remoción de partículas suspendidas en el agua, haciéndola fluir a través de un medio filtrante de porosidad adecuada.

Floculación: Es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microflóculos y después en los flóculos más grandes que pueden ser depositados.

Grasas y aceites: Son los compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como de hidrocarburos del petróleo que son extraídos de la muestra utilizando hexano como disolvente.

Huevos de helminto: El término “helminto” se utiliza en referencia a una variedad de gusanos que parasitan el intestino del ser humano, por tanto, los huevos de helminto son larvas depositadas por estos gusanos.

Cuando este parásito o sus huevos se incorporan a un cuerpo, se incuban en los pulmones, hígado, piel o el intestino, donde viven de los alimentos del cuerpo. Los helmintos más comunes son solitarias y ascárides. El más grandes de los ascárides se extienden en longitud a partir del 6 a 14 pulgadas. Sin embargo la solitaria puede medir 25 pies o más

Influyente: Término empleado para nombrar a las aguas residuales crudas que entran a un sistema de tratamiento.

Instantáneo: Es el valor que resulta del análisis de laboratorio a una muestra de agua residual tomada de manera aleatoria o al azar en la descarga.

Inóculo: Es una suspensión de microorganismos vivos que se han adaptado para reproducirse en un medio específico.

Límite máximo permisible: Valor o rango asignado a un parámetro que no debe ser excedido por el responsable del suministro de agua residual tratada.

Límite permisible: Concentración o contenido máximo o intervalo de valores de un componente que garantiza que el agua será agradable a los sentidos y no causará efectos nocivos a la salud del consumidor.

Medición: Conjunto de operaciones que tiene por objeto determinar el valor de una magnitud.

Medio aerobio: Es aquel en el cual se desarrollan microorganismos en presencia de oxígeno molecular.

Medio anaerobio: Es aquel en el cual se desarrollan microorganismos en ausencia de oxígeno molecular.

Mensurando: Magnitud particular sujeta a medición.

Metales pesados: Son aquellos elementos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua, la mayoría de ellos son tóxicos para los seres humanos. Tienen aplicación directa en numerosos procesos de producción de bienes y servicios. Los más importantes son: mercurio, plomo, cadmio, arsénico, cobre, cromo, níquel y zinc. De los cuales los primeros cuatro representan mayor peligro.

Método: Proceso o camino sistemático establecido para realizar una tarea o trabajo con el fin de alcanzar un objetivo predeterminado.

Muestra compuesta: La que resulta de mezclar un número de muestras simples. Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.

Muestra simple: La que se tome en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento de muestreo.

Muestreo: Acción de obtener volúmenes, porciones, cantidades, biomasa representativas de un sitio determinado, para evaluar sus características físicas, químicas y biológicas.

Muestreo directo: El recipiente adecuado sumergido en el caudal, directo del tubo de descarga.

Muestreo indirecto: Recolectarse en una cubeta u otro contenedor e inmediatamente trasvasada al recipiente adecuado (no para el caso de sustancias volátiles, grasas y aceites).

Norma: Ordenamiento imperativo de acción que persigue un fin determinado con la característica de ser rígido en su aplicación. Regla, disposición o criterio que establece una autoridad para regular acciones y procedimientos que se deben seguir para la realización de las tareas asignadas. Generalmente la norma conlleva una estructura de sanciones para quienes no la observen.

Parámetro: Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad del agua.

pH: La medida del pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes, utilizadas en el análisis químico del agua. Prácticamente todas las fases del tratamiento del agua para suministro y residual, como la neutralización ácido-base, suavizado, precipitado coagulación, desinfección y control de la corrosión, dependen del pH. El pH se utiliza en las determinaciones de alcalinidad y dióxido de carbono y en muchos otros equilibrios ácido-base. A una temperatura determinada, la intensidad del carácter ácido ó básico de una solución viene dada por la actividad del ion hidrógeno o pH. La alcalinidad y acidez son las capacidades neutralizantes de ácidos bases de un agua, y normalmente se expresan como miligramos CaCO_3 por litro.

Sorenson definió el pH como: $-\log [\text{H}^+]$; es el factor de "intensidad" o acidez.

En fase acuosa se define como el logaritmo negativo de la actividad del ion hidronio (protón hidratado, H^+): $\text{pH} = -\log a_{\text{H}^+}$.

Precisión: Es el grado de concordancia entre resultados analíticos individuales cuando el procedimiento analítico se aplica repetidamente a diferentes alícuotas o porciones de una muestra homogénea.

Pretratamiento: Proceso con el cual se busca acondicionar el agua residual para facilitar los tratamientos físico-químicos y biológicos, y preservar la instalación de erosiones y taponamientos. Incluye equipos tales como rejillas, tamices, desarenadores y desengrasadores.

Promedio diario (P.D): Es el valor que resulta del análisis de una muestra compuesta, tomada en un día representativo del proceso generador de la descarga.

Promedio mensual (P.M.): Es el valor que resulta del promedio de los resultados de los análisis practicados a por lo menos dos muestras simples en un mes.

Para los coliformes fecales es la media geométrica; y para los huevos de helminto, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, metales pesados, cianuros, grasas y aceites, es la media aritmética.

Punto de descarga: Es el sitio seleccionado para la toma de muestras, en el que se garantiza que fluye la totalidad de las aguas residuales de la descarga.

Repetibilidad: Es el grado de concordancia obtenido entre determinaciones independientes realizadas bajo las mismas condiciones operativas (analista, tiempo, equipo, laboratorio, reactivo, etc.)

Reproducibilidad: Proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones del mismo mensurando realizadas bajo condiciones variables de medición.

Reuso en servicios al público con contacto directo: Es el que se destina a actividades donde el público usuario este expuesto directamente o en contacto físico. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana

se consideran los siguientes reusos: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.

Reuso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional: Es el que se destina a actividades donde el público en general este expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reusos: riego de jardines y camellones en autopistas; camellones en avenidas; fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendios, lagos artificiales no receptivos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones.

Sedimentación: Fenómeno por medio del cual, las partículas sólidas suspendidas contenidas en la muestra líquida se asientan debido a la fuerza de la gravedad.

Sólidos sedimentables: Materiales que se detectan en el fondo de un recipiente debido a la sedimentación de estos.

Sistema de abastecimiento: Conjunto intercomunicado o interconectado de fuentes, obra de captación, plantas cloradoras, plantas potabilizadoras, tanques de almacenamiento y regulación de cárcamos de bombeo, líneas de conducción y red de distribución.

Tanque de regulación: Los tanques de regulación son depósitos que se localizan a la entrada de la planta, su objetivo principal es almacenar el agua del efluente durante los tiempos de retención que requiere la planta, también transforma un régimen de aportaciones (de la conducción) que normalmente es constante en un régimen de consumos o demandas (de la distribución) que normalmente es variable durante los tiempos que tarda el proceso de tratamiento del agua, además regulan el flujo y la concentración de la misma.

Tratamiento de aguas: Es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales, llamadas, en el caso de las urbanas, aguas negras.

Trazabilidad: Propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón por la cual pueda ser relacionado a referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas las incertidumbres determinadas.

Válvula: Las válvulas son dispositivos mecánicos que son empleados para detener, iniciar o controlar las características del flujo en tuberías a presión. Pueden ser accionadas manualmente o por medios automáticos. Las válvulas se dividen en dos grupos: de seccionamiento y de control.

ANÁLISIS DE POTENCIALIDAD DE REUSO DE AGUA RESIDUAL EN EL EDIFICIO 12 DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM.

Edificio 12, Instituto de Ingeniería de la UNAM.
Erick Iván García Santiago.
Diciembre de 2008.



Resumen

El propósito de este trabajo es realizar un análisis de la potencialidad del reuso de agua residual generada en el edificio 12 del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Actualmente México y el mundo sufren uno de los problemas más graves de la humanidad “la escases de agua para consumo humano”, es por eso que desde hace tiempo surgió la necesidad de tratar y reutilizar el agua residual, disminuyendo así la cantidad de agua potable requerida.

El Instituto de Ingeniería y en especial el edificio 12 se abastecen de agua potable proveniente de los pozos de extracción ubicados en Ciudad Universitaria. Esta es utilizada y posteriormente enviada como agua residual a una planta de tratamiento ubicada atrás del mismo edificio. Esta planta es de tipo paquete con un sistema de tratamiento de lodos activados, su capacidad de diseño es de 0.05 L/s, operando actualmente con un gasto de 0.025 L/s. El agua tratada en la planta es enviada a la red de drenaje de Ciudad Universitaria.

Se realizó la determinación de la calidad del agua tratada en la planta del edificio 12 del Instituto de Ingeniería, mediante un programa de muestreo que consideró muestras representativas del influente y efluente de la planta. Los análisis de laboratorio que se realizaron fueron de parámetros Físico-químicos y microbiológicos, los resultados obtenidos fueron comparados con los límites permisibles establecidos en las normas mexicanas para reuso de agua.

Se determinó que el agua residual que se trata en ésta planta de tratamiento aún no es apta para su reuso, ya que no cumple con la calidad necesaria para este fin.

Objetivos.

1.- OBJETIVO GENERAL:

Realizar un estudio de factibilidad técnica y económica de la implementación de reuso de agua residual generada en el edificio 12 del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Ciudad Universitaria.

2.- OBJETIVOS PARTICULARES:

- Realizar un balance general del gasto total de agua en el edificio 12, considerando el agua potable que se abastece y el agua residual que se somete a tratamiento.
- Establecer un programa de muestreo para obtener muestras representativas del agua residual generada en el edificio 12 del Instituto de Ingeniería de la UNAM.
- Monitorear la calidad del agua residual mediante el análisis en el laboratorio de dichas muestras.
- Llevar un registro de los parámetros de interés para establecer un historial de la calidad del agua residual generada.
- Analizar la eficiencia del sistema instalado para el tratamiento del agua residual que se genera en este edificio, con la finalidad de reusar la misma en sanitarios de dicho edificio.
- Realizar una estimación del costo de tratamiento del agua tratada en términos de costo/Litro, para el reuso en los sanitarios.

Hipótesis de Trabajo.

*S*i el efluente de la planta de tratamiento del edificio 12 cumple con los requerimientos de la calidad de agua establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997, puede ser reutilizada en los servicios de los sanitarios como una opción para el ahorro de agua de calidad potable en términos de preservación del recurso.

Introducción.

Nuestro medio ambiente y la vida en general dependen de un recurso natural no renovable como es el agua; el volumen de agua dulce disponible en el mundo representa apenas el 3% de la cantidad total que forma la hidrósfera. La demanda de este preciado líquido disminuye de manera drástica las reservas naturales, además de que la contaminación por desechos industriales y domésticos alteran su composición provocando un problema ecológico cada vez más grave.

Las aguas residuales que fueron alguna vez potables se contaminaron con diferentes impurezas como resultado de su uso, por tanto requieren ser reutilizadas y esto se logra mediante diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales, que son por esencia la herramienta principal utilizada dentro de las acciones para controlar la contaminación del agua, a través de ellos se mejora su calidad y se protege el equilibrio de los cuerpos receptores de agua y la salud pública.

Actualmente, la Ciudad de México sufre uno de los más grandes problemas que atemorizan al planeta en general, la escasez y la calidad no constante del agua potable para consumo humano.

Acorde con la situación del País y considerando el agua como un recurso prioritario, el Consejo Universitario de la UNAM ha considerado imperativo adoptar medidas concretas para lograr el uso y manejo eficiente del agua en todos sus Campus, no sólo ante los problemas asociados al crecimiento constante de sus instalaciones, sino también como ejemplo de hacer uso del conocimiento universitario en la solución de los problemas nacionales prioritarios. Fue por ello que, por mandato del propio Consejo Universitario, el Instituto de Ingeniería inició el megaproyecto “Programa de Manejo, Uso y Reuso del Agua en la UNAM”.

Actualmente la Universidad se abastece de 3 pozos de agua potable localizados en el campus, uno de ellos es el pozo de la facultad de Química, otro es el pozo del Multifamiliar, y el último pozo es el del Vivero Alto, juntos proporcionan un gasto de 167 L/s.

Por otro lado, solo una parte del agua residual generada en el campus universitario es tratada en las 29 plantas de tratamiento de agua residual existentes. La más grande es la planta de tratamiento del Cerro del Agua con una capacidad de diseño de 40 L/s, seguida por la planta de la Facultad de Ciencias Políticas con capacidad de 7.5 L/s, posteriormente la planta del edificio 12 del Instituto de ingeniería con una capacidad de 0.05 L/s, por ultimo hay 26 miniplantas tipo BRAIN con una capacidad total de 2 L/s.

Lo anterior suma un total de 49.55 L/s, pero las plantas solo operan aproximadamente al 60% de su capacidad, lo que representa aproximadamente el 38% del total de aguas residuales generadas.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES.

EL AGUA EN MÉXICO Y EL MUNDO.



1.1.- EL AGUA EN MÉXICO Y EL MUNDO.

1.1.1.- EL AGUA EN EL MUNDO.

Entre los problemas del medio ambiente que amenazan a la humanidad en el siglo XXI, la escasez de agua dulce ocupa el primer lugar de la lista.

Se estima que del total de agua existente en el planeta el 97% es agua salada y solo el 3% es agua dulce (ver figura 1-1), y este 3% se encuentra distribuido en casquetes polares, agua subterránea, superficial y atmosférica (ver figura 1-2).

Las Naciones Unidas declararon que 2,700 millones de personas sufrirían una severa escasez de agua hacia el año 2025 si el consumo se mantiene en los niveles actuales. Hoy día, aproximadamente 1,200 millones de personas beben agua no potable y cerca de 2,500 millones carecen de sanitarios o de sistemas de drenaje (www.imacmexico.org/ev_es.php?ID=16643_208&ID2=DO_TOPIC#).

Más de cinco millones de personas mueren cada año de enfermedades vinculadas con el agua, como cólera y disentería.

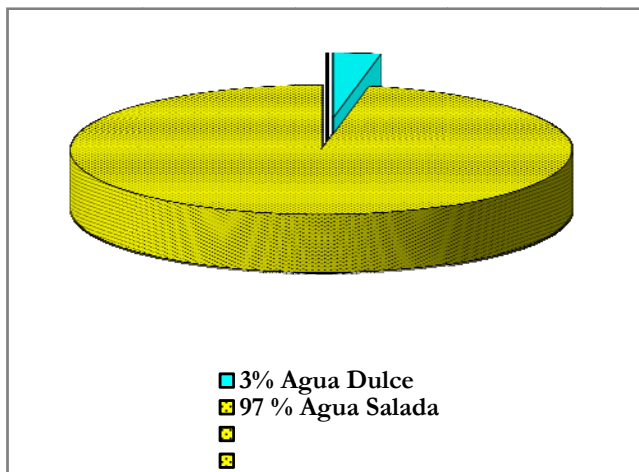


Figura 1-1.- Gráfica de distribución del agua en el planeta.

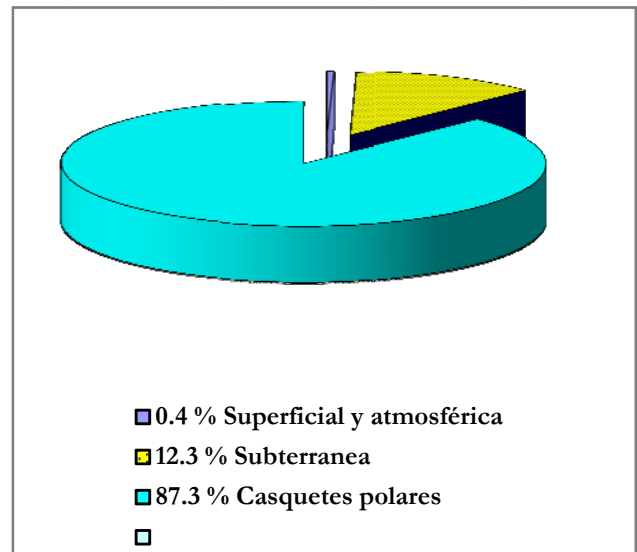


Fig. 1-2.- Gráfica de distribución de agua dulce en el planeta

EL AGUA EN LOS OCÉANOS.

La cantidad de agua que es "almacenada" en los océanos por largos períodos de tiempo, es mucho mayor a la que actualmente se encuentra en movimiento en el ciclo del agua. Se estima que, de los 1.386.000.000 kilómetros cúbicos (332.500.000 millas cúbicas) que hay de agua en la Tierra, alrededor de 1.338.000.000 kilómetros cúbicos (321.000.000 millas cúbicas) son almacenados en los océanos. Esto es, alrededor de un 96.5%. También se estima, que los océanos proveen de un 90% del agua que se evapora hacia la atmósfera (www.invdes.com.mx/antecedentes/Marzo2000/htm/cna82.html).

ALMACENAMIENTO DE AGUA EN LA ATMÓSFERA.

Es el agua almacenada en la atmósfera como vapor, en forma de humedad y nubes. Si bien la atmósfera no es un importante almacenador de agua, es una vía rápida que el agua utiliza para moverse por el globo terráqueo. Siempre hay agua en la atmósfera. Las nubes son la forma más visible del agua en la atmósfera, pero incluso el aire limpio contiene partículas de agua que son muy pequeñas como para ser visibles. El volumen de agua en la atmósfera en cualquier momento es alrededor de 12,900 kilómetros cúbicos (3,100 millas cúbicas). Si toda el agua de la atmósfera cayera como lluvia al mismo tiempo, cubriría la superficie terrestre con una capa de agua de 2.5 cm de espesor.

EL AGUA ALMACENADA EN LOS HIELOS Y LA NIEVE.

El agua dulce es almacenada en forma congelada, generalmente en los glaciares, campos de hielo y campos de nieve. Esta agua almacenada por largos períodos de tiempo en el hielo, la nieve o los glaciares, también forma parte del ciclo del agua. La mayor parte de la masa de hielo de la Tierra, alrededor del 90%, se encuentra en la Antártida, mientras que el 10% restante se encuentra en Groenlandia. La capa de hielo de Groenlandia es una interesante parte del ciclo del agua. La capa de hielo presenta un grosor promedio de 1,500 metros (14,000 pies), pero puede tener hasta 4,300 metros de grosor (14,000 pies). El hielo es tan pesado, que la tierra que está por debajo ha sido presionada hasta adquirir una forma curva (Gleick, 1996).

ALMACENAMIENTO DE AGUA DULCE.

Una parte del ciclo del agua que obviamente es esencial para la vida en la Tierra, es el agua dulce superficial. El agua superficial incluye los arroyos, estanques, lagos, reservorios (lagos creados por el hombre), y humedales de agua dulce.

La cantidad de agua en los ríos y lagos está permanentemente cambiando, debido a las entradas y salidas del agua al sistema. El agua que entra proviene de las precipitaciones, de la escorrentía superficial, del agua subterránea que se filtra hacia la superficie, y de los ríos tributarios. La pérdida de agua de los lagos y ríos se debe a la evaporación y a la descarga hacia aguas subterráneas. La cantidad y localización del agua superficial varía en el tiempo y el espacio, ya sea por causas naturales o debido a la acción del hombre (CONAGUA, Estadísticas del agua en México, 2008).

El agua superficial realmente mantiene la vida. Además el agua subterránea existe debido al descenso del agua superficial hacia los acuíferos subterráneos. El agua dulce es relativamente escasa en la superficie de la Tierra. Únicamente un 3% del agua de la Tierra es agua dulce y, los lagos y estanques de agua dulce constituyen un 0,29% del agua dulce de la Tierra. El 20% de toda el agua dulce se encuentra en

un único lago, este es el Lago Baikal en Asia. Otro 20%, es almacenado en los Grandes Lagos (Hurón, Michigan y Superior). Los ríos contienen únicamente un 0.006% de todas las reservas de agua dulce.

INFILTRACIÓN.

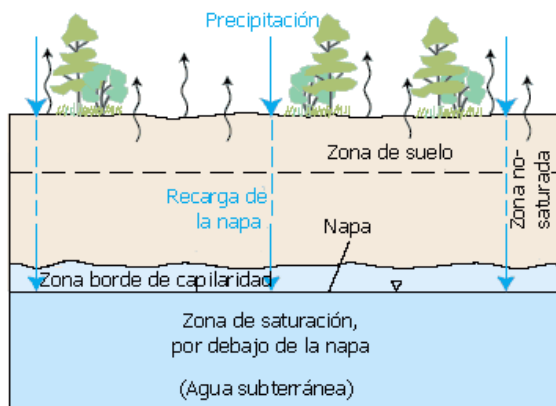
Es el movimiento descendente del agua desde la superficie de la tierra hacia el suelo o las rocas porosas.

En cualquier parte del mundo, una porción del agua que cae como precipitación y nieve se infiltra hacia el suelo subsuperficial y hacia las rocas. La cantidad infiltrada depende de un gran número de factores. La infiltración de la precipitación que cae sobre la capa de hielo en Groenlandia, puede ser muy pequeña, mientras que un arroyo puede transformarse directamente en agua subterránea, desapareciendo dentro de una cueva.

Parte del agua que se infiltra, permanece en las capas más superficiales del suelo y puede volver a entrar a un curso de agua debido a que se filtra hacia el mismo. Otra parte del agua puede infiltrarse a mayor profundidad, recargando así los acuíferos subterráneos. Si los acuíferos son lo suficientemente porosos y poco profundos como para permitir que el agua se mueva libremente a través de ellos, el hombre puede realizar perforaciones en el suelo y utilizar el agua para satisfacer sus necesidades. El agua puede viajar largas distancias, o permanecer por largos períodos como agua subterránea antes de retornar a la superficie, o filtrarse hacia otros cuerpos de agua, como arroyos o océanos.

AGUA SUBSUPERFICIAL.

A medida que el agua se infiltra en el suelo subsuperficial, generalmente forma una zona no-saturada y otra saturada (ver figura 1-3). En la zona de no-saturación, hay algo de agua presente en las



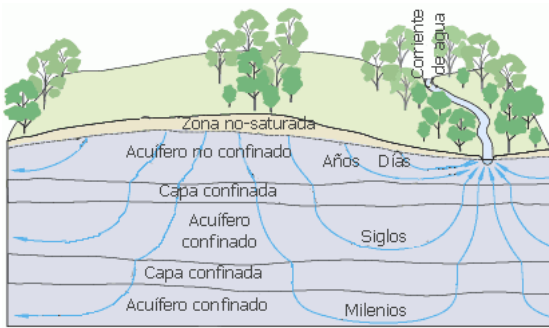
aperturas del material subsuperficial, pero el suelo no se encuentra saturado. La parte superior de la zona no-saturada es la zona del suelo. La zona del suelo presenta espacios creados por las raíces de las plantas que permite que la precipitación se infiltre dentro del suelo. El agua del suelo es utilizada por las plantas. Por debajo de la zona no-saturada, se encuentra una zona saturada, donde el agua ocupa por completo los espacios que se encuentran entre las partículas del suelo y las rocas. Las personas pueden realizar perforaciones para extraer el agua que se encuentra en esta zona (www.agua.org.mx).

Figura 1-3.- Infiltración de agua en el subsuelo.

DESCARGA DE AGUA SUBTERRÁNEA.

Todos los días, vemos el agua a nuestro alrededor en lagos, ríos, hielo, lluvia y nieve. Pero también hay una gran cantidad de agua que no vemos, el agua que existe y se mueve dentro del suelo. El agua subterránea es, en muchos casos, el principal contribuyente de los cursos de agua. Las personas han utilizado el agua subterránea por cientos de años y lo continúan haciendo hasta el día de hoy,

principalmente para beber y para riego. La vida en la Tierra depende del agua subterránea como también depende del agua superficial.



Una porción de la precipitación que cae sobre la tierra, se infiltra en el suelo y pasa a formar parte del agua subterránea. Una vez en el suelo, parte de esta agua se mueve cerca de la superficie de la tierra y emerge rápidamente siendo descargada en los lechos de las corrientes de agua, pero debido a la gravedad, una gran parte de ésta continúa moviéndose hacia zonas más profundas (www.agua.org.mx).

Figura 1-4.- Diagrama de agua subterránea.

Como muestra este diagrama, la dirección y velocidad del movimiento del agua subterránea están determinadas por varias características del acuífero y de las capas confinadas del suelo (donde el agua tiene dificultad en penetrar). El movimiento del agua por debajo de la superficie depende de la permeabilidad (que tan fácil o difícil es el movimiento del agua) y de la porosidad (la cantidad de espacio abierto en el material) de la roca subsuperficial. Si la roca permite que el agua se mueva de una forma relativamente libre dentro de ella, el agua puede moverse distancias significativas en un corto período de tiempo. Pero el agua también puede moverse hacia acuíferos más profundos, desde donde demorará años en volver a ser parte del ambiente.

DISTRIBUCIÓN GLOBAL DEL AGUA

Para una descripción detallada de donde se encuentra el agua de la Tierra, observemos el gráfico de la figura 1-5 y la tabla 1-1. Observemos que, del total de agua de la Tierra, 1,386 millones de kilómetros cúbicos (332.5 millones de millas cúbicas), alrededor de un 96.5%, es agua salada. Del agua dulce total, un 68% está confinada en los glaciares y la nieve. Un 30% del agua dulce está en el suelo. Las fuentes superficiales de agua dulce, como lagos y ríos, solamente corresponden a unos 93,100 kilómetros cúbicos (22,300 millas cúbicas), lo que representa un 1/150 del uno por ciento del total del agua. A pesar de esto, los ríos y lagos son la principal fuente de agua que la población usa a diario (Gleick, 1996).

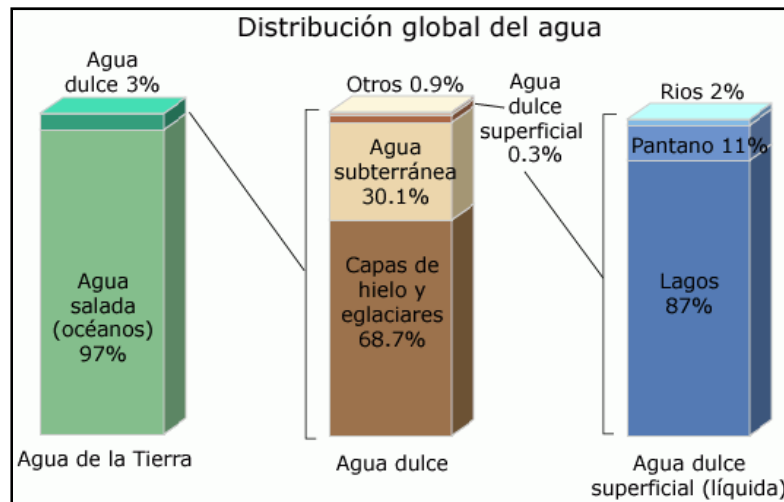


Figura 1-5.- Gráficas de distribución global de agua (Gleick, 1996).

Tabla 1-1.- Estimación de la distribución del agua en el planeta:

Fuente de agua	Volumen de agua (m ³)	Volumen de agua (millas ³)	% de agua dulce	% total de agua
Océanos, Mares y Bahías	1,338,000,000	321,000,000	--	96.5
Capas de hielo, Glaciares y Nieves Perpetuas	24,064,000	5,773,000	68.7	1.74
Agua subterránea	23,400,000	5,614,000	--	1.7
Dulce	10,530,000	2,526,000	30.1	0.76
Salada	12,870,000	3,088,000	--	0.94
Humedad del suelo	16,500	3,959	0.05	0.001
Hielo en el suelo y gelisuelo (permafrost)	300,000	71,970	0.86	0.022
Lagos	176,400	42,320	--	0.013
Dulce	91,000	21,830	0.26	0.007
Salada	85,400	20,490	--	0.006
Atmósfera	12,900	3,095	0.04	0.001
Agua de pantano	11,470	2,752	0.03	0.0008
Ríos	2,120	509	0.006	0.0002
Agua biológica	1,120	269	0.003	0.0001
Total	1,386,000,000	332,500,000	-	100

Fuentes: Gleick, 1996, y www.imacmexico.org/ev_es.php?ID=16643_208&ID2=DO_TOPIC#

1.1.2.- EL AGUA EN MÉXICO.

El agua dulce es uno de los recursos más escasos en el planeta a lo que debemos agregarle, para el caso mexicano, una distribución geográfica muy desigual. Resulta paradójico que 76% de la población mexicana, así como las dos terceras partes de la industria manufacturera y las tierras destinadas a la agricultura y ganadería se ubiquen en una zona donde el agua es más escasa. En México, la disponibilidad del vital líquido no sólo varía espacial sino también temporalmente, ya que el 90% de la descarga pluvial tiene lugar durante los 4 a 6 meses que dura la estación de lluvias y cuya variación ha aumentado a lo largo de los años.

Por ser el agua un elemento esencial para la vida y un factor clave para el desarrollo económico del país, su manejo y preservación han sido identificados como asuntos estratégicos y de seguridad nacional: “Crecimiento económico sostenido, reducción de la brecha social, protección a los más necesitados, conservación y restauración del patrimonio agua y bosques, son sólo algunos aspectos que hacen de los recursos hidráulicos parte central de la seguridad nacional” (CONAGUA, Estadísticas del agua en México, 2007).

ASPECTOS GEOGRÁFICOS Y DEMOGRÁFICOS DE MÉXICO.

En México abarca una extensión territorial de 1,964,375 km², de los cuales 1,959,248 km² son superficie continental y 5,127 km² son superficie insular. A este territorio debe añadirse la zona económica exclusiva de mar territorial, que abarca 3,149,920 km², por lo que la superficie total del país es de 5,114,295 km².

El país se encuentra ubicado entre los meridianos 118°42' y 86°42' de longitud oeste y entre las latitudes 14°32' y 32°43' norte, precisamente en las mismas latitudes que los desiertos de Sahara y Árabe. Por las características del relieve del país, se puede encontrar una gran variedad de climas. Dos terceras partes del territorio nacional se consideran áridas o semiáridas, mientras que el sureste es húmedo, con precipitaciones de más de 2 000 mm por año en algunas zonas. Cabe aclarar que el 63% de la población del país habita en cotas superiores a los 1 000 metros sobre el nivel del mar.

México está integrado por 31 estados y un Distrito Federal, constituidos por 2439 municipios y 16 delegaciones del D.F. respectivamente.

De 1950 a 2005, la población del país se cuadruplicó, y pasó de ser predominantemente rural (57.4%) a principalmente urbana (76.5%). Al mismo tiempo la tasa de crecimiento media anual disminuyó significativamente. La mayor tasa se presentó en el periodo 1960-1970 (3.40%), para después decrecer hasta llegar a un valor de 1.02% en el periodo 2000- 2005 (Programa Nacional Hídrico 2007-2012, INEGI, y CONAGUA, Anuario de Estadísticas por Entidad Federativa 2007).

RECURSOS HIDROLÓGICOS DE MÉXICO (Cuencas y acuíferos del país)

En el ciclo hidrológico, una proporción importante de la precipitación pluvial regresa a la atmósfera en forma de evapotranspiración, mientras que el resto escurre por los ríos y arroyos del país delimitados por las cuencas hidrográficas o bien se infiltra en los acuíferos del país.

La unidad básica para el manejo del agua es la cuenca hidrológica, en la cual se considera la forma en la que escurre el agua en la superficie (cuencas hidrográficas) y en el subsuelo (acuíferos), las 718 cuencas hidrográficas en las que está dividido el país se encuentran agrupadas en 37 regiones hidrológicas, que a su vez están agrupadas en las 13 regiones hidrológico-administrativas en las que se divide el país para fines de administración del agua (CONAGUA, Estadísticas del agua en México, 2008).

Por otro lado, en lo que se refiere a las aguas subterráneas, el país está dividido en 653 acuíferos o unidades hidrogeológicas,

Dado que las cuencas hidrológicas son las unidades básicas de gestión de los recursos hídricos, el país se ha dividido en 13 regiones hidrológico-administrativas con el fin de organizar la administración y preservación de las aguas nacionales (ver figura 1-6). Las regiones hidrológico-administrativas están formadas por agrupaciones de cuencas, respetando los límites municipales para facilitar la integración de la información socioeconómica (CONAGUA, Estadísticas del agua en México, 2007).

Los recursos hidrológicos son de vital importancia para el desarrollo socioeconómico de México. Sin embargo, la gran diversidad fisiográfica y climática del país hacen que el agua no esté distribuida regularmente en el país.

Anualmente México recibe 1.51 billones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación, de esta agua, el 72.5% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 25.6% escurre por los ríos o arroyos y el 1.9% restante se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos, de tal forma que anualmente el país cuenta con 465 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable, a lo que se denomina disponibilidad natural media.

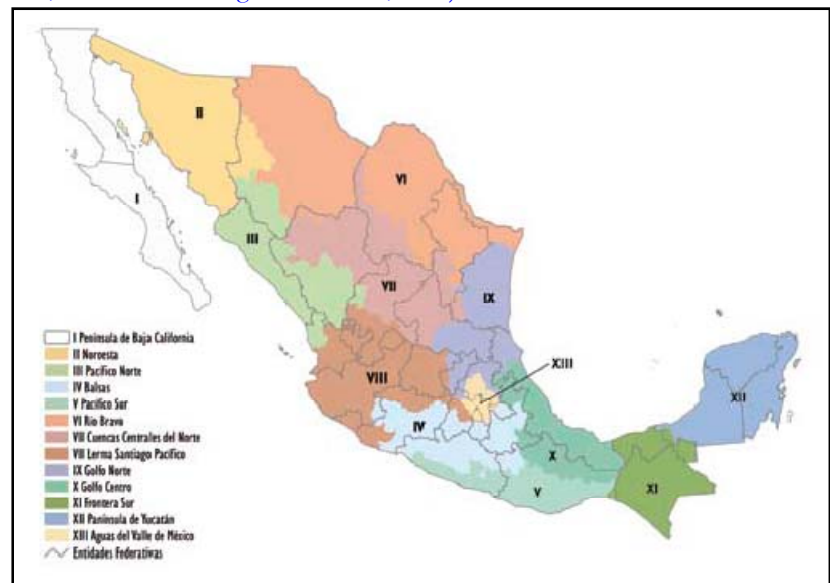


Figura 1-6.- Regiones Hidrológico-Administrativas

La precipitación ocurre en dos ciclos anuales, el más importante tiene lugar de mayo a noviembre y concentra el 80% de las lluvias, debido a que en ésta temporada aparece el mayor número de huracanes y tormentas tropicales; el segundo ciclo ocurre de noviembre a abril y obedece a invasión de masas de aire polar (“nortes”) que afectan gran parte del territorio nacional (CONAGUA, Estadísticas del agua en México, 2008).

La gran diversidad orográfica del país tiene gran influencia en la precipitación, en especial las sierras Madre Occidental y Oriental sobre el altiplano. La mayor parte de las lluvias provenientes de los océanos chocan con las serranías y caen en las vertientes, mientras que en el altiplano y la mesa central del país sólo descargan las que sobrepasan los macizos montañosos.

En gran medida, la distribución orográfica y climática origina que la mayor parte del territorio sea de zonas semiáridas y tenga una gran variedad de ecosistemas. Se considera que el 50% del escurrimiento anual total se concentra en los ríos más caudalosos ubicados en el sureste del país, y cuya región hidrológica comprende sólo el 20% de la superficie total del territorio. Se considera que el volumen medio anual de los ríos en México es de 360 millones de m³. Cerca del 60% de este caudal lo aportan siete ríos que drenan el 27% del territorio, lo que indica una distribución desequilibrada. (CONAGUA, Estadísticas del agua en México, 2008 y www.unesco.org/water/wwap/facts_figures/index.shtml)

Es un problema grave la distribución del agua debido a que el 80% de los recursos hídricos se encuentran por debajo de los 500 m sobre el nivel del mar y a un nivel mayor se encuentra asentada más del 70% de la población total y se desarrolla el 80 % de la actividad industrial. El 55% de la actividad industrial se encuentra en el Valle de México a más de 2000 m de altitud lo que genera graves problemas de abastecimiento de agua.

El agua subterránea es otra fuente importante de este recurso, sobre todo en aquellas regiones donde no existen escurrimientos superficiales considerables. Se ha estimado en 17,406 millones de m³ el promedio de la recarga anual y en 16,395 millones de m³ de extracción, así como en 110,350 millones de m³ el volumen total de almacenamiento.

Para aprovechar este recurso el país cuenta con un sistema de obras hidráulicas para almacenamiento de 125,000 millones de m³ y en lagos y lagunas 14,000 millones de m³ que en total corresponde al 34% del escurrimiento anual. Se estima que se pierde por evaporación 9,300 millones de m³ anuales en los cuerpos de almacenamiento del país.

De la capacidad total de almacenamiento de agua en presas, el 33% se utiliza para riego principalmente en las regiones semiáridas del norte y el 37% se usa en la generación de energía eléctrica, principalmente en el sur del país; y el resto para otros usos.

Del almacenamiento total de agua en presas, el 95% se hace en 59 presas con una capacidad superior a los 100 millones de m³ y el 5% se hace en 1 250 presas distribuidas en todo el país.

A partir de la década de los setenta, ha venido aumentando sustancialmente el número de acuíferos sobreexplotados, 32 en 1975, 36 en 1981, 80 en 1985, 97 en 2001, 102 en 2003, 104 en 2006, 112 en 2007 y se estima que para finales de 2008 serán alrededor de 150. De éstos se extrae casi el 60% del agua subterránea para todos los usos (CONAGUA, Estadísticas del agua en México, 2008 y Programa Nacional Hídrico 2007-2012).

La disponibilidad natural media per cápita, que resulta de dividir el valor nacional entre el número de habitantes, ha disminuido de 18 035 m³/hab/año en 1950 a tan solo 4 416 en el 2006.

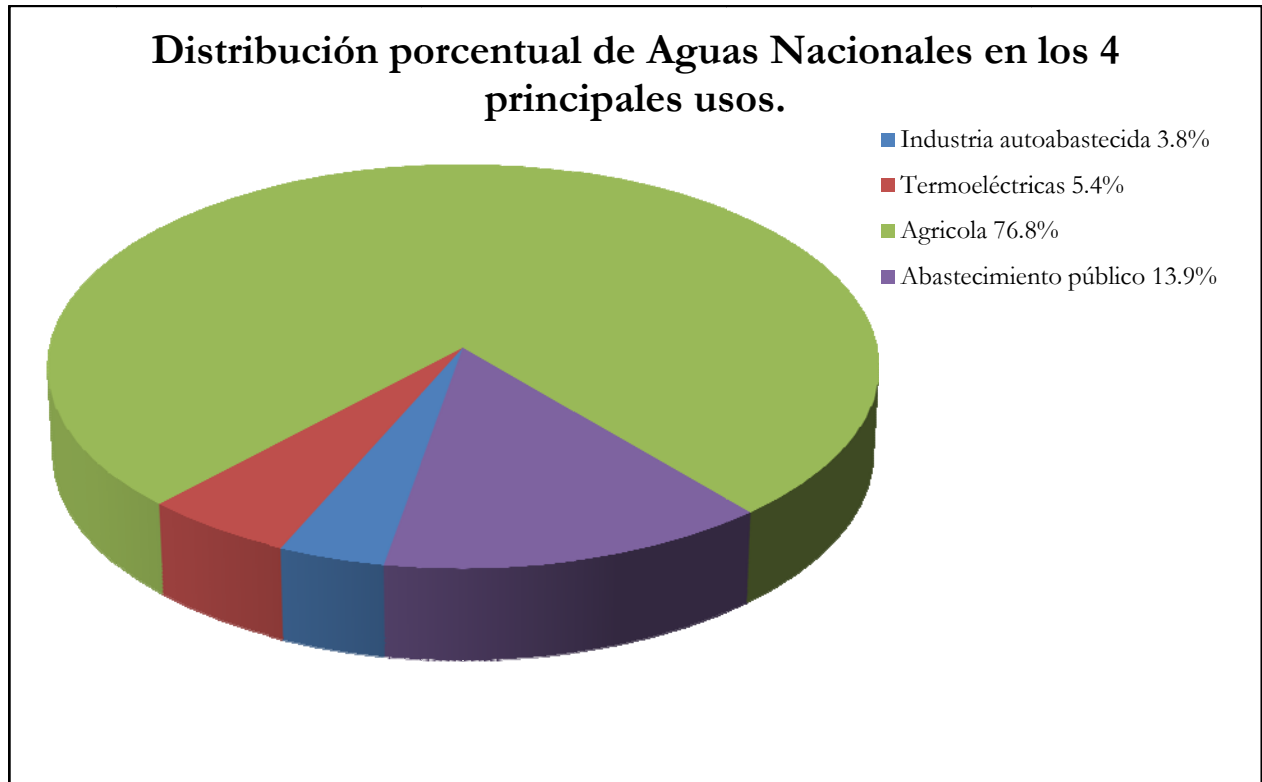


Figura 1-7.- Gráfica de distribución porcentual de agua.

Fuente: CONAGUA, Estadísticas del agua en México, 2008.

CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN MÉXICO.

En México, como en muchos países del mundo, las principales fuentes de contaminación del agua se clasifican en tres grupos, de acuerdo con su procedencia.

Sector social. Corresponde a las descargas de residuos de origen doméstico y público que constituyen las aguas residuales municipales. Está relacionado con la cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado, se incrementa en los grandes asentamientos urbanos. El 60% de la población mexicana está concentrada en las grandes ciudades. Se calcula que el 57% de las aguas residuales son generadas por la población, principalmente por las zonas localizadas en torno a las ciudades de México (23%), Monterrey (4.1%) y Guadalajara (4%). Se estima que sólo el 50% de la población dispone de sistema de alcantarillado (CONAGUA, Estadísticas del agua en México, 2008 y Programa Nacional Hídrico 2007-2012).

Sector industrial. Integrado por las descargas generadas de las actividades de extracción y transformación de recursos naturales usados como bienes de consumo y satisfactores para la población. Se calcula que la industria genera el 43% de las aguas residuales. En la tabla 1-2 se mencionan las principales descargas de agua residual de origen industrial en México durante el año 2004.

Sector agropecuario. Constituido por los efluentes de las instalaciones dedicadas a la crianza y engorda de ganado mayor y menor, y por las aguas de retorno de los campos agrícolas. Se calcula que la superficie agrícola de riego y temporal es de 28 millones de hectáreas, que se usan 92 500 millones de m³ de agua y se consume el 82% de ella por lo que la generación de aguas residuales es del 12% (11 100 millones de m³). Las aguas de retorno agrícola son una fuente de contaminación importante cuyo impacto se manifiesta en el alto porcentaje de cuerpos de agua que se encuentran en condiciones de eutroficación (CONAGUA, Estadísticas del agua en México, 2008).

Tabla 1-2.- Principales descargas de aguas residuales Industriales en México, 2004.

Tipo de Industria	Descargas de Aguas Residuales (m ³ /s)
Acuacultura	67.6
Azúcar	45.9
Petrolera	11.4
Servicios	10.3
Química	6.9
Celulosa y papel	5.5
Agropecuaria	3.2
Alimenticia	3.0
Cerveza y malta	1.6
Minera	0.8
Textil	0.7
Destilería y Vitivinicultura	0.4
Beneficio de café	0.3
Curtiduría	0.1
Otros giros	12.9

Fuentes: CONAGUA, Inventario nacional de descargas de aguas residuales 2007 y CONAGUA, Estadísticas del agua en México, 2008.

A principios de 2007 México contaba con 1,594 plantas de tratamiento de agua municipal con una capacidad instalada de 99.7 m³/s. y una capacidad de operación de 74.9 m³/s. (ver tabla A-8 de anexos) y 1,868 plantas de tratamiento de agua industrial, con una capacidad instalada de 42.2 m³/s. y una capacidad de operación de 27.6 m³/s.

Se estima que en México sólo se tiene capacidad instalada para tratar el **33.7 %** del total de agua residual generada, y el 50 % del agua tratada es para reuso en riego (CONAGUA, Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación, 2007).

1.1.3.- EL AGUA EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO (ZMVM).

La zona metropolitana del valle de México (ZMVM) constituye una cuenca endorreica ubicada en la parte central del cinturón volcánico Transmexicano, y ocupa un área aproximada de 9,000 km² a una altura promedio de 2,400 m. sobre el nivel del mar. (Del Castillo, 1998)

RECOLECCIÓN DE AGUA PARA LA ZMVM.

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua, México cuenta con 654 acuíferos, de los cuales 112 estaban sobreexplotados en 2007, aunque esta cifra podría aumentar a 150 para finales de 2008.

El agua para la ZMVM se obtiene de tres fuentes principales:

- ✓ Mantos acuíferos con 71%
- ✓ Río Lerma y Cutzamala con 26.5%
- ✓ Río Magdalena con el 25%

Los acuíferos son la principal fuente de abastecimiento de agua en la zona Metropolitana de la Ciudad de México; el suelo de esta zona es de tipo volcánico formando mantos acuíferos. La lluvia desempeña un papel importante en la recarga de los mantos ya que, al escurrir por la superficie del suelo se infiltra directamente en el subsuelo hasta llegar a los acuíferos.

Actualmente el volumen de agua que extraemos de los acuíferos es mayor que la que se recupera naturalmente por la lluvia, cada segundo se extrae del subsuelo 45 metros cúbicos y sólo se reponen 25 metros cúbicos. En consecuencia se compacta el suelo y propicia el hundimiento de 10 centímetros por año, aunque en ciertos lugares como Xochimilco, Tláhuac, Ecatepec, Nezahualcóyotl y Chalco el suelo se ha compactado hasta 40 centímetros en tan solo un año; por ello el agua que se extrae contiene cada vez mayor cantidad de minerales, que la hacen de menor calidad. Registros estadísticos muestran hundimientos anuales de 15 a 25 cm alrededor del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

El agua del Río Lerma y Cutzamala recorre de 60 a 154 kilómetros de distancia a una altura de 1,000 metros antes de llegar a la ciudad, por lo que requiere de 102 plantas de bombeo.

La mayoría de las fuentes de abastecimiento están ubicadas al poniente, al norte y al sur de la Ciudad, lo cual provoca que exista una distribución irregular del agua y ocasiona que el oriente de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México sufra escasez del líquido (CONAGUA, Estadísticas del agua en México, 2008).

DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LA ZMVM.

La distribución de agua en la ZMVM está formada por una red principal y una red secundaria. La red principal de tubería está formada por 690 kilómetros de longitud con tubos que miden de 0.5 y 1.73 metros de diámetro (CONAGUA, Gaceta de administración del agua, 2008).

La red secundaria de más de 10 000 kilómetros de tubería, con diámetro inferior 0.5 metros y cuenta con 243 tanques de almacenamiento con una capacidad de 1' 500, 000 metros cúbicos con 227

plantas de bombeo que aumentan la presión en la red para así poder dotar de agua a los habitantes de las zonas altas, como el Ajusco, Contreras o la Sierra de Santa Catarina.

La necesidad de traer agua desde cuencas fuera de la ZMVM obedeció en gran parte al hundimiento de la ciudad de México, ocasionado por los primeros impactos de la extracción de agua del subsuelo. El intenso crecimiento de la población a partir de los años cincuenta hizo evidente que las fuentes subterráneas no serían suficientes para abastecer la demanda de miles de nuevos habitantes metropolitanos.

El agua se transporta dentro del Distrito Federal por medio de 514 km. de acueductos y líneas de conducción hacia 297 tanques de almacenamiento, los cuales llegan a las tomas de los usuarios, por medio de 910 km. de red primaria y 11 mil 900 km. de redes de distribución.

De esta forma se suministran a los habitantes de esta ciudad los 35 mil litros de agua potable por segundo en promedio, además existen 33 plantas potabilizadoras y alrededor de 400 dispositivos de cloración, y es monitoreada por el Laboratorio Central de la Calidad del Agua, para garantizar su potabilidad (CONAGUA, Agua potable, alcantarillado y saneamiento 2007).

En la ZMVM, se dan básicamente tres usos al agua: el 67% se destina al sector doméstico, el 17% se utiliza en las industrias y el 16% se utiliza en escuelas, hospitales y oficinas, en la tabla 1-3 se describe más a detalle el uso que se le da al agua en la ZMVM (CONAGUA, Estadísticas del agua en México, 2008).

Y el consumo mínimo de agua en la ZMVM, por clases sociales se dan de la siguiente manera: en algunos asentamientos ilegales; es alrededor de 28 litros por habitante. Mientras que la estimación de consumo promedio en las zonas de sectores medios es entre 275 a 410 litros por habitante al día y en los sectores de máximos ingresos entre 800 y 1000.

Para disminuir la problemática del abastecimiento del agua en la Ciudad de México es recomendable incrementar el uso del agua residual tratada en aplicaciones que no ameriten el grado de potabilidad como son: riego de áreas verdes, reposición de niveles de canales y lagos recreativos, así como el enfriamiento industrial (CONAGUA, Programa Nacional Hídrico 2007-2012).

Tabla 1-3.- Distribución de agua potable en la Zona Metropolitana del Valle de México.

Uso	Flujo (m ³ /año)	Porcentaje (%)
Agrícola	487,620.0	0.01
Doméstico	662,587.0	0.13
Industrial	49,419,918.0	9.75
Público urbano	448,499,667.0	88.40
Pecuario	125,197.0	0.02
Recreativo	1,401,382.0	0.28
Comercial o servicios	6,540,413.0	1.30
Generación de electricidad	227,976.0	0.05
Total	507,364,760.0	100.00

Fuente: CONAGUA, agua potable, alcantarillado y saneamiento 2007

CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LA ZMVM.

El agua sucia que se genera del uso doméstico, de industrias, escuelas y hospitales se vierte en el Río Tula, de ahí pasa al Río Pánuco y finalmente desemboca en el Golfo de México. Es por eso que la contaminación que nosotros generamos afecta directamente a varios estados de la República Mexicana: San Luis Potosí, Hidalgo, Tamaulipas y a las aguas del Golfo de México. De esta manera estamos ensuciando las fuentes de abastecimiento de otras poblaciones ya que contaminamos el líquido con que ellos riegan sus cultivos y, en consecuencia, tanto ellos como nosotros ingerimos a menudo frutas y verduras contaminadas por nuestros propios desechos (CONAGUA, *Gaceta de administración del agua*, 2008).

Cuando los pozos de extracción o los tanques de almacenamiento de agua potable están sucios, las sustancias tóxicas se filtran al subsuelo y poco a poco comienzan a contaminar los mantos acuíferos; de ahí que la calidad del agua se pueda modificar antes de que lleguen a la población para su consumo, aunque la contaminación también puede ser debido al tratamiento deficiente de las plantas potabilizadoras, la contaminación que puede ocurrir en depósitos domiciliarios (cisternas o tinacos) o la contaminación por metales ocasionados por la corrosión de los sistemas de tuberías de la red de distribución y la domiciliaria (CONAGUA, *agua potable, alcantarillado y saneamiento* 2007).

También los compuestos han alterado la calidad del agua de los mantos acuíferos, pero los más comunes son los solventes industriales, como el benceno y los combustibles como la gasolina y sus derivados. Los contaminantes se pueden clasificar en dos tipos; a) biológicos como las bacterias, los virus y las algas; y b) químicos que pueden ser orgánicos e inorgánicos. En los orgánicos se encuentran los compuestos como los detergentes, solventes y plaguicidas; los inorgánicos como los metales pesados.

En la ZMVM, existen 31 plantas municipales para el tratamiento de agua residual (ver tabla 1-4), su objetivo es rehabilitar esta agua para reusarlas posteriormente. Solamente el 7% de las aguas residuales totales de la ZMVM llegan a las plantas de tratamiento, y de ésta el 83% de las aguas de reuso se destinan a la irrigación de áreas verdes y a actividades recreativas, el 10% se utiliza en las industrias, el 5% para el riego agrícola y el 2% para usos comerciales (lavado de autos, etc.). En el Estado de México la mayor parte se reusa en las industrias (CONAGUA, *Programa Nacional Hídrico 2007-2012 y Gaceta de administración del agua*, 2008).

PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA ZMVM.

Tabla 1-4.- Plantas para tratamiento de agua residual existentes en la ZMVM (D.F.)

Localidad	Planta	Proceso	Capacidad Instalada (L/s)	Capacidad de operación (L/s)
Azcapotzalco	U.H. el Rosario	Lodos Activados	25.0	20.0
Coyoacán (C.U.)	Cerro del agua	L. A., Biodiscos y F.R.	60.0	50.0
Coyoacán (C.U.)	Facultad de Ciencias P. y S.	Bio-película Susp.	7.5	2.0
Coyoacán	Coyoacán	Lodos Activados	400.0	250.0
Cuauhtemoc	U.H. Nonoalco Tlatelolco	Lodos Activados	22.0	18.0
Gustavo A. Madero	Acueducto de Guadalupe	Lodos Activados	85.0	76.0
Gustavo A. Madero	San Juan de Aragón	Lodos Activados	500.0	250.0
Iztacalco	Cd. Deportiva	Lodos Activados	230.0	130.0
Iztacalco	U.H. Picos Iztacalco	Lodos Activados	13.0	10.0
Iztapalapa	Cerro de la estrella	Lodos Activados	4,000.0	2,100.0
Iztapalapa	Santa Catarina	Terciario	20.0	18.0
Iztapalapa	Santa Martha Acatitla	Lodos Activados	14.0	8.0
Miguel Hidalgo	Bosques de las lomas	Lodos Activados	55.0	25.0
Miguel Hidalgo	Campo militar No. 1-A	Lodos Activados	30.0	25.0
Miguel Hidalgo	Lomas de Chapultepec	Lodos Activados	160.0	110.0
Milpa Alta	San Pedro Actopan	Lodos Activados	60.0	35.0
Milpa Alta	Villa Milpa Alta Rastro	RAFA	30.0	25.0
Tláhuac	San Andrés Mixquic	Primario Avanzado	30.0	30.0
Tláhuac	Paraje el Llano	Lodos Activados	250.0	80.0
Tláhuac	San Juan Ixtayopan	Lodos Activados	30.0	13.0
Tláhuac	San Juan Ixtayopan (La Lupita)	Lodos Activados	15.0	14.0
Tláhuac	San Nicolás Tetelco	Lodos Activados	30.0	15.0
Tláhuac	Tetelco	Primario Avanzado	15.0	3.0
Tláhuac	San Lorenzo	Lodos Activados	255.0	55.0
Tlalpan	H. Colegio Militar	Lodos Activados	20.0	26.0
Tlalpan	Parres	Lodos Activados	8.0	1.0
Tlalpan	Abasolo	Lodos Activados	15.0	7.0
Tlalpan	San miguel Xicalco	Lodos Activados	8.0	4.0
Tlalpan	U. H. Pemex picacho	Lodos Activados	13.0	9.0
Xochimilco	Reclusorio sur	Lodos Activados	30.0	19.0
Xochimilco	San Luis Tlaxialtemalco	Lodos Activados	150.0	99.0
Total	31		6,550.0	3,527.0

Nota: Solo se están contabilizando las plantas de tratamiento con una capacidad mayor a 1 L/s.

Fuente: CONAGUA, Inventario Nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación, 2007.

1.1.4.- EL AGUA EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO.

UBICACIÓN DEL CAMPUS

El Campus Universitario de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se localiza en la parte suroeste de la Zona Metropolitana del Valle de México (zona del Pedregal en el D.F.) a una altura de 2278 m sobre el nivel del mar, cuenta con una extensión de 740 hectáreas y 270 hectáreas de construcción en 360 edificios, hasta el año 2007 ([Anuario estadístico de la UNAM, 2008](#)).

La zona del Pedregal en el Distrito Federal, es una de la principales zonas de recarga del acuífero de la Ciudad de México. Sus características geológicas (pedregal de roca basáltica), hacen muy difícil y costoso la introducción de redes de drenaje, por lo que la descarga de aguas residuales, cuando no se cuentan con sistemas de tratamiento y/o disposición adecuados, se realiza por medio de infiltración al terreno a través de grietas. Por otra parte, el abastecimiento de agua potable en el Campus Universitario depende, en su totalidad, de la extracción del acuífero del Valle de México, del cual se obtiene un gasto de 163 L/s. En el Campus se generan 112 L/s. de aguas residuales, de los cuales, aproximadamente el 36 % recibe tratamiento ([Dirección General de Obras y Conservación del Campus Universitario, 2008](#)).

CAPTACIÓN Y ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.

El abastecimiento de agua potable a la Ciudad Universitaria depende básicamente de 3 pozos profundos:

El pozo No. 1 se localiza en la Facultad de Química. Tiene una profundidad de 132 metros, la potencia de su bomba es de 85 HP y proporciona un gasto de 31 L/s. Su antigüedad data de 1952.

El pozo No. 2 se localiza en el interior de la explanada de la planta incineradora de basura. Tiene una profundidad de 193 metros y la potencia de su bomba es de 200 HP, proporcionando un gasto de 91 L/s. Su antigüedad data de los años 60's.

El pozo No. 3 está ubicado en el Vivero Alto. Tiene una profundidad de 157 metros y la potencia de su bomba es de 150 HP, proporcionando un gasto de 45 L/s. Su antigüedad también es de los años 60's. Pero, en 1983 se tuvo que reubicar ([Dirección General de Obras y Conservación del Campus Universitario, 2008](#)).

POTABILIZACIÓN

Cada pozo cuenta con un equipo para potabilizar el agua a base de cloro gas, excepto el pozo de la Facultad de Química, que es a base de hipoclorito de sodio.

CONSUMO DE AGUA

El requerimiento de agua por parte de la Ciudad Universitaria es variable. Dependiendo de la época del año, el gasto que se suministra va desde 80 L/s durante la temporada de lluvias, hasta 180 L/s durante la época de estiaje, mostrándose una tendencia de incremento, de acuerdo con el crecimiento de la población universitaria. La tabla 1-5 presenta la aportación de agua extraída de los pozos durante el 3er trimestre del 2007.

Tabla 1-5.- Aportación de Agua potable de los pozos de CU, durante el tercer trimestre de 2007.

Pozo	Julio	Agosto	Septiembre
No. 1	44,769 m ³	80,567 m ³	64,455 m ³
No. 2	39,745 m ³	132,990 m ³	50,501 m ³
No. 3	43,014 m ³	132,575 m ³	51,499 m ³
Total Mensual	127,438 m³	346,132 m³	166,455 m³

Fuente: Dirección General de Obras y Conservación del Campus Universitario, 2008.

ALMACENAMIENTO

El almacenamiento del agua potable proveniente de la extracción de los pozos profundos se efectúa en los siguientes sitios:

Tanque Bajo.- Es la estación de bombeo localizada al sur del Estadio Olímpico Universitario, donde se almacena el agua extraída, principalmente, de los pozos Nos. 1 y 2. Cuenta con una capacidad de 2,000 m³.

Tanque Alto.- Se ubica al lado suroeste del Estadio Olímpico Universitario. Tiene una capacidad de almacenamiento de 4,000 m³. Este tanque tiene a su vez la función de regulación del sistema de distribución.

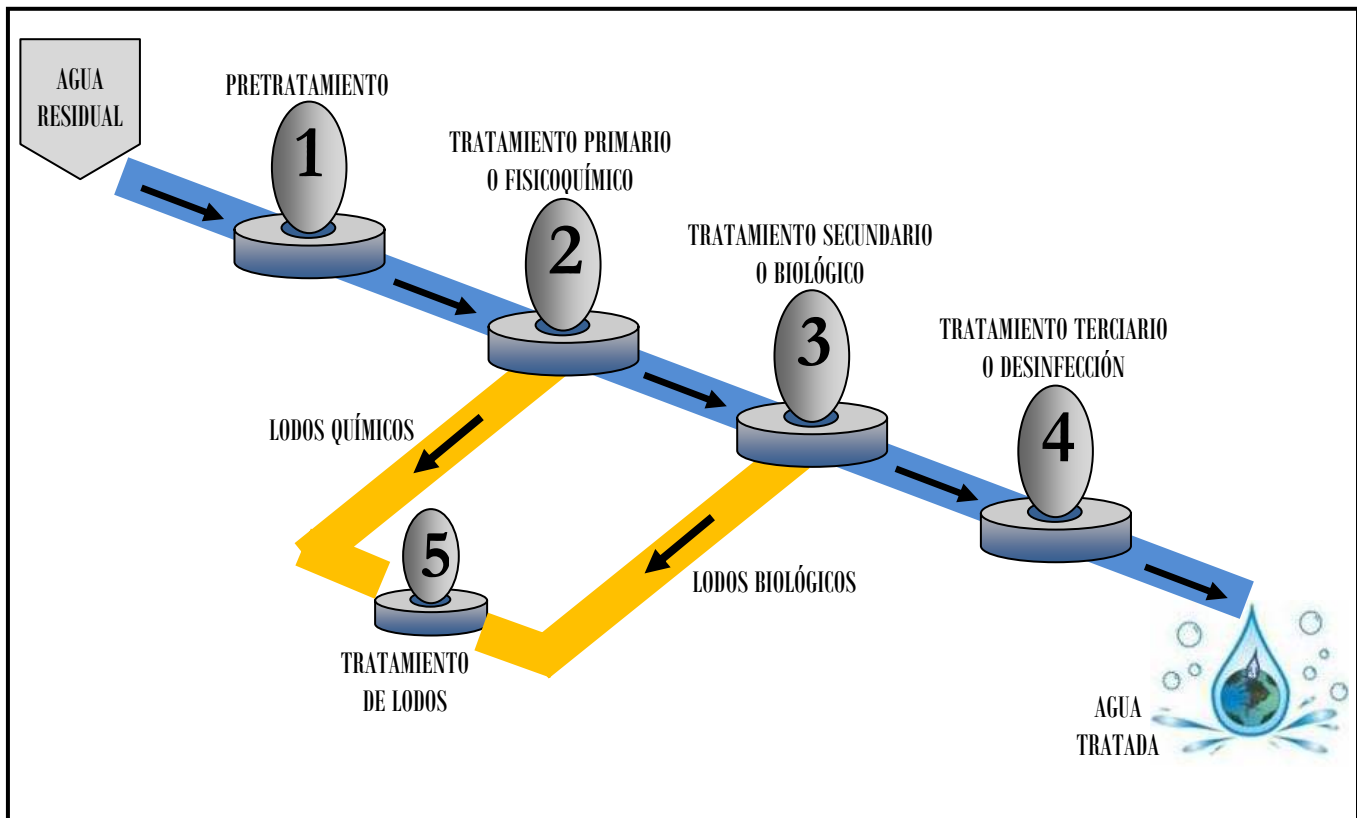
Tanques del Vivero Alto.- Se encuentran ubicados en el extremo suroeste de la Ciudad Universitaria, en la colindancia con el Colegio de Ciencias y Humanidades Sur. Tienen una capacidad global de almacenamiento de 6,000 m³.

DISTRIBUCIÓN

La red general de distribución de agua potable tiene una longitud aproximada de 50 km, en diámetros que van de 12 a 4 pulgadas en los circuitos primarios. Tiene una antigüedad promedio de 52 años en las tuberías principales.

La tubería es de diferentes materiales, la mayor parte es de acero al carbón, teniéndose también de PVC, asbesto-cemento y extrupack (Dirección General de Obras y Conservación del Campus Universitario, 2008).

CAPITULO 2: ESTADO DEL ARTE.



2.1.- FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA.

La contaminación del agua es la alteración de las propiedades físicas, químicas y biológicas del estado natural del agua, en la cual, generalmente se aprecian cambios de color, olor y sabor del mismo. Como resultado de una previa utilización directa o indirecta. La utilización del agua contaminada produce efectos nocivos como daños a la salud humana y vida acuática en general.

Hay diversas formas de clasificar las fuentes de contaminación del agua, una de ellas es de acuerdo a su origen y tipo de contaminación.

2.1.1.- CONTAMINACIÓN DE ACUERDO A SU ORIGEN.

Contaminación de origen natural: Es la emisión de sustancias extrañas que de manera natural contaminan aguas superficiales. Algunos ejemplos de este tipo de contaminación son: erupciones volcánicas, erosión hídrica y eólica, yacimientos subterráneos de sustancias tóxicas, entre otras.

Contaminación de origen Antropogénico: Éste tipo de contaminación es el resultado del uso directo e indirecto de las actividades humanas en general. Como por ejemplo: por uso en la industria, en el hogar, en hospitales, oficinas, etc (Metcalf & Eddy, 1997).

2.1.2.- CLASIFICACIÓN SEGÚN SU TIPO DE CONTAMINACIÓN.

Biológica: También conocida como contaminación microbiológica, es causada por la presencia de microorganismos que afectan la salud humana, son producidas por desechos procedentes de tratamientos biológicos de aguas, así como de aguas contaminadas con bacterias, virus, y otros organismos vertidos generalmente en los hospitales.

Orgánica: Este tipo de contaminación es el resultado por descargas de compuestos orgánicos a los cuerpos de agua, los cuales son utilizados por algunos microorganismos para la síntesis de nuevos compuestos. Generalmente este tipo de contaminación es vertida por descargas de tipo sanitario e industrial (alimentarias y de celulosa).

Inorgánica: Esta es causada por sustancias químicas, pueden ser originadas por el hombre o naturalmente. El aumento de nutrientes (comúnmente sulfatos y fosfatos) provocados por la erosión y las distancias recorridas por los ríos, impacta principalmente en los lagos, causando eutroficación. Este proceso se ve acelerado por los residuos generados por las actividades humanas.

Térmica: La contaminación de tipo térmica es generada por descargas provenientes en procesos de enfriamiento, generalmente en plantas generadoras de energía eléctrica. Este tipo de contaminación ocasiona alteraciones en la densidad y concentración de oxígeno del agua.

Tóxica: Esta contaminación es ocasionada por la presencia de metales pesados, aniones y compuestos orgánicos tóxicos que causan la muerte de los organismos aun en concentraciones pequeñas (Leyva, 1998 y Romero, 2005).

2.2.- GENERALIDADES Y CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Generalidades.

Toda comunidad genera residuos líquidos y sólidos. En cuanto a la parte líquida, su contaminación se ve reflejada en las aguas residuales, las cuales son producidas después de haber usado el agua potable para diversos usos, ya sean directos o indirectos al contacto humano. En forma general, las aguas residuales son aquellas aguas de composición variada provenientes de la descarga de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Clasificación de las aguas residuales.

La clasificación del agua residual se hace con respecto a la fuente generadora de la misma, es decir, va a depender del uso que se le haya dado al agua, ya que de este depende la composición, concentración y características de la misma, así como el tratamiento al que será sometida.

El agua pluvial por su origen no se considera como agua residual, sin embargo debido a su gran carga de contaminantes si se está considerando como agua residual, además de que en la mayoría de los casos es mezclada con el agua residual en la red de drenaje, ya que en nuestro país el sistema de drenaje no incluye a ambos (Ron Crites, 2000 y Metcalf & Eddy, 1997).

2.2.1.- Aguas residuales Biológicas.

Este tipo de aguas se caracterizan por presentar concentraciones altas de microorganismos muy peligrosos para la salud, algunos de ellos son bacterias, virus, compuestos químicos (ácidos), sustancias volátiles, entre otros, los cuales se generan en Hospitales, Laboratorios clínicos, Laboratorios de investigación, laboratorios Químicos y biológicos.

Estas aguas son muy peligrosas, se debe tener cuidado al transportar y tratar debido a que contiene sustancias muy volátiles y virus que se pueden propagar fácilmente, por tanto un descuido o mal manejo puede ocasionar graves problemas de salud (Water Environment Federation, 1994).

2.2.2.- Aguas residuales Comerciales.

Las aguas residuales de origen comercial son generadas por establecimientos como: Aeropuertos, Almacenes, Centros comerciales, Estaciones de servicio, Bares, Hoteles, Lavanderías, Moteles, Oficinas y Restaurantes. La caracterización del agua residual es muy similar al agua residual doméstica.

2.2.3.- AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.

Llamadas también como aguas grises y/o aguas negras. Es el agua procedente de residencias instalaciones comerciales, públicas y similares. Los contaminantes y/o desechos contenidos en este tipo de agua residual son muy importantes en lo que se refiere a la salud pública ya que pueden contener organismos dañinos al hombre, por lo que su tratamiento y disposición constituye el principal problema de acondicionamiento de las aguas residuales.

La composición de esta agua generalmente es de residuos orgánicos (residuos de comida, heces fecales), detergentes (todo tipo de jabones), algunos productos químicos como Cl_2 .

Se calcula que el 57 % de las aguas residuales son generadas por la población en general, así mismo se estima que sólo el 50% de la población dispone de sistema de alcantarillado (Romero, 2005).

2.2.4.- AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.

Agua residual en la que predominan los productos de desecho provenientes de los procesos industriales. El volumen y las características de esta agua varían mucho, dependiendo del tipo de industria.

Estas aguas están integradas por las descargas generadas en las actividades de extracción y transformación de recursos naturales usados como bienes de consumo y satisfactores para la población. Se calcula que la industria genera el 43 % de las aguas residuales.

En México, el sector industrial se clasifica en 39 grupos, de acuerdo a los índices de extracción, consumo y contaminación, que generan el 82 % del total de aguas residuales de la industria (Metcalf & Eddy, 1997).

2.2.5.- AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN PLUVIAL.

Es el agua resultante del escurrimiento superficial de las lluvias; se incluyen las que provienen de nieve y granizo. Su volumen varía según la intensidad de precipitación, la topografía, las superficies pavimentadas y techadas. Estos escurrimientos pueden ser colectados separadamente de la demás agua residual y su costo de tratamiento sería mucho menor, sin embargo en la mayoría de los casos no se cuenta con la infraestructura hidráulica necesaria para separarla y termina siendo mezclada con las aguas residuales en los sistemas de alcantarillado.

2.3.- TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

2.3.1.- GENERALIDADES.

El desarrollo industrial y el crecimiento poblacional han implicado un severo impacto ambiental, una de sus tantas expresiones es la contaminación del agua. Debido al uso del agua en las distintas actividades humanas el agua es contaminada de forma directa o indirecta, sumando a esto el incremento de la población que a su vez provoca el aumento en los caudales de aguas residuales, pero sobre todo la creciente demanda de agua potable y que cada vez es más difícil su abastecimiento. Hay que recordar que el agua potable indispensable para la supervivencia de la vida en el planeta es cada vez menor y con un mayor costo de obtención (www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm).

En algunos países se utilizan aguas residuales sin tratar en actividades agrícolas, generalmente como aguas para riego; esta práctica trae ciertos beneficios como la incorporación de nutrientes al suelo, sin embargo acarrea consigo problemas de contaminación con metales pesados como cadmio, cobre, cromo, níquel, plomo y zinc, que son altamente tóxicos para las plantas como para el ser humano; la integración y acumulación de sales solubles provoca alteraciones en el crecimiento de las raíces, lo que lleva en la mayoría de los casos a la pérdida total o parcial de los cultivos; además se incrementa el riesgo en la dispersión de enfermedades como fiebre, cólera, tifoidea, salmonelosis, hepatitis infecciosa, poliomielitis, disentería y otras enfermedades parasitarias producidas por microorganismos presentes en aguas contaminadas microbiológicamente.

Es por todo lo anterior que se hace indispensable el tratamiento de las aguas residuales, con lo cual se eliminan los riesgos de contaminación de suelos, propagación de enfermedades, pero sobre todo es posible su reuso sin riesgo alguno, abatiendo así el grave problema de escases de agua por el que ya está pasando la humanidad.

En la actualidad se han desarrollado diversos métodos tecnológicos para abatir el problema de escasez de agua. Estas tecnologías han sido basadas en procesos físicos, químicos y biológicos, los cuales pueden ser combinados en las distintas etapas del tratamiento de esta agua, ver tabla 2-1 (Ron Crites, 2000 y www.Lenntech/Water-&Luchtbehandeling).

Tabla 2-1.- Procesos en el tratamiento de aguas residuales y sus diversos dispositivos.

Etapa	Proceso de tratamiento	Dispositivos
1.-	Pretratamiento	Rejas y cribas de barras Cribas finas Desmenuzadores Medidores de gasto Desarenadores Tanques de homogeneización y regulación de caudales Tanques de preaireación Distribuidor de gasto
2.-	Tratamiento Primario	Fosa séptica Tanque de doble acción o tanque Imhoff Tanque de sedimentación primaria Flotación Tanque de precipitación química Tanque de floculación Mezcladores.
3.-	Tratamiento secundario	Lodos activados Laguna aireada Estanque de estabilización Laguna de oxidación Reactor de lechos ascendente Digestor Filtro percolador Discos biológicos rotatorios (Biodiscos) Filtro sumergido Lecho fluidificado Filtro de goteo Reactor anaerobio Aireador mecánico
4.-	Tratamiento terciario	Desinfección con agentes químicos Desinfección con agentes físicos Desinfección por radiación
5.-	Tratamiento terciario Avanzado	Osmosis Inversa Ultrafiltración Adsorción con carbón activado Coagulación-sedimentación Electrodialisis Microtamizado Intercambio iónico Cloración al punto de quiebre

Fuentes: Romero, 2005 y Del Castillo, 1998.

2.3.2.- PRETRATAMIENTO.

En esta etapa se busca acondicionar el agua residual para facilitar los tratamientos propiamente dichos, y preservar la instalación de erosiones y taponamientos. Incluye equipos tales como rejas, tamices, desarenadores, desengrasadores, trituradores, entre otros.

Recordemos que el agua residual contiene sólidos en suspensión de diferente tamaño, las aguas municipales provenientes de residencias vierten al drenaje agua contaminada y residuos sólidos generados en las distintas actividades domésticas, además de las arenas y gravas que se encuentra en el alcantarillado y los residuos sólidos municipales que se depositan sin control en las calles (Metcalf & Eddy, 1997).

Para lograr los objetivos del tratamiento preeliminar se emplean comúnmente los siguientes dispositivos.

- a) Rejas y cribas de barras
- b) Cribas finas
- c) Desmenuzadores
- d) Medidores de gasto
- e) Desarenadores.
- f) Tanques de homogeneización y regulación de caudales.
- g) Tanques de preaireación.
- h) Distribuidor de gasto.

a) Rejas y cribas de barras.

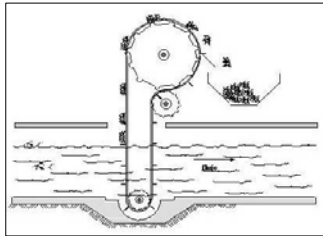


Figura 2-1.- Rejilla mecánica.

Son cernidores compuestos de barras paralelas, colocadas verticalmente o inclinadas en dirección del flujo, que captan los desechos del agua residual para proteger las bombas, válvulas, conducciones y otros elementos. Las rejillas (figura 2-1) pueden ser fijas o móviles y limpiarse manual o mecánicamente (www.hidroagua.com.mx/html/productos.html).

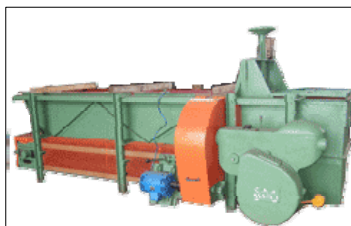
Cribas finas.

Las cribas finas (figura 2-2) son rejas con aberturas hasta de 3mm., que sirven para separar sólidos relativamente pequeños, usándose generalmente en el tratamiento de aguas industriales, se clasifican en cribas de banda, de disco y de tambor. Su limpieza se realiza mediante chorros de agua a presión, vapor o con un agente desengrasador.



Figura 2-2.- Criba fina.

b) Desmenuzadores.



Los molinos, cortadora y trituradores (figura 2-3) son dispositivos que se emplean para cortar los sólidos hasta que puedan ser reintegrados a las aguas residuales sin peligro de obstruir bombas y tuberías o afectar a los sistemas de tratamiento posteriores.

Figura 2-3.- Desmenuzador.

c) Medidores de gasto.

Un aspecto importante para la operación de una planta de tratamiento es la medición del caudal, pues permite llevar un control y seguimiento de los procesos y de los gastos que se están generando.

Los dispositivos más usados son: En canales abiertos es el aforado Parshall, en tuberías son los orificios, los tubos pitot, tubos de flujo, rotámetros, venturys, medidores magnéticos y ultrasónicos, dispositivos de vórtice y medidores de turbina o de hélice (figura 2-4).

**Figura 2-4.-** Medidor de gasto.**d) Desarenadores.**

Los desarenadores son cámaras de sedimentación que se usan para eliminar los sólidos inorgánicos gruesos y la materia orgánica pesada que pueda dañar los procesos o las partes mecánicas de la planta de tratamiento. Su funcionamiento consiste en disminuir la velocidad del flujo para que los sólidos se depositen. Los desarenadores (figura 2-5) pueden limpiarse manual o mecánicamente y en general, las arenas que se remueven se eliminan por incineración o como relleno en el terreno. Otros tipos de desarenadores son el de vértice y el aireado.

Figura 2-5.- Desarenador.**e) Tanques de homogeneización y regulación de caudales.**

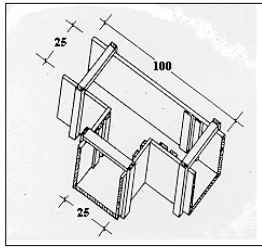
La función de un tanque de homogeneización (figura 2-6) consiste en amortiguar las variaciones de gasto para mejorar la eficiencia del tratamiento. Para evitar que las aguas residuales se vuelvan sépticas se instalan sistemas de mezclado y aireación. Existen dos dispositivos de tanques: “en línea”, la totalidad del caudal pasa por el tanque, y “en derivación”, solo pasa el caudal en exceso.

**Figura 2-6.-** Tanque de homogeneización.**f) Tanques de preaireación.**

En un tanque de preaireación (figura 2-7) se realiza una aireación antes del tratamiento primario con la finalidad de aglomerar o flocular los sólidos suspendidos ligeros, formando masas pesadas que se depositan en los tanques de sedimentación. Otras ventajas de la preaireación son la separación de grasas, aceites y sólidos, así como la restauración de las condiciones aerobias en las aguas residuales. La preaireación se logra forzando el paso de aire comprimido o por agitación mecánica (www.hidroagua.com.mx/html/productos.html).

Figura 2-7.- Tanque de preaireación.

g) Distribuidor de gasto.



Un distribuidor de gasto (figura 2-8) se emplea para dividir el caudal en varias unidades similares o para descargar el gasto que sobre pasa la capacidad de diseño. Los dispositivos más empleados son las cajas de distribución y los vertederos de caída libre.

Figura 2-8.- Distribuidor de gasto.

2.3.3.- TRATAMIENTO PRIMARIO O PROCESO FÍSICO-QUÍMICO.

Tiene la finalidad de remover de las aguas residuales los sólidos orgánicos e inorgánicos suspendidos, comúnmente mediante sedimentación al reducir la velocidad del flujo. En esta etapa del tratamiento se busca reducir la materia suspendida por medio de la precipitación o sedimentación, con o sin reactivos, o por medio de diversos tipos de oxidación química poco utilizada en la práctica, salvo aplicaciones especiales, por su alto coste (Metcalf & Eddy, 1997).

Este proceso sirve como preparación de las aguas residuales para su tratamiento secundario, es decir, se eliminan las partículas y sólidos de mayor tamaño en un 60% y un 35% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), además se eliminan ciertos contaminantes y se reducen las variaciones de caudal así como la concentración de las aguas que llegan a la planta (Ron Crites, 2000).

Algunas unidades del proceso o tratamiento primario son:

- a) Fosa séptica.
- b) Tanque de doble acción o tanque Imhoff.
- c) Tanque de sedimentación primaria.
- d) Flotación.
- e) Sedimentador tipo Lamella
- f) Sedimentador Circular.
- g) Estanque de Flotación por Aire Disuelto (DAF).

Otras unidades auxiliares:

- h) Tanque de precipitación química.
- i) Tanque de floculación.
- j) Mezcladores.

a) Fosa séptica.

La fosa séptica mantiene el agua residual a baja velocidad y estabiliza los sólidos sedimentables por descomposición anaerobia en el fondo del tanque. Como el agua está en contacto con los sólidos, el efluente de la fosa tiene condiciones sépticas, por lo que se debe disponer en pozos de absorción o en campos de percolación. Este proceso requiere una atención mínima, bastando remover los lodos y las natas ocasionalmente.

Consiste en un depósito que generalmente está enterrado a nivel del piso, los hay de diversos materiales como concreto, fibra de vidrio, acero, madera de secuoya, aunque últimamente el más usado es de polietileno (Ron Crites, 2000).

b) Tanque de doble acción o tanque Imhoff.

Este tanque corrige los defectos de la fosa séptica, ya que las aguas residuales no se mezclan con los lodos, reduciendo el tiempo de retención y generando un efluente adaptable a un tratamiento posterior. El tanque no tiene problemas mecánicos y es sencillo de operar.

En su operación las aguas fluyen en su parte superior y los sólidos son separados a la cámara inferior, donde se realiza la digestión anaerobia de lodos, para su posterior eliminación por tuberías. Los gases y las partículas flotantes son desviados a la cámara de natas y respiradero.

c) Flotación

El proceso consiste en la adición de un agente de flotación (burbujas de aire) que lleve a los sólidos a la superficie del tanque para removerlos en forma de nata. Se aplica específicamente para separar partículas pequeñas, con densidad cercana a la del agua.

d) Tanque de precipitación química.

Consiste en agrega reactivos a las agua residuales para formar flóculos que sedimenten rápidamente. Ésta operación es útil en tratamientos especializados como para eliminar fósforo y trazas de metal, así como para preparar lodos para filtración o deshidratación.

e) Sedimentador tipo Lamella.



El sedimentador tipo lamella (figura 2-9) es un equipo que mediante un proceso físico separa los sólidos del agua, en un espacio de un tercio de lo que lo hace un clarificador convencional (circular). Después de la floculación, estos sólidos decantan en las placas inclinadas y por gravedad se deslizan al fondo, para su posterior retiro con bombas. Pueden ser con fondo cónico o cilíndrico. Su construcción puede ser de acero al carbón con recubrimientos epóxicos internos y externos, o bien, acero inoxidable (www.ciberteca.net/index.php).

Figura 2-9.- Sedimentador tipo Lamella.

f) Sedimentador Circular.

Éste equipo consigue la separación de la materia sólida no disuelta en el agua, mediante la acción de la gravedad. Esta operación es muy eficaz, cuando concurren determinadas condiciones, ya que puede producir una reducción del 30% de la DBO_5 en las aguas residuales (de origen orgánico). En los estanques circulares se provoca la sedimentación de las partículas en suspensión que se anidan en el agua residual. Los sedimentadores (figura 2-10) se dotan de raspadores mecánicos para la recolección y evacuación de los lodos decantados, que por gravedad se depositan en el fondo del mismo, para su posterior retiro con bombas.



Figura 2-10.- Sedimentador circular.

g) Estanque de Flotación por Aire Disuelto (DAF).

Se utiliza en la separación de partículas sólidas, aceites y grasas, la separación se logra introduciendo burbujas finas de gas, normalmente aire saturado, en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a la materia en suspensión y suben a la superficie, una vez en la superficie son removidas por un sistema mecanizado de paletas, que retiran el lodo y lo acumulan en un estanque (figura 2-11), para su posterior retiro con bombas. Su aplicación está orientada a industrias lácteas, alimenticias, mineras, pesqueras y salmoneras.



Figura 2-11.- Estanque de floculación (DAF).

h) Tanque de sedimentación primaria.

Estos tanques separan los sólidos suspendidos del agua residual mediante sedimentación y los concentra en un volumen menor; además, remueven grasas, aceites y materiales flotantes. Los sólidos se acumulan por gravedad o con equipo mecánico (rastras) en una tolva para después ser abstraídos por bombeo, evitando su descomposición en el tanque. Los tanques pueden ser rectangulares, circulares o cuadrados

i) Tanque de floculación.

Su propósito es formar flóculos por agitación mecánica o con aire para aumentar la remoción de sólidos en suspensión y DBO_5 en las instalaciones de sedimentación. La floculación se lleva a cabo en tanques, tuberías o sedimentadores (www.ciberteca.net/index.php).

j) Mezcladores.

Se emplea para incorporar líquidos, en la floculación y transferencia de calor. El mezclado se clasifica en continuo y rápido continuo. Éste último se usa para mezclar sustancias y se realiza con saltos hidráulicos, dispositivos venturi, conducciones, bombeo o mezcladores mecánicos. La mezcla continua se emplea para conservar el contenido del tanque uniforme y se logra con mezcladores mecánicos estáticos, dispositivos neumáticos o por bombeo (www.hidroagua.com.mx/html/productos.html).

2.3.4.- TRATAMIENTO SECUNDARIO O PROCESO BIOLÓGICO.

En esta etapa el tratamiento secundario convencional se utiliza principalmente para la remoción de materia orgánica soluble, debido a que involucra reacciones bioquímicas que la oxidan y sólidos suspendidos de menor tamaño no retenidos en el pretratamiento y tratamiento primario, se reduce la DBO a menos de 100mg/L, así como los compuestos nitrogenados a ión nitrato y dióxido de carbono.

Este proceso también se emplea de forma masiva para eliminar la contaminación orgánica disuelta, la cual es costosa de eliminar por tratamientos físico-químicos. Consiste en la oxidación aerobia de la materia orgánica en sus diversas variantes de fangos activados, lechos de partículas, lagunas de oxidación y otros sistemas o su eliminación anaerobia en digestores cerrados. Ambos sistemas producen fangos en mayor o menor medida que, a su vez, deben ser tratados para su reducción, acondicionamiento y destino final (Gleick, 1996).

Por lo tanto, el objetivo principal de los procesos biológicos es estabilizar la materia orgánica, aglutinar y remover los sólidos coloidales que no se sedimentan. Generalmente son utilizados para tratar las aguas residuales provenientes de la industria alimentaria, agroindustria, algunos tipos de petroquímica y farmacéutica, pero su uso principal es en el tratamiento de aguas residuales municipales, ya que presenta ventajas técnicas y económicas ante los procesos físico-químicos. Frecuentemente se utilizan los microorganismos, pero desde hace dos décadas se han estudiado y establecido plantas de tratamiento donde los macroorganismos han funcionado como depuradores de efluentes contaminados (Romero, 2005 y Metcalf & Eddy, 1997).

Existen cuatro tipos de procesos biológicos: anaerobios, aerobios, anóxicos y facultativos. Los aerobios son aquellos que requieren oxígeno disuelto, en los anaerobios hay ausencia de este elemento, en los anóxicos el oxígeno se encuentra combinado (NO_3^- , SO_4^{2-} , etc.), y en los procesos facultativos existen poblaciones mixtas en donde los microorganismos son indiferentes a la presencia o ausencia de oxígeno (Tabla 2-2).

Tabla 2-2.- Procesos biológicos de acuerdo a su condición de oxigenación.

Tipo de proceso	Condiciones de O_2
Aerobio	Requieren oxígeno
Anaerobio	No requieren de oxígeno
Anóxico	Oxígeno combinado
Facultativo	Indiferente a la ausencia o presencia de este

Fuente: Romero, 2005.

En los procesos de depuración natural de las aguas los organismos convierten las sustancias en materia celular simple y estable; la mayor parte de los componentes orgánicos sirven como sustrato que proporcionan energía para su crecimiento, conociendo esto se han desarrollado diversas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales mediante procesos biológicos (Tabla 2-3).

Tabla 2-3.- Tipos de sistemas biológicos y las tecnologías utilizadas.

Tipo de sistema	Condiciones de O ₂	Tecnología
Biomasa Suspendida	Aerobio	Lodos activados Lagunas aireadas Estanques de estabilización aerobia Nitrificación de cultivos
	Anóxico	Desnitrificación Reactor de lechos ascendentes
	Anaerobio	Digestor de alta taza Filtro Biológico Contacto anaerobio Reactor de lecho de lodos con flujo ascendente
Biomasa Fija	Aerobio	Filtro percolador Discos biológicos rotatorios Filtros de desbaste o pretratamiento. Filtro sumergido Reactor de lecho fluidificado
	Anóxico	Filtro sumergido Disco biológico rotatorio Desnitrificación en capa fija. Lecho fluidificado
	Anaerobio	Filtro anaerobio Disco biológico rotatorio sumergido Laguna anaerobia Reactor de lecho fluidificado
Combinado		Lagunas facultativas Lagunas de maduración o terciarias Uso del suelo como método de tratamiento

A continuación se describen algunos de los principales procesos biológicos empleados en el tratamiento de aguas residuales.

a) Digestión Aerobia.

Este sistema es el adecuado para aguas con alto contenido de materia orgánica, en el cual se dificulta el aislamiento de bacterias, la principal desventaja de este sistema de tratamiento es el tiempo de depuración, ya que es un proceso lento, además de un alto costo de inversión, debido a que se requieren reactores grandes y cerrados. Es muy sensible a la inhibición por sustancias que se encuentran muchas veces en agua a tratar como los metales pesados, los hidrocarburos y los detergentes aniónicos.

b) Discos Biológicos Rotatorios (Bio-discos).

Este proceso consiste en una serie de discos (figura 2-12) circulares concéntricos de poliestireno o cloruro de polivinilo parcialmente sumergidos en agua residual, en donde los microorganismos se adhieren formando una película biológica denominada biomasa. La rotación de los discos pone alternativamente en contacto la biomasa con la materia orgánica presente en el agua residual y con la atmósfera para la adsorción del oxígeno. La rotación es así mismo el mecanismo de eliminación del exceso de sólidos adheridos a los discos y mantienen la materia en suspensión, de manera que esta pueda ser transportada al tanque clarificador (www.ciberteca.net/index.php).



Figura 2-12.- Discos biológicos rotatorios.

Este proceso se emplea como tratamiento secundario, aunque puede usarse para obtener una nitrificación estacional o continua.

c) Filtro Biológico.

Los filtros tienen la función de transformar las sustancias orgánicas disueltas que están presentes en el agua por otras que resultan menos peligrosas. Los filtros biológicos (figura 2-13) se denominan así puesto que esta acción de desintoxicación no la lleva a cabo ningún material diseñado por el hombre, sino la propia naturaleza a través de bacterias. El funcionamiento de un filtro biológico es simple, está compuesto por un material plástico que ofrece gran cantidad de superficie y soporte en un volumen reducido para que las bacterias la colonicen



Figura 2-13.- Filtro biológico.

d) Filtro Percolador.

Es un tanque que contiene un lecho formado por un medio de soporte en donde se encuentran adheridos los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica a través del cual se filtra el agua residual. Cuando los microorganismos crecen, el espesor de la película aumenta, por lo que la capa biológica se desprende cíclicamente del lecho en forma natural. Una vez que el agua residual ha

pasado por el lecho filtrante es colectada junto con los sólidos biológicos en la parte inferior y conducida a un sedimentador secundario, donde se sedimenta el lodo generado durante el proceso.

Generalmente el reactor es de forma circular, por lo que el agua es distribuida por el lecho mediante un distribuidor giratorio. El medio filtrante consiste en piedras o piezas de material sintético.

e) Filtro de Goteo.

El agua se rocía en un lecho con un medio de transporte del tamaño de un puño, cuya profundidad es de dos a tres metros. Los espacios entre las rocas brindan suficiente aireación y en ellas se encuentran organismos que absorbe y digieren hasta un 85% de la materia orgánica.

f) Laguna Aireada Aerobia.

Este proceso es similar al de lodos activados, excepto que el reactor es un dispositivo excavado en el terreno, además de que el área necesaria es mucho mayor, por lo que puede dar lugar a efectos térmicos más notorios. En la laguna aireada (figura 2-14) se mantiene en suspensión una parte de los sólidos, el aire requerido es suministrado por aireadores o difusores. Es posible realizar una nitrificación estacional o continua.



Figura 2-14.- Laguna aerobia.

g) Laguna Anaerobia.

Las lagunas aerobias son estanques profundos excavados en el terreno, dotado de conexiones para la entrada y salida del flujo. El tratamiento es anaeróbico en toda su profundidad, excepto en una estrecha zona de superficie y la estabilización de agua se consigue por precipitación y conversión anaerobia de los residuos orgánicos en metano, dióxido de carbono y otros gases; así como ácidos orgánicos y tejidos celulares. Los sólidos se sedimentan en el fondo del estanque y el efluente parcialmente clarificado es conducido a un proceso de tratamiento posterior.

Se emplean en tratamiento de aguas con alto contenido orgánico y concentración de sólidos, ya que logra eliminar el 70 al 85 % de DBO_5 .

h) Lagunas de estabilización aerobia.

Consiste en depósitos grandes de poca profundidad excavados en el terreno, en donde el tratamiento del agua depende de algas y bacterias. El oxígeno es suministrado por aireación de la superficie y a través de la fotosíntesis realizada por las algas, finalmente es utilizado por las bacterias en la degradación aerobia de la materia orgánica. Los nutrientes y el dióxido de carbono producido en la degradación son utilizados por las algas. También hay otros organismos superiores que como rotíferos y protozoos que mejoran el efluente.

i) Equipos: Sopladores, Aireadores superficiales.

Los sopladores suministran caudales de aire (oxígeno) variables dentro de un intervalo de presiones muy limitado, debiendo incorporar algún sistema de regulación o variación de caudal. Los aireadores superficiales (figura 2-15), que también obtienen el oxígeno del aire, promueven un flujo ascendente o descendente mediante un efecto de bombeo y agitación mediante una turbina, introduciendo aire en el agua residual, provocando cambios en la interface aire-agua que facilitan la disolución del oxígeno en el agua (www.ciberteca.net/index.php).



Figura 2-15.- Aireador.

j) Lagunas facultativas.

Son tanques excavados en el terreno, en ellos la estabilización de la materia orgánica se lleva a cabo mediante bacterias aerobias, anaerobias y facultativas. El tanque está dividido en tres zonas:

- 1.- Una zona superficial compuesta por bacterias aerobias y algas en relación simbiótica
- 2.- Una zona intermedia parcialmente aerobia y anaerobia, donde las bacterias facultativas realizan la descomposición de la materia orgánica.
- 3.- Una zona inferior, en la que los sólidos acumulados son descompuestos por las bacterias anaerobias.

k) Lodos activados.

Este tipo de proceso es el más común en el tratamiento de agua residual, consiste en un tanque de aireación que contiene microorganismos (cultivo bacteriano aerobio en suspensión), en el cual se mezcla el agua residual por medio de una fuente de aireación constante. Debido a que el proceso de lodos activados es un proceso lento; ya que tiene un tiempo de retención de 4 a 8 horas. La capacidad de remoción del sistema está en función de las relaciones entre las concentraciones de contaminantes y la calidad de los lodos activados (figura 2-16), además del tamaño de partícula. En este tratamiento se remueven del 85 al 90% de la materia orgánica y de sólidos suspendidos (www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm#lodactiv).



Figura 2-16.- Tanque de lodos activados.

Se han desarrollado una serie de variantes para lodos activados con la finalidad de mejorar el tratamiento, disminuir los costos y producir un lodo más estable. Bajo estas premisas se muestra la tabla 2-4 con las variantes que más se emplean en la práctica.

Tabla 2-4.- Descripción de las principales modificaciones a los lodos activados.

Modificación	Descripción
Convencional (flujo pistón)	El agua residual y el lodo de recirculación entran en un extremo y son aireados con difusores o aireadores mecánicos, en la aireación se realiza la adsorción, floculación y oxidación de la materia orgánica.
Completamente mezclado	El efluente se dispersa uniformemente en todo el tanque de aireación, de manera que se produce una demanda de oxígeno y carga orgánica uniforme.
Aireación extendida	Funciona en la fase de respiración endógena, requiriendo de una carga orgánica relativamente baja y largo periodo de aireación. Produce pocos lodos.
Estabilización por contacto	Este proceso usa la capacidad de adsorción que presentan los lodos activados para eliminar materia orgánica en tanques pequeños.
Sistema de oxígeno puro.	Se emplea oxígeno puro como sustituto de aire. El oxígeno se inyecta con difusores en tanques de aireación cubiertos donde es reciclado.
Zanjas de oxidación	Consiste en un canal en forma de anillo, equipado con aireadores mecánicos que proporcionan el oxígeno requerido y ayudan a la recirculación. Son una forma de aireación extendida, con largos tiempos de retención hidráulico y celular.
Reactor intermitente o secuencial	Consiste en un reactor de mezcla completa con un sistema de llenado-vaciado. Después de cada ciclo se elimina el clarificado secundario.
Procesos Kraus	Se usa en aguas residuales con bajos niveles de nitrógeno. La nata y una porción de lodos son llevados a un tanque de aireación diseñado para nitrificar.

Fuente: Metcalf & Eddy, 1997.

l) Proceso anaerobio de Contacto.

Este tratamiento se emplea básicamente en la depuración de aguas residuales industriales con alto contenido de DBO₅ y sólidos suspendidos volátiles. Consiste en un reactor sellado que impide la entrada de aire, al cual se introduce el agua a tratar junto con los lodos recirculados para ser digeridos anaerobiamente. El contenido del reactor se mezcla y una vez terminada la digestión se lleva a un clarificador o unidad de flotación al vacío para separar los sólidos. El lodo sedimentado es retornado al reactor para servir de siembra al agua residual entrante y dada la baja tasa de síntesis de los microorganismos anaerobios, el exceso de lodo a evacuar es mínimo.

m) Reactor Anaerobio de Lecho de Lodos con Flujo Ascendente (UASB).

El agua residual se introduce al reactor por la parte inferior, se distribuye uniformemente y en su trayectoria ascendente atraviesa el lecho de lodos donde la materia orgánica es transformada principalmente en biogás. En la parte superior del reactor existe una zona de captación de biogás y una de sedimentación del agua tratada.

n) Reactores Batch Secuenciales (SBR).

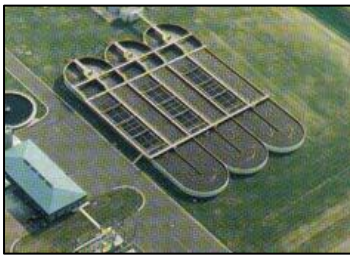
Un Sistema Reactor Batch Secuencial (figura 2-17) procesa las aguas residuales por medio de un tratamiento biológico aeróbico-anóxico, basado en la generación de lodos activados por medio de aireación y disminución de nutrientes en etapa anóxica.

Éste es un proceso de tratamiento biológico de llenado y vaciado, conocido como el proceso más eficiente por su costo y eficiencia para remover contaminantes orgánicos en aguas residuales domésticas e industriales (www.aguamarket.com/sql/productos/productos.asp?producto=633 y www.rema.com.mx/plantaaguasnegras.html)



Figura 2-17.- Reactores batch secuenciales.

o) Zanjas de oxidación.



Las Zanjas de Oxidación (figura 2-18) corresponden a un sistema particular de lodos activados, el que se caracteriza por considerar un proceso de aireación extendida o digestión aeróbica de los lodos en el propio reactor por sobre oxigenación. Un esquema típico consiste en un canal de forma anular, con equipos de aireación para incorporar oxígeno y promover la circulación de las aguas, y para impartir suficiente velocidad horizontal al líquido de modo que evita la decantación de los sólidos.

Figura 2-18.- Zanjas de oxidación.

Otras clasificaciones de los procesos biológicos son en función del tipo de organismo presente, pueden ser microorganismos o macroorganismos.

Procesos biológicos basados en microorganismos.

En la tabla 2-5 se mencionan algunos procesos con microorganismos y su condición de oxígeno.

Tabla 2-5.- Procesos basados en microorganismos y sus condiciones de O₂.

Proceso basado en	Tipo de proceso	Condiciones de O ₂
Microorganismos	Aerobio	Requieren oxígeno
	Anaerobio	No requieren de oxígeno
	Anóxico	Oxígeno combinado
	Facultativo	Indiferente a la ausencia o presencia de este

Fuente: Romero, 2005.

En función a la forma en que se encuentra la biomasa se clasifican en 2, biomasa suspendida y biomasa fija.

Sistemas con biomasa suspendida: En estos sistemas, los microorganismos se encuentran libres dentro del tanque. Han sido muy aplicados debido a la facilidad con que se encuentra información sobre ellos, sin embargo, su desventaja principal es que sufren de problemas de decantación provocando la fuga de microorganismos, además requieren de energía para realizar el mezclado del contenido del tanque.

Sistemas con biomasa fija: En estos sistemas los microorganismos se encuentran adheridos a un soporte, generalmente tienen menor volumen que los sistemas de biomasa suspendida y producen flóculos con alto grado de sedimentación (Romero, 2005).

A partir de los sistemas de tratamiento biológico antes mencionados se han desarrollado algunos sistemas, los más conocidos son los siguientes:

Sistemas de filtro de goteo.

El agua se rocía en un lecho con un medio de transporte del tamaño de un puño, cuya profundidad es de dos a tres metros. Los espacios entre las rocas brindan suficiente aireación y en ellas se encuentran organismos que absorbe y digieren hasta un 85% de la materia orgánica.

Digestión anaerobia.

Este sistema es el adecuado para aguas con alto contenido de materia orgánica, en el cual se dificulta el aislamiento de bacterias, la principal desventaja de este sistema de tratamiento es el tiempo de depuración, ya que es un proceso lento, además de un alto costo de inversión, debido a que se requieren reactores grandes y cerrados. Es muy sensible a la inhibición por sustancias que se encuentran muchas veces en agua a tratar como los metales pesados, los hidrocarburos y los detergentes aniónicos.

Procesos biológicos basados en macroorganismos.

Una alternativa novedosa para el tratamiento de aguas residuales es la fitoremediación (tratamiento a través de plantas acuáticas), que ofrece las ventajas de bajos costos de operación, minimización del volumen de lodos y alta eficiencia en el tratamiento de contaminantes en efluentes muy diluidos. Estas ventajas han sido incentivos para la adopción de este proceso.

En este mecanismo los contaminantes son extraídos a partir de cuatro pasos: adsorción, transporte, desplazamiento e hiperacumulación.

Adsorción: Paso no metabólico en el cual la superficie de la raíz liga a los agentes contaminantes debido a presencia de polisacáridos, lípidos, y proteínas que actúan como sitio atrayente. Su eficiencia depende de la composición de la pared celular.

Transporte: se utilizan proteínas extramembranales llamadas Zinc Transportadoras (ZIP), encargadas de la movilización de hierro y zinc; y las Hierro transportadoras (TTR1) encargadas de hierro, cadmio y zinc.

Desplazamiento: En respuesta a la diferencia de nutrientes de iones metálicos, las plantas secretan “fitosideroforos” que aumentan la disponibilidad de contaminantes desplazándolos del suelo hacia los tejidos de las plantas.

Hiperacumulación: Debido a que algunos agentes contaminantes son inmutables, las plantas los bioacumulan en tejidos finos, enlazándolo con sulfuro orgánico.

Tabla 2-6.- Procesos basados en Macroorganismos.

Proceso basado en	Planta acuática	Sustancias que elimina
Macroorganismos	Lemna minor	Plomo
	Eichhornia crassipes	Mercurio
	Nymphaea violacea	Calcio, radón y cadmio
	Aspergillus Níger (Hongos)	Cadmio, cobre, Níquel, plomo

Fuente: Romero, 2005.

Los procesos biológicos para tratamiento de aguas residuales basados en macroorganismos (tabla 2-6) agrupan todos los distintos sistemas de **humedales**, tanto naturales como artificiales.

Humedales.

Son ambientes acuáticos que tienen un largo espectro de habitad tanto dulceacuícola, salobre, y salino, estos pueden ser en orillas de cuerpos temporales, riveras de ríos, orillas de lagos, marismas, manglares y lagunas, entre otros. Estos ecosistemas contienen una alta diversidad de organismos unicelulares y pluricelulares, que naturalmente toman del agua nutrimentos, los cuales en altas concentraciones provocan problemas de contaminación.

Son sistemas de transición entre la zona terrestre y la acuática, dentro de su clasificación se encuentran las marismas, pantanos, ciénegas, esteros y manglares. En estos sistemas complejos se conjuntan factores bióticos (plantas, microorganismos) y abióticos (aire, sol, temperatura y suelo) que benefician el tratamiento de aguas con algún tipo de contaminante. Estos han sido utilizados en lugares donde se cuenta con espacios amplios (Romero, 2005).

Una forma de clasificar a los humedales es de acuerdo a su forma de vida, estos consisten en:

- a) Plantas de libre flotación
- b) Plantas enraizadas emergentes.
- c) Sistemas subemergentes.
- d) Sistemas híbridos
- e) Sistemas multietapa

- a) **Sistemas de plantas de libre flotación:** Se utilizan principalmente en el tratamiento de aguas proveniente de sistemas secundarios, de asentamientos urbanos pequeños o medianos, aunque a veces se utilizan para tratar aguas industriales. Consisten en tanques amplios con un cierto grado de decline en donde las plantas crecen y se propagan. Los organismos utilizados generalmente son de la familia Lemnaceae (*Lemna*, *Spirodela*, *Wolffia* y *Wolffella*). Su principal desventaja es la gran cantidad de espacio para los estanques, y su ventaja principal es que la masa foliar de los organismos usados se utiliza como alimento para ganado.
- b) **Sistemas de plantas enraizadas emergentes.** Se utilizan plantas enraizadas al sustrato con hojas y estructuras reproductivas aéreas (*Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *Schoenoplectus lacustris*, entre otros), estos son plantados en canales o estanques impermeabilizados para prevenir la filtración del agua.

De acuerdo al lugar por donde fluye el agua estos sistemas se clasifican en:

- ✓ **Sistemas de flujo superficial.** En estos sistemas el agua fluye libremente a baja velocidad a través de los tallos y raíces de las plantas, las cuales se encuentran fijas al sustrato.
- ✓ **Sistemas de flujo subsuperficial.** En este tipo de sistemas el agua fluye por la zona de la raíz a través del medio de soporte, las raíces de los organismos penetran hasta el fondo del lecho, este sistema se considera el más eficiente de los humedales, ya que provee espacios benéficos para la propagación de microorganismos auxiliares en el tratamiento.

De acuerdo al patrón que sigue el agua se divide en los siguientes sistemas:

- ✓ **Sistemas de flujo horizontal.** Es un diseño utilizado comúnmente, llamado también como método de la zona de raíz donde el agua fluye horizontalmente a través del sustrato. En la mayoría de los casos donde se establecen este tipo de humedales, el efluente ha recibido un pretratamiento y su área es calculada dependiendo del número de personas.
- ✓ **Sistemas de flujo vertical.** Generalmente son utilizados después de haber dado un tratamiento previo al agua, la cual es alimentada por la superficie del humedal y fluye verticalmente por gravedad a través del sustrato, en el cual se encuentran diferentes tamaños de gránulos.

Para su construcción se necesita una correcta selección de la arena que cubre la parte superficial del sistema. El tiempo de retención hidráulica en comparación con los demás sistemas es mucho mayor, no es recomendable para alimentación continua. Además para lograr la completa oxigenación del lecho se requiere de 4 o más humedales en forma consecutiva.

- c) **Sistemas subemergentes:** Las plantas que se utilizan en este sistema tienen sus tejidos completamente sumergidos en el agua. Las especies usadas comúnmente son *Isoetes lacustris*, *lobelia dortmanna*, *Elodea canadensis*, *Elodea nuttallii*, *Hydrilla verticillata* y *patamogeton*, entre otras.

Estas especies disminuyen el contenido de carbón orgánico disuelto y aumentan el contenido de oxígeno disuelto durante periodos de actividad fotosintética, también se incrementa el pH y se crean condiciones para que el amonio se volatilice, el fósforo se precipite y se mineralice la materia orgánica.

- d) **Sistemas híbridos:** Se denominan muchas veces sistemas combinados. En lo general son una mezcla de sistemas de flujo horizontal y vertical, las aguas resultantes tienen bajas concentraciones de DBO, parcialmente desnitrificadas y con una cantidad baja de nitrógeno total.
- e) **Sistemas multietapa:** Consiste en la combinación de los sistemas anteriores y sistemas convencionales. Comúnmente están constituidos por 5 o más etapas, recirculando el efluente para una depuración adecuada (Nicholas, 2005 y Romero, 2005).

2.3.5.- TRATAMIENTO TERCIARIO (DESINFECCIÓN).

La desinfección es la destrucción de microorganismos patógenos y tiene como finalidad proteger los cuerpos receptores de aguas residuales tratadas para evitar la propagación de enfermedades. La desinfección se puede realizar mediante agentes químicos, físicos o radiación. Los agentes químicos que se han utilizado son cloro y sus compuestos, yodo, bromo y ozono. Como desinfección física se tiene la filtración, el calor, la luz y ozono. Por último las radiaciones empleadas son ultravioleta, y gamma, siendo esta última la que tiene mayor fuerza de penetración (Metcalf & Eddy, 1997 y Paul, 1995)

A continuación se describen los tratamientos de desinfección más usados:

a) Cloración



Figura 2-19.- Clorador

En la actualidad, el sistema de desinfección más utilizado a nivel mundial, tanto en agua potable como en aguas residuales tratadas, es el cloro. Ya sea que el cloro se agregue por vía de cloración (cloro gas) ó hipocloración (hipoclorito de sodio ó de calcio), la reacción química por la que se obtiene la purificación y saneamiento del agua es la misma. La figura 2-19 presenta un clorador típico.

Cuando se agrega cloro al agua la acción desinfectante y sanitaria que resulta es efectuada mediante un agente químico intermedio, el "Ácido Hipocloroso". Este es formado al reaccionar el cloro con el agua.



El ácido hipocloroso HOCL es el que realmente mata los microorganismos presentes en el agua, y su notable poder bactericida se atribuye a su capacidad para difundirse a través de las paredes de las células y de llegar así a las partes vitales de la célula bacteriana (Ottaviani, 1991).

b) Ozonización

El ozono es uno de los esterilizantes más eficaces que existen, para aguas tratadas o naturales de mediana y buena calidad, como agente bactericida, virucida y algicida, es muy eficaz. Manteniendo una

concentración determinada es suficiente para garantizar la destrucción de organismos patógenos y algas, en la figura 2-20 se presenta la imagen de un ozonador.

Principales ventajas de la Ozonización:



- ✓ Destruye rápidamente bacterias, virus y algas en cortos tiempos de contacto.
- ✓ No produce consecuencias, no imparte sabores ni olores extraños al agua.
- ✓ Su acción germicida y algicida es invariable, para una amplia gama de temperaturas y de pH.
- ✓ Mejora las características organolépticas del agua.
- ✓ Transforma formas insolubles para su fácil eliminación, las sales de hierro y manganeso en forma de hidróxidos, por decantación o filtración.
- ✓ Mejora la coagulación-floculación del agua, requiriéndose una menor dosificación de floculante.

Figura 2-20.- Ozonador.

c) Desinfección por Calor o Térmica.

Otra de las formas más comunes y útiles de desinfección es aplicar calor húmedo o seco, elevando la temperatura de la superficie a por lo menos 80°C. Sin embargo, también las temperaturas elevadas desnaturalizan los residuos proteicos y los sobre-endurecen sobre la superficie del equipo. Por lo tanto, es esencial eliminar todos los residuos de los productos, antes de aplicar calor para desinfección (figura 2-21).

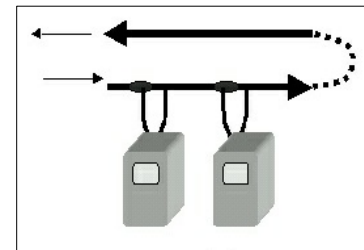


Figura 2-21.- Desinfección térmica.

Calor Seco: Requiere un largo período de tiempo y una alta temperatura

Calor Húmedo: Los microorganismos son mucho menos resistentes a la destrucción por calor húmedo en la forma de vapor saturado a presión. Su aplicación tiene numerosas ventajas como: accesibilidad, bajo costo, no genera ningún residuo tóxico, además es muy efectivo contra los microorganismos bajo condiciones adecuadas de tiempo y temperatura (Metcalf & Eddy, 1997 y Alpha Awwa, 1995).

Otras formas de desinfección mediante calor son, la aplicación de vapor y/o agua caliente.

d) Filtración (Filtros de arena y carbón activado).

Los Filtros de Arena (figura 2-22) son los elementos más utilizados para la filtración de aguas con cargas bajas o medianas de contaminantes, que requieren una retención de partículas de hasta veinte micras de tamaño. Las partículas en suspensión que lleva el agua son retenidas durante su paso a través de un lecho filtrante de arena. Una vez que el filtro se satura por las impurezas, alcanzando una pérdida de carga prefijada, puede ser regenerado por lavado a contra corriente. Los Filtros de Carbón Activado se utilizan principalmente para la eliminación de cloro y compuestos orgánicos en el agua (www.ciberteca.net/index.php).



Figura 2-22.- Filtros de arena.

e) Radiación Gamma.

Solamente las radiaciones gamma de isótopos radiactivos o de reactores nucleares, y radiaciones beta de aceleradores de electrones son capaces de suministrar la penetración de la materia, en forma suficiente para producir una esterilización efectiva.

f) Luz Ultravioleta (Luz UV).

La radiación o luz UV (figura 2-23) logra eliminar la contaminación microbiológica. Es una tecnología simple, donde se hace pasar el agua residual por una cámara donde se encuentran las lámparas que emiten rayos de luz ultravioleta a una transmitancia de 254nm. Cuando los microorganismos tienen contacto con la radiación UV son automáticamente destruidos, logrando una eficiencia casi del 99.99%. No necesitan mantenimiento, son 100% automáticas, no dañan al medio ambiente, fácil de instalar y más efectiva que el cloro (www.ciberteca.net/index.php).

Figura 2-23.- Dispositivo de Luz UV.

Actualmente, el desinfectante universal es el cloro y sus compuestos (dióxido de cloro, hipoclorito de calcio y de sodio) debido a su eficiencia y bajo costo. Además de la desinfección también impiden malos olores, reducen la putrefacción, evitan la formación de espumas y protegen la estructura de la planta de tratamiento (www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm).

Sin embargo, tiene la desventaja de formar productos orgánicos clorados, potencialmente tóxicos.

2.3.6.- TRATAMIENTO Terciario Avanzado.

Cualquier tratamiento de aguas que se realiza después de la etapa secundaria se le llama tratamiento terciario, con el tratamiento terciario avanzado se busca eliminar los contaminantes orgánicos, los nutrientes como los iones fosfato y nitrato o cualquier exceso de sales minerales, empleándose métodos de precipitación, sedimentación y filtración para eliminar los nutrientes aún presentes en el agua.

Al final de este tratamiento se pretende que el agua sea lo más pura posible antes de ser descargada al medio ambiente o de darle otro uso más adecuado (Metcalf & Eddy, 1997 y Ron Crites. 2000).

A continuación se describen algunos de los procesos más comunes de éste tratamiento:

a) Adsorción con carbón activado.

La adsorción es un proceso por el cual moléculas de impurezas se adhieren a la superficie del carbón activado. La adherencia es gobernada por una atracción electro-química. El carbón activado es preparado a partir de diversos materiales, tales como, carbón, madera, cáscaras de nueces, turba y petróleo. El carbón se transforma en "activado" cuando es calentado a altas temperaturas (800 a 100°C) en la ausencia de oxígeno. El resultado es la creación de millones de poros microscópicos en la superficie del carbón. Esta enorme cantidad de área superficial proporciona grandes oportunidades para que tenga lugar el proceso de adsorción. El carbón activado tiene una fuerte atracción adsorptiva para otras moléculas (orgánicas) basadas en el carbono, y es excelente en retener firmemente moléculas más pesadas tales como compuestos orgánicos aromáticos (aquellos que pueden ser oídos).

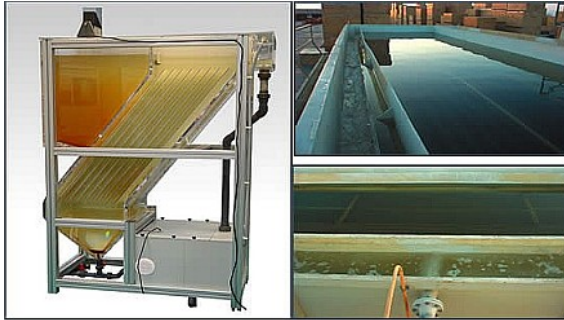


Figura 2-24.- Adsorción con carbón activado.

Este proceso funciona como un imán para mantener las impurezas en la superficie del carbón activado. Esto es una acción diferente de aquella que actúa como una esponja en el proceso de absorción, en el cual un gas o líquido es succionado hasta el centro del cuerpo poroso y allí mantenido.

Los filtros de carbón activado remueven los compuestos orgánicos volátiles, plaguicidas y herbicidas, compuestos como trihalometanos, radon, solventes y otros productos presentes en el agua, el carbón activado también es conocido por su extraordinaria habilidad en eliminar el cloro.

El agua pasa a través de la columna constantemente, por lo que se produce una acumulación de sustancias en el filtro. Por esa razón el filtro necesita ser sustituido periódicamente. Un filtro usado se puede regenerar de diversas maneras, el carbón granular puede ser regenerado fácilmente oxidando la materia orgánica. La eficacia del carbón activo disminuye en un 5-10% tras cada regeneración. Una parte pequeña del carbón activo se destruye durante el proceso de la regeneración y debe ser sustituida (Ron Crites, 2000 y www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm).

b) Coagulación-Sedimentación.**Figura 2-25.-** Tanque Sedimentador.

Este tratamiento remueve los sólidos remanentes de los procesos biológicos; así como fósforo, metales pesados, bacterias y virus. Consiste en inyectar al agua residual coagulante como cal, alumbre o cloruro férrico que aceleran la sedimentación de los sólidos, ya que hacen que se aglutinen. La acción se mejora al agregar un polímero. Posteriormente pasa por un sedimentador o clarificador (figura 2-25) donde son depositados los sólidos en el fondo.

c) Cloración al punto de quiebre.

Remueve nitrógeno al formar compuestos que se convierten en gas nitrógeno. Para lograr esta transformación debe agregarse 10 mg de cloro por cada mg de nitrógeno amoniacal. El resultado es que se necesita 50 veces más cloro que el que se requiere para la desinfección.

d) Electrodiálisis.

En un electrodiálizador (figura 2-26) se aplican varias membranas ion-selectivas en forma de celdas, hechas aproximadamente del mismo material que las resinas. Cada celda, que consiste en una membrana catiónica y otra aniónica, se arregla en una pila análoga al intercambiador de calor de placa. El espaciamiento entre las membranas es de 1mm y entre ellas fluyen las células antes mencionadas a manera de solución salina diluyente.

Toda la pila se coloca entre una serie de electrodos de corriente directa que forman un campo eléctrico, cuya influencia hace que los cationes migren en dirección de la corriente eléctrica, (al polo negativo) y pasan a través de la membrana catiónica hacia la solución salina de lavado, que se recicla durante la operación. Los aniones migran en dirección opuesta de la corriente eléctrica, es decir, hacia el polo positivo y pasan a través de la membrana aniónica hacia la solución salina de lavado. Al igual que la solución salina de lavado, el suero se recicla durante la operación a través de un tanque de lotes que tiene un medidor de conductividad (www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm).

**Figura 2-26.-** Electrodiálizador.

e) Intercambio iónico.

Los métodos para conseguir una mejor calidad del agua de aportación en los procesos industriales, han sido tradicionalmente los de tratarla a través de “Resinas de Intercambio Iónico” (figura 2-27). Estos métodos se basan en la interacción química de las resinas especialmente diseñadas para las distintas funciones, con los componentes salinos u orgánicos presentes en el agua (www.ciberteca.net/index.php).



Figura 2-27.- Intercambiador iónico.

El intercambio de iones es un proceso rápido y reversible en el cual los iones impuros presentes en el agua son reemplazados por iones que despiden una resina de intercambio de iones. Los iones impuros son tomados por la resina que debe ser regenerada periódicamente para restaurarla a su forma iónica original. (Un ion es un átomo o grupo de átomos con una carga eléctrica. Los iones con carga positiva se llaman cationes y son generalmente metales, los iones con carga negativa se llaman aniones y son generalmente no metales).

f) Microtamizado.

Consiste en un tambor giratorio de baja velocidad, en donde el agua entra por el extremo abierto del tambor y sale a través de los tejidos filtrantes que se disponen en el perímetro del mismo. Los lodos separados se lavan a contracorriente mediante inyectores de agua a presión y se conducen a un recipiente situado dentro del tambor.

g) Micro/Ultra/Nano Filtración.

La **Microfiltración** (figura 2-28) utiliza una membrana semi-permeable de baja presión para separar sólidos suspendidos del agua, dejando pasar sales y macromoléculas. Las membranas usadas para la microfiltración tienen un tamaño de poro de 0.1–10 μ m.

La **Ultrafiltración** utiliza una membrana semi-permeable de baja presión para separar partículas de alto peso molecular, dejando pasar sales y partículas de bajo peso molecular. Los poros de las membranas de ultrafiltración pueden retirar de los fluidos partículas de 0.001–0.1 μ m.

La **Nanofiltración** se caracteriza por su capacidad de rechazar sólo iones con más de una carga negativa, dejando pasar iones de una sola carga, también rechaza materiales sin carga y disueltos (www.cidetecq.mx/index/tratresiduales).



Figura 2-28.- Equipo para microfiltración.

h) Osmosis Inversa.

La osmosis inversa es el nivel más fino de filtración que se ejecuta a través de una membrana de alta presión, para separar partículas de bajo peso molecular y sales disueltas en el agua, dejando pasar únicamente agua por poros pequeños. Estos orificios están concebidos de manera que la mayoría de las sales, material inorgánico y iones queden retenidos en forma específica. Las moléculas de agua atraviesan fácilmente la membrana y las de tipo orgánico puedan quedar retenidas o pasar según el tipo de membrana. Las partículas en suspensión y bacterias, son eliminadas casi por completo. La figura 2-29 muestra un dispositivo para osmosis inversa (Metcalf & Eddy, 1997).

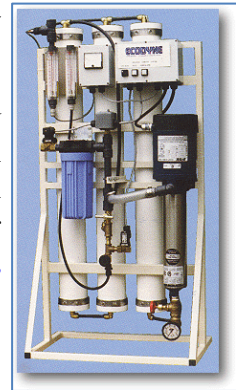


Figura 2-29.- Dispositivo para osmosis inversa.

2.3.7.- TRATAMIENTO DE LODOS.

Los lodos son residuos generados durante el proceso de tratamiento biológico de aguas residuales, compuestos generalmente por agua y sólidos, éstos están sujetos a procesos de descomposición más intensos e indeseables, por tal razón las plantas generadoras de éste se ven obligadas a someterlos a tratamiento para reducir y mejorar sus características, logrando así que su disposición no ponga en peligro la salud o cauce molestias (Susumu, 2002).

Una aplicación de los lodos residuales es su uso en suelos agrícolas, esta es una práctica habitual en países desarrollados por razones prácticas y económicas. Los lodos residuales tienen valor fertilizante y mejoran también las propiedades físicas de los suelos. La dosis de aplicación se suele fijar en función de los requerimientos del cultivo. La productividad del suelo aumenta frecuentemente, a causa del llamado efecto de la materia orgánica que se produce después de la aplicación de lodos residuales (Ottaviani, 1991 y Schnitzer, 1991).

Tipos de lodos:

- a) **Lodo Crudo:** Lodo crudo, es aquel que no ha sido tratado ni estabilizado, que puede extraerse de plantas de tratamiento de aguas residuales. Tiene a producir la acidificación de la digestión y produce olor.
- b) **Lodo primario:** El lodo primario es producido durante los procesos de tratamiento primario de las aguas residuales, formado básicamente por productos no disueltos de las aguas residuales. El lodo en el fondo del tanque primario de sedimentación se llama también lodo primario. La composición de este lodo depende de las características del área de recolección de las aguas.

Este lodo es de color grisáceo, contiene generalmente una gran cantidad de materia orgánica, vegetales, frutas, papel, etc. La consistencia se caracteriza por ser un fluido denso con un porcentaje en agua que varía entre 93 % y 97 %.

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

El comportamiento de sedimentación de los flocúlos de los lodos activos es de gran importancia para el funcionamiento de la planta de tratamiento biológico. Los flocúlos deben ser removidos, para separar la biomasa del agua limpia, y el volumen requerido de lodo activo puede ser bombeado de nuevo en el tanque de aireación.

- d) **Lodo activo de retorno:** El lodo activo de retorno es el que proviene del clarificador final y va hacia el tanque de aireación biológica. Los flocúlos de lodo activo sedimentan al fondo y pueden separarse del agua limpia residual. La mayoría del lodo que se lleva de nuevo a tanque de aireación se llama lodo activo de retorno.
- e) **Exceso de lodo, lodo secundario:** Para que el lodo alcance una vida constante, la biomasa en exceso debe de eliminarse de la planta biológica de tratamiento. Este lodo en exceso contiene partículas no hidrolizables y biomasa que son el resultado del metabolismo celular.

Etapas del tratamiento de lodos.

- I. Estabilización.
- II. Espesamiento.
- III. Deshidratación.
- IV. Secado de los lodos.

I. Estabilización de lodos.

La estabilización es aerobia y se puede realizar simultáneamente en plantas de lodos activos donde los lodos, tanto primarios como secundarios, son continuamente aireados durante largos periodos de tiempo. En la digestión aeróbica los microorganismos están en fase respiratoria donde los materiales contenidos en las células son oxidados, teniendo como resultado una reducción de la materia orgánica degradada biológicamente. De esta manera, la estabilización aerobia del exceso de lodo (incluyendo lodos primarios) genera un consumo de energía. Adicionalmente, esta fase necesita un volumen extra en el reactor, la figura 2-30 muestra un dispositivo para la estabilización de los lodos (www.ciberteca.net/index.php).



Figura 2-30.- Dispositivo para la estabilización de lodos.

La digestión de lodo se lleva a cabo por los organismos anaerobios en ausencia de oxígeno libre. Los organismos anaerobios y facultativos rompen la estructura molecular compleja de estos sólidos liberando las "uniones" del agua y dando lugar a oxígeno y nutrientes para el crecimiento. Los procesos de estabilización anaerobia trabajan a temperaturas normales ($<40^{\circ}\text{C}$) o dentro de un rango de bacterias termófilas, donde se puede alcanzar $50\text{-}65^{\circ}\text{C}$, debido a la generación del calor de los procesos bioquímicos. La estabilización química de los lodos es la oxidación húmeda y estabilización termal bajo altas condiciones de temperatura y presión, las cuales son aplicadas con menor frecuencia.

II. Espesamiento de lodos.

Mediante el espesamiento de los lodos se consigue reducir su volumen en aproximadamente un 30–80% antes de cualquier otro tratamiento. En plantas de tratamiento pequeñas, con alimentación regular de lodo, el espesamiento tiene lugar por lo general directamente en el tanque de almacenamiento de los lodos. El lodo es comprimido en la base del tanque mediante gravedad, mientras en la parte superior se produce una capa de agua que se extrae y recircula nuevamente.

En plantas de tratamiento grandes, existen tanques especiales de espesamiento de lodos. Estos tanques están equipados con rodillos de rotación vertical, que crea micro canales en el lodo para un mejor escurrido. La importancia de las máquinas de espesamiento tiene lugar en aquellos lodos no estabilizados, que pueden pudrirse durante el almacenamiento (Susumu, 2002).

III. Deshidratación de lodos.

Una mayor reducción de lodos es necesaria antes del espesamiento de los mismos. El líquido de los lodos tiene que drenarse consiguiendo un lodo seco y poroso. La deshidratación puede producirse de manera natural (mediante camas secas, secado solar), durante un largo periodo de tiempo. Más rápidamente, aunque en más pequeñas cantidades (y también más costoso) son las máquinas de proceso como las prensas y centrifugadores.

Para una buena deshidratación, el tamaño y firmeza de los aglomerados del lodo son un factor importante, de manera que el lodo permanezca poroso durante la compresión. Se suelen utilizar floculantes para alcanzar mayores niveles de materia seca en las máquinas de deshidratación.

Para la selección del proceso más apropiado de deshidratación es importante la consideración de las condiciones limitantes como: cantidad, estructura del lodo, disposición, regulaciones, disponibilidad, personal, etc (Ron Crites, 2000).

Algunos dispositivos para el deshidratado de lodos son los siguientes:

✓ **Filtro prensa.**

Es un separador de líquidos y sólidos a través de filtración por presión. Utiliza un método simple y confiable para lograr una alta compactación. Es capaz de comprimir y deshidratar sólidos hasta obtener del 25% al 60% por peso de los lodos compactados.



Figura 2-31.- Filtro prensa.

El filtro prensa (figura 2-31) tiene una capacidad que va desde 0.5 a 300 pies cúbicos, puede aplicar presiones que van de 5–15 bares o más, se fabrica en acero al carbón con recubrimiento de pintura epóxica de alta resistencia química o acero inoxidable. Las placas filtrantes desmontables están hechas de polipropileno, y las mallas pueden ser selladas, no selladas o membranas de alta resistencia. También cuentan con un sistema hidráulico-neumático que puede ser automático, semiautomático.

Esta técnica de prensado es la más extendida a pesar de la operación intermitente y altos costes de inversión.

✓ **Filtro Banda.**

Los Filtros Banda (figura 2-32) son dispositivos de alimentación continua que incluyen el acondicionamiento químico, drenaje por gravedad y aplicación mecánica de presión para deshidratar lodos en los tratamientos de aguas. El líquido a tratar entra por la parte superior, a través de un difusor, descargándose sobre la banda de material filtrante, que retiene las partículas, dejando pasar el líquido, el cual fluye al depósito inferior, del que se extrae por bombeo. Es capaz de comprimir y deshidratar sólidos hasta obtener del 25% al 35% por peso de los lodos compactados.

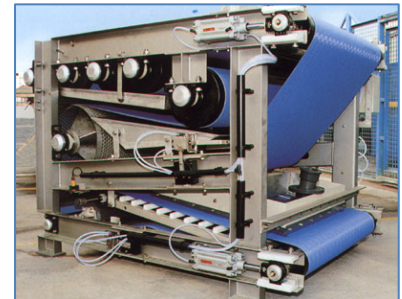


Figura 2-32.- Filtro banda.

✓ **Filtro de Bolsa.**



Esta filtración está especialmente indicada para aquellas aplicaciones en que los fluidos a filtrar tienen grandes concentraciones de contaminantes, o son fluidos que presentan grandes viscosidades, necesitándose para ello un medio filtrante que sea fácil de utilizar, que admita grandes caudales y con un costo de filtración lo más económico posible. Consiste en hacer circular el líquido a filtrar a través de una bolsa filtrante que se encuentra alojada en un portabolsas, quedando los contaminantes retenidos en la misma y el líquido filtrado es recirculado, la figura 2-32 muestra un filtro de bolsa (Susumu, 2002).

Este es capaz de deshidratar sólidos hasta obtener del 15% al 25% por peso de los lodos, también se pueden utilizar productos químicos, para aumentar su eficiencia.

Figura 2-33.- Filtro de bolsa.

✓ **Centrifugación.**

La centrifugación es un método por el cual se pueden separar sólidos de líquidos con diferente densidad mediante una centrifugadora, la cual imprime a la mezcla un movimiento rotatorio con una fuerza de mayor intensidad que la gravedad, provocando la sedimentación del sólido o de las partículas de mayor densidad. La centrifugación impone, gracias a la aceleración centrífuga, un efecto parecido al gravitacional donde las partículas experimentan una aceleración que las obliga a sedimentar.

La centrifugación puede dividirse en primera instancia en dos grandes grupos: La preparativa y la analítica. En la primera, se obtienen grandes cantidades del material que se desea estudiar, mientras que en la segunda se procede al análisis de las macromoléculas en una ultracentrifugación. Existen diversos métodos de centrifugación y una extensa variedad de técnicas derivadas de esta (www.ciberteca.net/index.php).

Su aplicación más común es la separación de sustancias sólidas a partir de suspensiones altamente concentradas. Si se usa de esta manera para el tratamiento de las aguas residuales se consigue la deshidratación y creación de sedimento más o menos consistente dependiendo de la naturaleza del lodo tratado, y la aceleración en concentrar o aumentar el grosor de lodo poco concentrado.

La mayoría de los centrifugadores rotan gracias a algún tipo de fuerza motriz. El tipo de centrifugadores para la sedimentación incluyen:

- Hidrociclones.
- Campana tubular centrífuga.
- Camaras-campana de centrifugación.
- Centrifugador de cesta imperforada.
- Separador de discos.
- Decantador (figura 2-34).



Figura 2-34.- Decantador centrífugo.

IV. Secado de lodos.

Mediante el secado de los lodos se consigue reducir el peso de los mismos. El secado se lleva a cabo mediante la evaporación del agua que existe en los lodos.

El secado de los lodos es producido generalmente mediante procedimientos basados en contacto, convención o radiación. No es necesario el suministro de grandes cantidades de aire porque el calor suministrado por contacto entre el producto que se descarga y las paredes calientes es suficiente. Solo se requiere una cantidad de flujo de gas mínima para la evacuación del vapor. Esto tiene como ventaja que el gasto de aire de salida es bajo.

Secado por convención se consigue mediante el tratamiento de los lodos con aire caliente. El aire ambiental se calienta mediante un calentador o intercambiador de calor-vapor y este aire entra en contacto con el lodo en un tambor o cinturón de secado.

El secado por radiación significa que el calor se suministra mediante radiación del lodo. Por ejemplo radiación solar o calentamiento mediante elementos infrarrojo.

Para elegir el método de secado más adecuado hay que tener en cuenta las siguientes condiciones:

- ✓ Adherencia segura
- ✓ Compatibilidad medio ambiental
- ✓ Flexibilidad del método de secado en relación con las cantidades variables de lodo

Debido al alto nivel de inversión y grandes costos de operación de las plantas de secado, este proceso solo se aplica en plantas de tratamiento de aguas residuales grandes (Metcalf & Eddy, 1997, Ottaviani, 1991 y Ron Crites, 2000).

Nota: *El tratamiento y disposición final de los lodos residuales pueden representar hasta un 50% de los costos de operación de una planta de tratamiento.*

2.4.-TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN CIUDAD UNIVERSITARIA.

2.4.1.- RED DE ALCANTARILLADO EN CU.

La red de alcantarillado tiene una longitud aproximada de 23 km, en diámetros que van desde los 30 a los 91 cm., en los ramales principales. La tubería está construida en asbesto-cemento.

La red de alcantarillado, en la zona escolar, tiene una antigüedad de 52 años. Mientras que la red de la zona de institutos y la zona cultural se construyó recientemente, teniendo una antigüedad de 5 años y tiene una longitud aproximada de 2 km.

Las redes de drenaje de Ciudad Universitaria conducen el agua residual a las Plantas de tratamiento de agua residual de la avenida Cerro del agua, de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, del edificio 12 del Instituto de Ingeniería y a las 26 plantas tipo BRAIN.

- ✓ Derivado de la necesidad de dar tratamiento a las aguas residuales que se generan en la zona denominada de Geos y a la necesidad de llevar agua residual a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad Universitaria durante la noche para mantener un gasto de alimentación constante a los procesos de tratamiento, surgió la idea de captar las aguas de las zonas aledañas durante el día y bombearlas a la planta de Cerro del Agua durante la noche (Dirección General de Obras y Conservación del Campus Universitario, 2008).

2.4.2.- TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN DE LA ZONA DE GEOS.

LOCALIZACIÓN.

El tanque de homogeneización de la zona de Geos se ubica en una hondonada entre los Institutos de Geografía, Geología, Geofísica y la Coordinación de la Investigación Científica. Hacia el oriente de la Ciudad Universitaria.

DESCRIPCIÓN.

El tanque de homogeneización está constituido por dos partes fundamentales, lo que es propiamente el tanque de homogeneización y el sistema de control de olores. El tanque tiene una capacidad de almacenamiento de casi 800 m³. La figura 2-35 muestra el diagrama del tanque de homogeneización de la zona de Geos.

PRETRATAMIENTO.

El pretratamiento consiste en una rejilla de limpieza mecánica, mediante la cual se remueven los sólidos gruesos que llegan en el agua residual. Los sólidos son depositados en una canasta por medio de un peine que funciona de manera continua para después llevarlos a un contenedor de basura.

TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN.

Este tanque sirve para almacenar las aguas residuales que se generan durante el día y para bombearlas hasta la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cerro del Agua durante las noches. De tal forma que se suministra un agua con una calidad uniforme y ayuda al sostenimiento de los procesos biológicos de la planta.

El tanque está dividido en dos cámaras independientes para facilitar su mantenimiento; en cada una de ellas se tiene un agitador para homogeneizar el volumen almacenado. Posteriormente el agua es bombeada a la planta de tratamiento mediante tres bombas centrífugas de 10 HP cada una, las cuales se encuentran alojadas dentro de un cárcamo seco.

SISTEMA DE CONTROL DE OLORES.

Este sistema consiste en la succión del gas dentro de los módulos del tanque de homogeneización mediante tuberías que están conectadas a la succión de un tanque de condensación. La función de este tanque es la de condensar el exceso de humedad que viene en el gas para evitar daños en los sopladores. El gas sale del tanque de condensados y entra directamente al soplador tipo vortex autogenerativo, el cual conduce el gas hasta la torre de humidificación, en ésta se rocía agua al gas hasta llevarlo a una humedad entre 60 y 70 %, la torre se encuentra empacada con un material sintético para incrementar el área de contacto entre el gas y el agua.

Una vez humidificado el gas, se envía a los biofiltros de composta, en estos equipos se lleva a cabo la eliminación de los compuestos que ocasionan los olores desagradables, mediante el paso del gas a través de la composta. Una vez neutralizados los olores de la corriente del gas, éste se ventea a la atmósfera en un punto alejado de los edificios (Dirección General de Obras y Conservación del Campus Universitario, 2008).

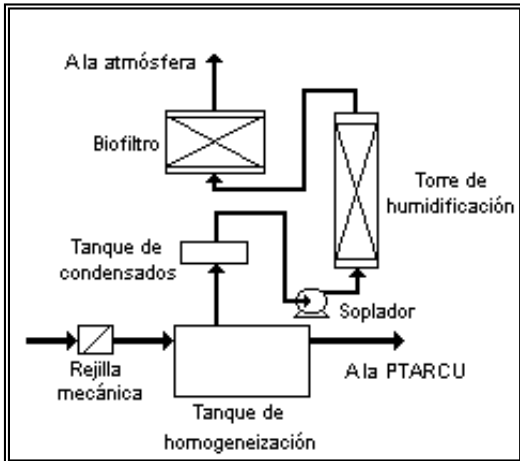


Figura 2-35.- Diagrama del tanque de homogeneización y del sistema de control de olores.

2.4.3.- PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CERRO DEL AGUA (PTARCA).

Esta planta de tratamiento está ubicada en la parte más baja de la Ciudad Universitaria, al noroeste del campus, en la esquina que forman la avenida Cerro del Agua y el Circuito Escolar, frente a la Facultad de Medicina, esta planta abastece de agua residual tratada a doce cisternas que están distribuidas en el campus universitario. Fue diseñada para tratar 40 L/s (3,456 m³/día), sin embargo está operando a una capacidad de 18-20 L/s.

CAPTACIÓN DE AGUAS.

Las aguas residuales que recibe la planta de Ciudad Universitaria provienen de diversas zonas del campus universitario, las cuales llegan a través de dos colectores, denominados como "Zona Antigua" y "Zona de Institutos", posteriormente se conectó un tercer colector proveniente de la colonia Copilco el Alto, denominado con el mismo nombre. Actualmente, del caudal original de éste último, solo se recibe el 10 % (aproximadamente 2 L/s).

PRETRATAMIENTO.

Consiste en eliminar los sólidos orgánicos e inorgánicos pesados y de gran tamaño con el fin de facilitar los procesos subsecuentes del tratamiento, para ello, la planta cuenta con dos sistemas, en el primero, el agua pasa a través de rejillas metálicas, que separan los residuos sólidos de gran tamaño (botes, plásticos, papeles, etc.), la limpieza de estas rejillas se realiza manualmente. La segunda etapa es el desarenador, donde se separan las arenas, gravillas y en general, los sólidos que son considerablemente más pesados que el agua por medio de sedimentación.

MEDIDORES DE FLUJO.

La medición de gastos se efectúa con canales Parshall, los cuales tienen una contracción o garganta que produce una elevación del nivel en función del caudal de agua que pasa a través de él. En la Planta se tienen tres medidores de éste tipo, y están colocados en paralelo para permitir la distribución de flujo a los tres procesos biológicos de tratamiento (Dirección General de Obras y Conservación del Campus Universitario, 2008).

“TRATAMIENTO SECUNDARIO”

SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS.

Es un proceso biológico aerobio con biomasa suspendida, y cuya función es la de eliminar la materia orgánica disuelta en el agua residual por la acción de microorganismos (biomasa), los cuales degradan a la materia orgánica y la convierten en materiales que es más fácilmente separable. El sistema es del tipo completamente mezclado y con aireación mecánica sumergida.

El agua residual alimenta al tanque de aireación, en el cual se tienen a los microorganismos, los cuales forman flóculos con la materia orgánica, recibiendo el nombre de lodos activados y es donde ocurre la biodegradación. El suministro de oxígeno suficiente para la degradación de la materia orgánica por los microorganismos se realiza a través de un sistema de aireadores sumergidos. Por el otro extremo del tanque sale la corriente de agua que arrastra a los lodos activados, los cuales son separados en el sedimentador secundario, los lodos tienen mayor densidad que el agua y se acumulan en la parte inferior del sedimentador secundario, el agua clarificada se derrama por la parte superior y se envía a la siguiente etapa de tratamiento. Los lodos son extraídos y conducidos por la parte inferior hacia el cárcamo de recirculación de lodos y de ahí son bombeados, ya sea al tanque de aireación o a purga.

SISTEMA DE DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS.

Este sistema, al igual que el de lodos activados, sirve para eliminar la materia orgánica del agua residual por medio de microorganismos de metabolismo aerobio. Consiste de una serie de discos de material plástico (poliestireno de alta densidad) parcialmente sumergidos en un tanque al que llega el agua residual; sobre la superficie de éstos se encuentran adheridos los microorganismos que efectúan la biodegradación. Los discos se encuentran girando, de tal forma que los microorganismos se ponen en contacto con la materia orgánica y se favorece la oxigenación. El exceso de biomasa (lodos) se desprende de los discos y se incorpora al flujo de agua, y se separa de ésta en el sedimentador secundario, el cual funciona de manera similar al de lodos activados, con la diferencia de que en este sistema los lodos son desechados sin recircularse.

FILTRO ROCIADOR.

La función de este sistema también es la de eliminar la materia orgánica disuelta del agua residual por acción de microorganismos predominantemente aerobios. El agua residual llega al cárcamo de alimentación del filtro y se bombea hacia un rociador instalado en la parte superior del biofiltro. El biofiltro se encuentra empacado de un material plástico y sobre la superficie de éste se encuentran adheridos los microorganismos. El agua se escurre sobre la superficie del empaque y se pone en contacto con los microorganismos, de tal forma que al escurrirse hasta la parte inferior, los microorganismos ya degradaron la materia orgánica. El agua sale de la torre y llega a la caja partidora, en la que se divide la corriente en dos: una parte se envía al primer cárcamo para recircularla y depurar la calidad; la otra parte se envía al cárcamo que alimenta al sedimentador, donde se bombea el agua al clarificador secundario y cuya función es la misma que en los otros procesos anteriores, separar la biomasa del agua tratada (Dirección General de Obras y Conservación del Campus Universitario, 2008).

“TRATAMIENTO TERCARIO”

FILTROS DE ARENA.

Se tienen instalados seis filtros rápidos de arena, cuya finalidad es la eliminación de partículas suspendidas en el agua tratada. El agua, al salir de los sedimentadores secundarios se une en una sola corriente y se envía a filtración. Los filtros consisten en dos cámaras, las cuales funcionan con el principio de vasos comunicantes; en la parte inferior de la primera cámara se tiene un falso fondo, sobre el cual se encuentra una capa de grava que sirve de soporte al medio filtrante (arena). Se inunda la primera cámara, forzando el paso del agua a través del filtro mediante una diferencia de nivel con respecto a la segunda cámara, las partículas suspendidas se retienen sobre la arena.

DESINFECCIÓN.

Casi la totalidad del agua filtrada se envía directamente al cárcamo de agua tratada; mientras que una pequeña cantidad es bombeada hacia un dosificador de cloro, donde se prepara una solución lo suficientemente concentrada para que al unirse con la corriente principal se diluya, obteniéndose una concentración adecuada para efectuar la desinfección de la totalidad del agua tratada. Esto con el fin de no correr riesgos de infección por el manejo del agua tratada. Desde este mismo tanque se bombea el agua hacia las cisternas donde es consumida (Dirección General de Obras y Conservación del Campus Universitario, 2008).

En la Fig. 2-36.- se muestra la distribución de los equipos que conforman el sistema de tratamiento.

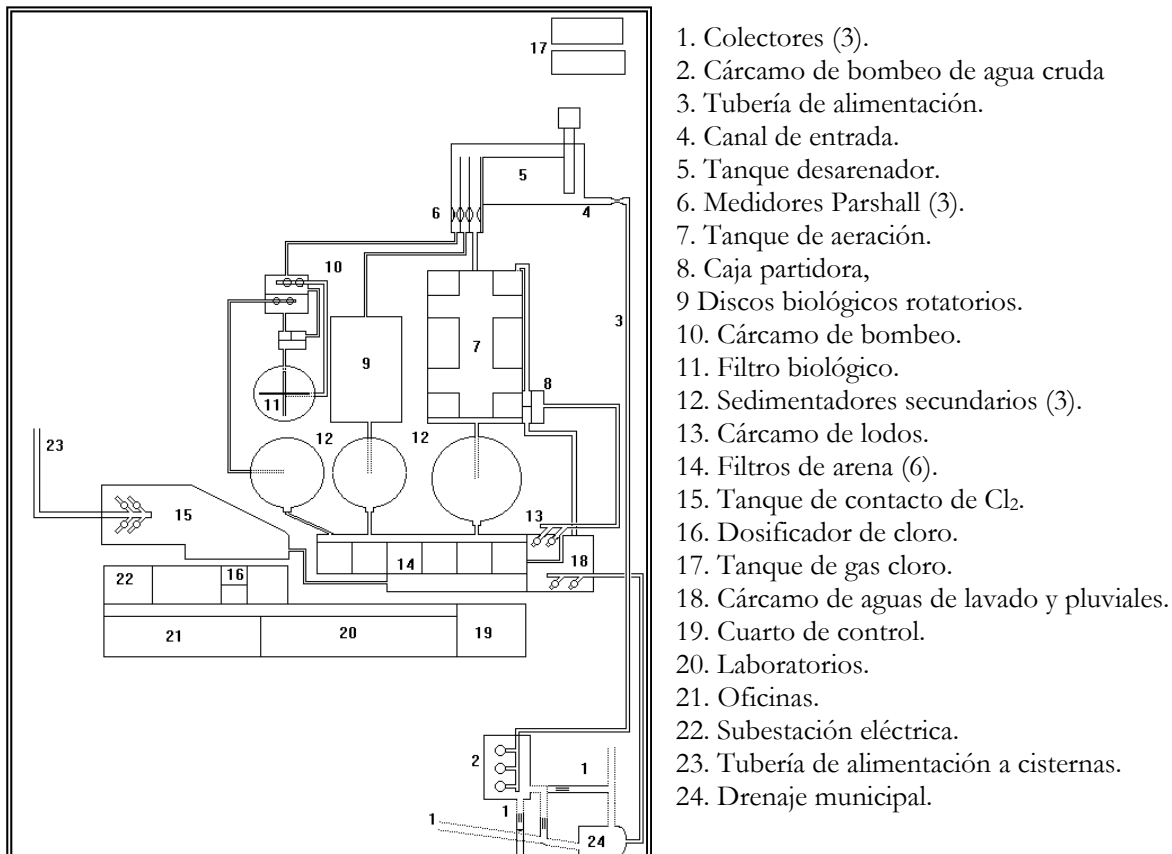


Figura 2-36.- Diagrama de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cerro del Agua.

2.4.4.- PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS POLÍTICAS Y SOCIALES (PTARCPS).

Esta planta de tratamiento (figura 2.37) se terminó de construir en 1999 y fue diseñada para tratar 7.5 L/s (648 m³/d), provenientes de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.

Debido a la falta de infraestructura para conducir agua residual hasta esta planta, actualmente está operando entre 1 - 1.9 L/s.

LOCALIZACIÓN.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales (PTARCPS) se ubica sobre el Circuito Mario de la Cueva entre el Instituto de Investigaciones Antropológicas y la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, y da servicio, además de estas dependencias, a la tienda UNAM, la filмотeca, TV UNAM y los Institutos de Investigaciones Económicas y el de Investigaciones Filológicas.

PRETRATAMIENTO.

Las aguas residuales llegan a través de tres colectores a un primer cárcamo, denominado como de Captación. Este tanque cuenta con un arenero y una rejilla de cribado grueso. Posteriormente, el agua es bombeada a una rejilla de cribado fino. La función del pretratamiento es separar los sólidos gruesos y las arenas, esto con el fin de no afectar a los siguientes procesos.

IGUALACIÓN.

Después de la rejilla de cribado fino, el agua cae a un tanque de igualación, cuya función es la de regular las cargas hidráulica y orgánica que se alimentan a los reactores biológicos. Este tanque cuenta con dos bombas sumergibles y una tubería de retorno para regular el gasto que se suministra.

“TRATAMIENTO SECUNDARIO”

REACTORES BIOLÓGICOS.

La parte medular de esta planta son los reactores biológicos, los cuales son del tipo de biopelícula suspendida aerobia. Se tienen dos torres empacadas con un medio sintético y conectadas en serie. La aireación se lleva a cabo por medio de difusores de burbuja gruesa localizados en el fondo del tanque. En estos reactores se tienen microorganismos adheridos al medio y se encargan de transformar la materia orgánica disuelta en el agua en partículas que sean más fácilmente separables, a través del metabolismo de los mismos.

SEDIMENTADOR SECUNDARIO.

El efluente de los reactores biológicos se conduce hasta el sedimentador secundario, en el cual se separan los lodos biológicos del agua tratada. Este sedimentador es de placas paralelas (lamelas), las cuales favorecen la separación de los sólidos. Los lodos son extraídos desde el fondo por medio de una bomba sumergible y conducidos hasta el digestor. El efluente es enviado al tanque de alimentación del filtro de arena (Dirección General de Obras y Conservación del Campus Universitario, 2008).

“TRATAMIENTO Terciario”

FILTRO DE ARENA.

La función del filtro de arena es separar del agua tratada los sólidos suspendidos de ella. Para esto, el agua se hace pasar a través de un lecho de arena. El filtro es del tipo a presión y para su funcionamiento requiere de una bomba auxiliar que genere la carga necesaria para vencer la caída de presión del filtro y de una válvula que dirija el caudal desde y hacia las diferentes partes del filtro en sus fases de operación.

DESINFECCIÓN.

La desinfección se lleva a cabo en la línea de descarga del filtro de arena, en la cual se dosifica una solución de hipoclorito de sodio mediante una bomba peristáltica.

CISTERNA DE ALMACENAMIENTO.

Una vez tratada el agua, ésta se conduce hasta un tanque donde se almacena y desde el cual se maneja para su aprovechamiento.

DIGESTOR DE LODOS.

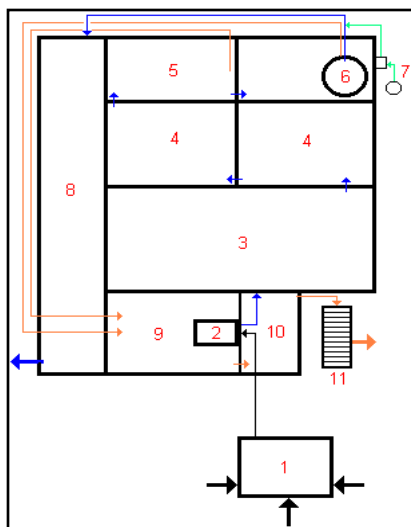
El digestor instalado es del tipo aerobio, en el cual se confinan los lodos biológicos el tiempo suficiente para efectuar su estabilización. La aireación se lleva a cabo mediante difusores de aire de burbuja gruesa desde el fondo del tanque. Una vez digeridos los lodos, se bombean al tanque de acondicionamiento para su posterior deshidratación.

ACONDICIONADOR DE LODOS.

En este tanque, los lodos digeridos se preparan para su deshidratación, este acondicionamiento se logra mediante la aplicación de algún reactivo que permita la agregación de los lodos y facilitar su filtración, para este caso se emplea hidróxido de calcio.

FILTRO PRENSA

El filtro prensa es el equipo con el cual se deshidratan los lodos para su posterior manejo y disposición (Dirección General de Obras y Conservación del Campus Universitario, 2008).



- 1) Cárcamo de captación
- 2) Rejilla de cribado fino.
- 3) Tanque de igualación.
- 4) Reactores biológicos.
- 5) Clarificador.
- 6) Filtro de arena.
- 7) Clorador.
- 8) Tanque de almacenamiento de agua tratada.
- 9) Digestor de lodos.
- 10) Tanque acondicionador de lodos.
- 11) Filtro prensa.

Figura 2-37.- Diagrama de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.

2.4.5.- PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL TIPO BRAIN (PTARBRAIN).

Una planta BRAIN (Bio-Reactor Anaerobio Integrado) es una planta de tratamiento prefabricada (de tipo paquete) para saneamiento y reuso de aguas residuales.

Este tipo de planta es idónea para regenerar las aguas residuales de los núcleos habitacionales localizados en sectores urbanos y zonas rurales que carecen de la infraestructura de drenaje, como lo es el Campus Universitario debido al tipo de terreno, Sus características geológicas (pedregal de roca basáltica), hacen muy difícil y costosa la introducción de redes de drenaje.

Su instalación es expedita, no emplea equipo y funciona con microorganismos que se desarrollan en forma natural dentro del reactor, de tal suerte que no requiere de insumos, lo cual simplifica su operación y reduce su mantenimiento a la extracción temporal de los lodos, mismos que se digieren plenamente y que son fácilmente acondicionables para su disposición final, acorde con lo que establecen las normas ecológicas (Tecno adecuación ambiental, 1996).

Estas plantas fueron instaladas y puestas en operación en el primer semestre de 1997 por una empresa, la cual ganó el paquete de Licitación Pública Internacional a precio alzado No. 95-DGO-LPII-0100, emitida el 14 de marzo de 1996 en el Diario Oficial de la Federación para la Construcción y/o Adecuación de 26 Fosas Sépticas con Postratamiento para Aguas Residuales en el Campus Universitario.

INTEGRACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO.

De acuerdo con las bases de licitación del proyecto, la compañía ganadora del concurso construyó las PTAR con las etapas que se describen a continuación:

Tratamiento primario por medio de rejillas para la separación de sólidos gruesos, mampara de separación de grasas y aceites.

Tratamiento secundario que incluye fosa séptica, registro de distribución y biorreactor anaerobio (flujo ascendente), cárcamo de agua tratada y la disposición de ésta a la grieta.

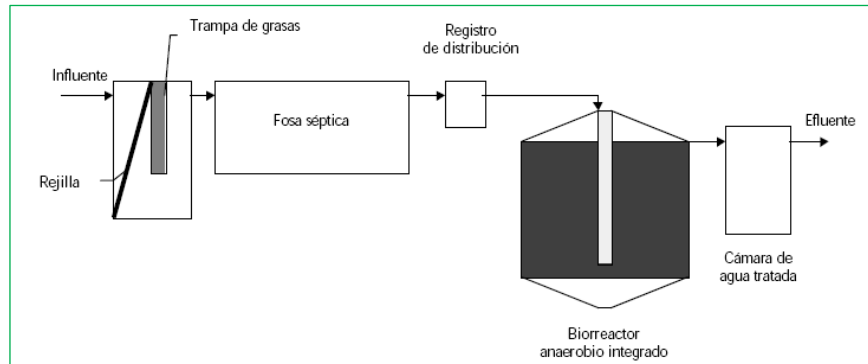
Esto es en el caso de instalaciones con flujo de diseño de $5 \text{ m}^3/\text{d}$ (Fig. 2-38 A). Por otra parte, las instalaciones de 10 y $15 \text{ m}^3/\text{d}$ también cuentan con un postratamiento (Fig. 2-38 B).

Postratamiento: este consiste en una cámara de contacto de cloro y un filtro de arena, ambos posteriores al biorreactor anaerobio (Fig. 2-38 B). El biorreactor anaerobio es básicamente un reactor de tipo lecho de lodos de flujo ascendente, que consiste de una cámara de digestión inferior, y una zona empacada en la parte media y alta, la cual proporciona un arreglo de sedimentador de alta tasa (placas paralelas) y un soporte para la adhesión de biopelícula (Tecno adecuación ambiental, 1996).

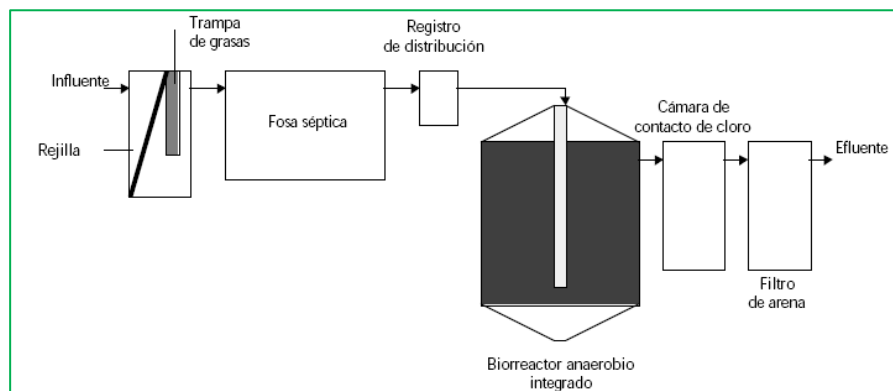
Actualmente, de las 26 plantas BRAIN que se instalaron, solo se encuentran en operación 19 de ellas, las 7 plantas restantes se encuentran fuera de servicio debido a la ampliación de la red de drenaje de Ciudad Universitaria o a la modificación del terreno (tabla 2-7).

Tabla 2-7.- Estado actual de las plantas de tratamiento de agua residual tipo BRAIN.

No.	Ubicación de las plantas	Capacidad (m ³ /d)	Estado actual
1.-	Registro aspirantes (oficinas)	5	Funcionando
2.-	Registro aspirantes (publico)	5	Funcionando
3.-	Caseta vigilancia av. Iman	5	Fuera de servicio
4.-	Caseta de vigilancia av. Insurgentes (zona cultural)	5	Funcionando
5.-	Dirección de teatro y danza	10	Funcionando
6.-	Sala Nezahualcoyotl	5	Funcionando
7.-	Caseta de vigilancia circ. Mario de la cueva	5	Funcionando
8.-	Vivero alto (cabaña 1)	5	Funcionando
9.-	Vivero alto (invernadero)	5	Fuera de servicio
10.-	Vivero alto (caseta de cloración)	5	Funcionando
11.-	Mesa vibradora	5	Funcionando
12.-	Mesa vibradora (taller)	5	Funcionando
13.-	Jardín botánico (oficinas)	5	Fuera de servicio
14.-	Jardín botánico (baños públicos)	5	Fuera de servicio
15.-	Posgrado de odontología (ala norte)	10	Funcionando
16.-	Posgrado de odontología (ala sur)	10	Funcionando
17.-	Caseta de vigilancia metro universidad	5	Funcionando
18.-	Comedor anexo ingeniería	5	Funcionando
19.-	Caseta de vigilancia av. Insurgentes (trabajo social)	5	Fuera de servicio
20.-	Caseta de vigilancia (campo beisbol)	5	Fuera de servicio
21.-	Planta incineradora	5	Fuera de servicio
22.-	Canchas futbol (Pumitas)	5	Funcionando
23.-	Gimnasio	15	Funcionando
24.-	Subdirección de medicina deportiva	5	Funcionando
25.-	Unión de universidades de América Latina (UDUAL)	5	Funcionando
26.-	Caseta de vigilancia (ala poniente estadio olímpico)	5	Funcionando



A) Diagrama de flujo de proceso para las instalaciones BRAIN de 5 m³/d



B) Diagrama de flujo de proceso para las instalaciones BRAIN de 10 y 15 m³/d

Figura 2-38.- Diagramas de las PTAR tipo BRAIN.

Fuente: Tecno adecuación ambiental, 1996.

2.4.6.- PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL EDIFICIO 12 DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA (PTARE12).

Esta planta de tratamiento es de tipo paquete (figura 2-39), fue construida en 2007 y se diseñó para tratar 0.05 L/s (3 m³/d), provenientes de los edificios 12 y 18 del Instituto de Ingeniería.

Actualmente ésta planta opera al 75% de su capacidad de operación y la calidad de agua que produce no ha sido evaluada para determinar su cumplimiento con alguna norma, así como tampoco se le da un uso adecuado al agua residual tratada.

Actualmente el agua tratada es enviada a la red de drenaje, ya que se carece de acondicionamiento para su reuso.

LOCALIZACIÓN

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Edificio 12 (PTARE12) se ubica dentro de las instalaciones del Instituto de Ingeniería del campus universitario, entre el edificio 12 y el edificio 18 del mismo Instituto.

“TRATAMIENTO PRIMARIO”

CÁRCAMO DE BOMBEO.

Las aguas residuales son captadas en el cárcamo de bombeo, llegan a través de tres colectores, dos de ellos provienen del edificio 12 y el tercero viene del edificio 18, el cárcamo cuenta con una bomba sumergible la cual envía el agua hacia la fosa séptica.

FOSA SÉPTICA

Al enviar el agua a la fosa séptica donde además de regular las cargas hidráulicas y orgánica también se distribuye la alimentación a los tanques contenedores de los lodos activados. La fosa cuenta con una bomba sumergible, con la cual abastece a los tanques de lodos.

“TRATAMIENTO SECUNDARIO”

SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS.

Es un proceso biológico aerobio con biomasa suspendida, y cuya función es la de eliminar la materia orgánica disuelta en el agua residual por la acción de microorganismos (biomasa), los cuales degradan a la materia orgánica y la convierten en materiales que son más fácilmente separables.

“TRATAMIENTO TERCARIO”

FILTRO DE ARENA

La función del filtro de arena es separar del agua tratada los sólidos suspendidos de ella. Para esto, el agua se hace pasar a través de un lecho de arena. El filtro es de tipo a presión y para su funcionamiento requiere de una bomba auxiliar que genere la carga necesaria para vencer la caída de presión del filtro.

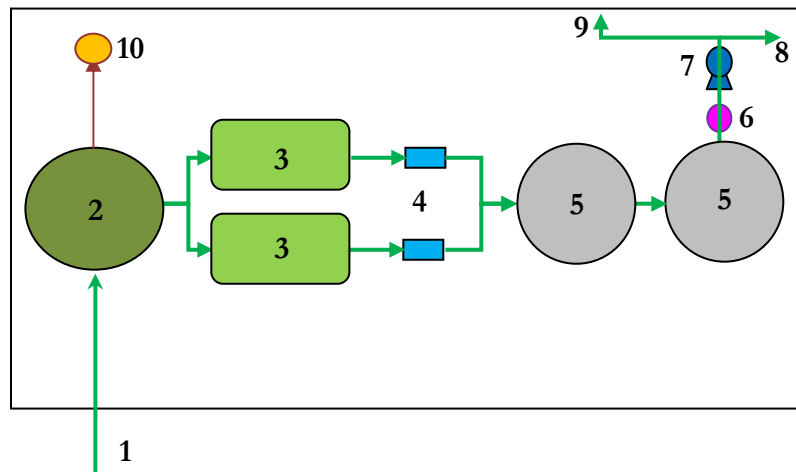
DESINFECCIÓN

La desinfección se lleva a cabo en la línea de descarga, en la cual se inyecta una cantidad de cloro mediante un dosificador.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO

El sistema de almacenamiento consta de 2 Tanques de polietileno con una capacidad de 5000 L cada uno, el agua es guiada hasta estos dispositivos donde se almacena y posteriormente es enviada a la red de drenaje de C. U.

Figura 2-39.- Diagrama de la planta de tratamiento de agua residual del edificio 12 del Instituto de Ingeniería.



- | | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| 1. Influyente | 6. Filtro de arena. |
| 2. Fosa séptica. | 7. Bomba |
| 3. Tanque de lodos activados (2). | 8. A drenaje |
| 4. Cloradores (2) | 9. A edificio 12. |
| 5. Tanques de almacenamiento (2). | 10. Tratamiento de olores |

2.4.7.-RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA TRATADA

El agua tratada de la planta de tratamiento de Cerro del Agua se bombea a doce cisternas de almacenamiento (tabla 2-9), las cuales se encuentran distribuidas en diversos puntos dentro del campus Universitario (figura 2-40). Once de estas cisternas son alimentadas mediante una línea principal, con un diámetro que va de 10” a la salida de la planta hasta un diámetro de 8” en su parte final en el Vivero Alto. El material con que está construida la tubería es de polietileno y de acero al carbón. La otra cisterna (Facultad de Veterinaria) puede ser alimentada desde la PTARCA y PTARCPS mediante una tubería de 4” de acero al carbón (Dirección General de Obras y Conservación del Campus Universitario, 2008).

La longitud de la red de distribución de agua tratada es de 5 km, aproximadamente.

CISTERNAS DE ALMACENAMIENTO PARA AGUA TRATADA.

Tabla 2-8.- Cisternas de almacenamiento para agua tratada, proveniente de la planta Cerro del Agua.

Cisterna	Capacidad (m ³)	Diámetro de la tubería de alimentación
1. Camellón de la Fac. de Química	350 + 600	4”
2. Campus Central	901	6”
3. Consejos Académicos	687	4”
4. Estadio Olímpico	85	4”
5. Campos de Calentamiento	326	8”
6. Campo de Béisbol	140	4”
7. Nueva Zona Deportiva	248 + 650	8”
8. Jardín Botánico Exterior	268	4”
9. Unidad de Seminarios	45	4”
10. Tepozán	19	4”
11. Estanque de los Peces	377	8”
12. Camellón de la Fac. de Veterinaria	950	4”
Volumen de total de almacenamiento:	5,646 m³	

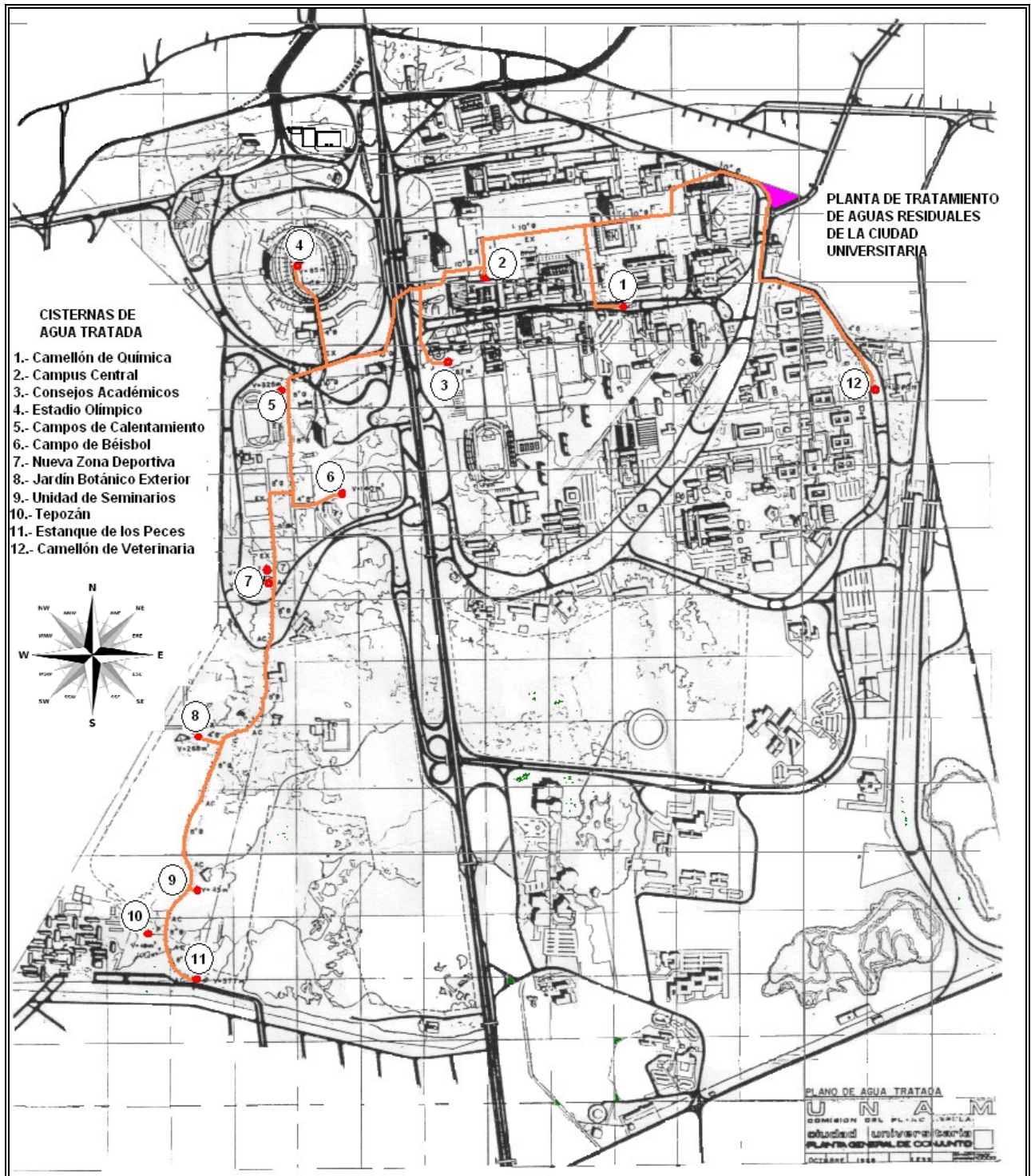


Figura 2-40.- Distribución de las cisternas de almacenamiento de agua tratada, proveniente de la planta Cerro del Agua (Dirección General de Obras y Conservación del Campus Universitario, 2008).

2.5.- CONSIDERACIONES PARA MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES.

El muestreo de aguas residuales está reglamentado por la Norma Mexicana NMX-AA-003-SCFI-2006, la cual establece los lineamientos generales y recomendaciones para el muestreo de aguas residuales, municipales e industriales, con el fin de determinar sus características físicas, químicas y bacteriológicas. En la tabla 2-9 se muestra la frecuencia de muestreo de acuerdo a la fuente de descarga, y la tabla 2-10 presenta las características de conservación para cada parámetro.

Para la caracterización de la calidad del agua residual es necesario la implementación del muestreo, éste es de vital importancia e imprescindible para obtener datos concernientes a sus características físicas, químicas y biológicas. Por lo que el muestreo en este caso no es más que la actividad de recolección de una pequeña porción del total de agua que representa el carácter y calidad de la masa volumétrica de la cual se toma (NMX-AA-003-SCFI-2006).

La buena elección del sitio y frecuencia de muestreo, de los parámetros a cuantificar, así como de realizar un adecuado muestreo es el inicio de un buen estudio, el cual generará resultados confiables que serán utilizados para evaluar y proponer las distintas alternativas de solución a los problemas de contaminación del recurso hídrico.

Tabla 2-9.- Frecuencia de muestreo, de acuerdo a la NMX-AA-003-SCFI-2006.

Horas por día que opera el proceso generador de la descarga	N° de muestras simples	Intervalo entre toma de muestras simples (horas)	
		Mínimo	Máximo
Menor a 4	Mínimo 2	-	-
De 4 a 8	4	1	2
De 8 a 12	4	2	3
De 12 a 18	6	2	3
De 18 a 24	6	3	4

Fuente: NMX-AA-003-SCFI-2006.

Tabla 2-10.- Características por parámetro de conservación, material, volumen y tiempo máximo previo al análisis.

Parámetros	Conservación	Material del recipiente	Volumen	Tiempo máximo previo al análisis
Temperatura	No aplica	Vidrio / Polietileno	1,0 L	Sitio, Inmediato
pH	No aplica	Vidrio / Polietileno	100 Ml	Sitio, Inmediato
Conductividad	4 °C	Plástico	100 Ml	24 Horas
Materia flotante	NA	Plástico	5,0 L	Sitio, Inmediato
Sólidos	4 °C	Vidrio/ Polietileno	1500 Ml	7 Días
Color	4 °C	Plástico	100 Ml	24 Horas
Olor	4 °C	Vidrio Tapón esmerilado	1,0 L	6 Horas
Grasas y aceites	HCl 1:1 pH<2	Vidrio Boca Ancha	1,0 L	28 Días
Sólidos en todas sus formas	4 °C	Plástico	500 Ml	7 Días
DBO ₅	4 °C	Vidrio/ Polietileno	1,0 L	24 Horas
DQO	H ₂ SO ₄ pH <2	Vidrio / Polietileno	1,0 L	28 Días
Fósforo total	4 °C	Plástico	500 Ml	28 Días
Cromo hexavalente	HNO ₃ pH < 2	Vidrio	300 Ml	24 Horas
Sulfúros	4 °C	Plástico	1,0 L	7 Días
Alcalinidad total	4 °C	Vidrio / Polietileno	500 Ml	24 Horas
Acidez total	4 °C	Vidrio/ Polietileno	500 Ml	24 Horas
Cloruros totales	4 °C	Vidrio/ Polietileno	500 Ml	7 Días
Cianuros	NaOH pH > 12	Vidrio / Plástico	1,0 L	14 Días
Fluoruros	4°C	Polietileno	300 Ml	28 Días
Fenoles	2 Ml De H ₂ so ₄ / 5	Vidrio/ Polietileno	2,0 L	28 Días
Nitrógeno total	H ₂ so ₄ pH <2	Polietileno	2,0 L	7 Días
Nitritos	4 °C	Plástico	100 Ml	24 Horas
Nitratos	4 °C	Vidrio/ Polietileno	500 Ml	48 Horas
Sulfatos	4 °C	Plástico	1 L	7 Días
SAAM	HNO ₃ pH < 2	Polietileno	600 ml	7 Días
Oxígeno disuelto	4 °C	Plástico	500 ml	8 Horas
Turbiedad	4 °C	Vidrio/Polietileno	100 ml	24 horas
Boro	HNO ₃ pH < 2	Polietileno	100 ml	6 Meses
Dureza total	HNO ₃ pH < 2	Vidrio/Polietileno	400 ml	6 Meses
Sílice	4 °C	Plástico	1 L	7 Días
Metales	HNO ₃ pH < 2	Polietileno	500 ml	6 Meses
Metales (Hg)	HNO ₃ pH < 2	Polietileno	250 ml	28 Días
Coliformes totales y fecales	4 °C Tio sulfato de sodio cuando hay	Vidrio tapón esmerilado / Bolsas de plástico estériles	250 ml	24 horas
Huevos de helminto	4 °C formaldehído al 4%	Plástico	8 L	2 Meses

Fuente: NMX-AA-003-SCFI-2006.

2.6.- NORMATIVIDAD EN MATERIA DE AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO.

Aunque de manera indirecta, desde tiempos de la colonia ha existido la preocupación por proteger los recursos naturales. Fue hasta marzo de 1971 que inició la estructura de un marco legal en materia de protección al ambiente al promulgarse la Ley Federal para prevenir y controlar la contaminación ambiental y, de forma más directa sobre la normatividad de aguas residuales en el reglamento para prevención y control de la contaminación de aguas de 1973. Éste ordenamiento fue derogado en febrero de 1982 al ponerse en vigor la Ley Federal de Protección al Ambiente. En este documento se establecen medidas orientadas a la protección al ambiente, se regulan todos los ámbitos donde la contaminación podría presentarse, así como sus efectos, y se incorpora la evaluación del impacto ambiental de las obras públicas y privadas.

Para fortalecer las bases constitucionales en materia ambiental, en agosto de 1987 se reformaron los artículos 27 y 63 de la Constitución Política, dando prioridad a la preservación y restauración del equilibrio ecológico. La Ley Federal de Protección Ambiental fue derogada en marzo de 1988, cuando entró en vigor la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, aún vigente, donde se define la legislación ecológica como un proceso de planeación dirigido a evaluar y programar el uso y manejo de los recursos naturales en el territorio nacional. Esta ley establece el ordenamiento ecológico general a cargo de la Federación, y de los respectivos estados y municipios (Del Castillo, 1998).

En la actualidad, las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) publicadas en el Diario Oficial de la Federación regulan legalmente todo lo que respecta a aguas nacionales, tanto potables, no potables, residuales y residuales tratadas.

En México, la autoridad y administración en materia de aguas nacionales corresponde al ejecutivo Federal, el cual la ejerce a través de la Comisión Nacional del Agua.

Las disposiciones establecidas por la CONAGUA en materia de regulación, explotación, uso y aprovechamiento de las aguas nacionales, así como su distribución, control y preservación de su cantidad y calidad, se encuentran contenidas en la Ley de Aguas Nacionales y en su reglamento. Así mismo la CONAGUA por medio de la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, establece los derechos y obligaciones de los habitantes y del estado en materia de aguas de la Nación (CONAGUA, Gaceta de administración del agua, 2007).

Se han hecho una serie de normatividades en materia de aguas residuales, con la finalidad de establecer uniformidad en los límites máximos permitidos en descargas de aguas residuales y límites máximos permitidos en aguas tratadas para distintos usos. Estas normatividades están establecidas en las Normas Mexicanas (NMX) y en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), que de manera general se resumen en tres:

I. NOM-001-SEMARNAT-1996

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

II. NOM-002-SEMARNAT-1996

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

III. NOM-003-SEMARNAT-1997.

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.

De las tres Normas Oficiales anteriores se han desarrollado una serie de normas para el cumplimiento de las mismas, algunas de ellas son las siguientes:

IV. NMX-AA-003-SCFI-2006.

Esta norma establece los lineamientos generales y recomendaciones para el **muestreo de aguas residuales**, municipales e industriales, con el fin de determinar sus características físicas, químicas y bacteriológicas, debiendo observar las modalidades indicadas en las normas de métodos de prueba correspondientes.

V. NMX-AA-004-SCFI-2000.

Esta norma mexicana establece el método de prueba para la determinación de **sólidos sedimentables** en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

VI. NMX-AA-005-SCFI-2000.

Esta norma establece el método que permite una estimación del contenido de **grasas y aceites** en aguas naturales, residuales y residuales tratadas al determinar gravimétricamente las sustancias que son extraídas con hexano de una muestra acuosa acidificada. La determinación de grasas y aceites es indicativa del grado de contaminación del agua por usos industriales y humanos.

VII. NMX-AA-012-SCFI-2001.

Esta norma mexicana establece los métodos de prueba para la **determinación de oxígeno disuelto (OD)** en aguas naturales y residuales utilizando las técnicas de azida modificada y la electrométrica.

VIII. NMX-AA-028-SCFI-2001.

Esta norma mexicana establece el método de análisis para la **determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)** en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

IX. NMX-AA-030-SCFI-2001.

Esta norma mexicana especifica dos métodos para la **determinación de la demanda química de oxígeno (DQO)** en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

X. NMX-XX-034-SCFI-2001.

Esta norma mexicana establece el método de análisis para la **determinación de sólidos** y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas

XI. NMX-AA-102-SCFI-2006.

Esta norma describe un método para la **detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*** en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

XII. NMX-AA-113-SCFI-1999.

Esta norma **establece el método para la detección y enumeración de huevos de helminto (He) en aguas residuales y lodos**, con el fin de evaluar la calidad del agua y la eficiencia de los sistemas de tratamiento.

Fuente: Secretaría de gobernación, DOF, www.economia-nmx.gob.mx/normasmx/consulta.nmx

CAPITULO 3: METODOLOGÍA.



Laboratorio de Ingeniería Ambiental
Instituto de Ingeniería de la UNAM.

3.1.- SELECCIÓN DE AGUA RESIDUAL A TRATAR.

Con la finalidad de reusar el agua residual generada en el edificio 12 del Instituto de Ingeniería de la UNAM y hacer de éste un edificio verde, implementando medidas de ahorro de agua aprovechando la infraestructura existente para su tratamiento, y reusándola en servicios sanitarios. Por otra parte se determinó que la edificación verde del Instituto de Ingeniería sería el edificio 12, debido a las características que presenta, tales como: disponibilidad de espacio para la colocación de paneles solares para la obtención de energía y contar recientemente con una planta de tratamiento de agua residual.

Por lo anterior, se determinó que fuera el edificio 12 al que se sometiera al análisis de sus aguas residuales crudas y tratadas, con la finalidad de implementar el reuso de agua tratada en sanitarios del mismo edificio.

3.2.- UBICACIÓN DEL EDIFICIO Y DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

El edificio 12 pertenece al grupo de edificios del Instituto de Ingeniería de la UNAM (figura 3-1), de Ciudad Universitaria. El Instituto de Ingeniería cuenta con 13 edificios y se encuentra ubicado en la parte Norte del Campus Universitario, entre la facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Facultad de Química, Facultad de Ingeniería y Anexos de la Facultad de Ingeniería.

El edificio 12 (figura 3-2) se localiza a un costado del Edificio 18 y de frente al edificio de posgrado e investigación de la Facultad de Ingeniería.



Figura 3-1.- Localización del Instituto de Ingeniería.

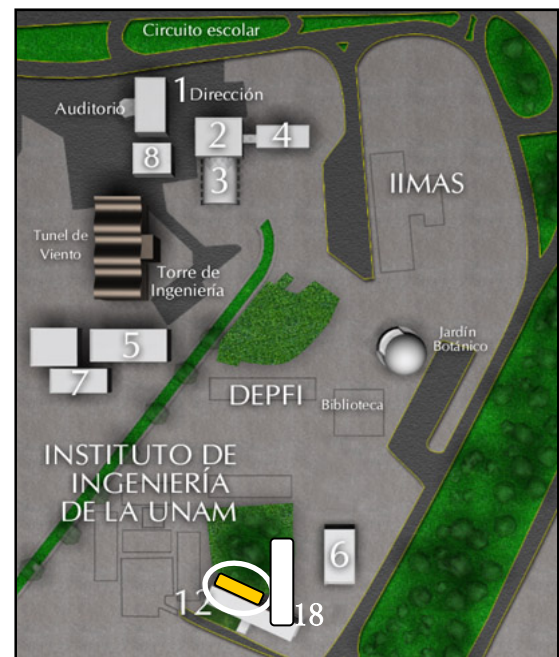


Figura 3-2.- Localización del edificio 12 del Instituto de Ingeniería. El círculo pequeño señala la ubicación de la planta de tratamiento del edificio 12.

3.3.- SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Se ubicaron los puntos de muestreo en la planta de tratamiento de agua residual del edificio 12, buscando que fueran los más representativos y confiables para la determinación de la calidad del agua (figura 3-3).

Se revisaron los planos de drenaje del edificio y del área circundante, finalmente se determinó que habría 2 puntos de muestreo confiables, siendo estos los siguientes:

- 1.- El primer punto de muestreo fue en el **cárcamo de bombeo**, al cual llegan todas las descargas de agua residual cruda del edificio.
- 2.- El segundo punto de muestreo fue a la salida de la planta, exactamente en **el tanque de almacenamiento** de agua residual tratada.

Se decidió tener un tercer punto de muestreo, debido a que se consideraba que había una alteración en las características del agua en esa zona.

- 3.- Siendo éste tercer punto la **fosa séptica**, la cual se localiza después del cárcamo de bombeo y antes de los tanques biológicos (tanques de lodos activados).



Es importante resaltar que los puntos de muestreo se determinaron considerando que son representativos en el funcionamiento de la planta, por lo que se tomaron en cuenta para ser monitoreados y determinar la calidad del agua.

Otro aspecto importante es el hecho de que el agua residual que se trata en la planta no solo proviene del edificio 12 sino que también la proveniente del edificio 18, estas aguas son vertidas y mezcladas en el cárcamo de bombeo, el cual está ubicado a 6m del edificio 12 y a 3m del edificio 18. La figura 3-4 muestra la representación esquemática del cárcamo de bombeo y las descargas provenientes del edificio 12 y 18 del Instituto de Ingeniería.

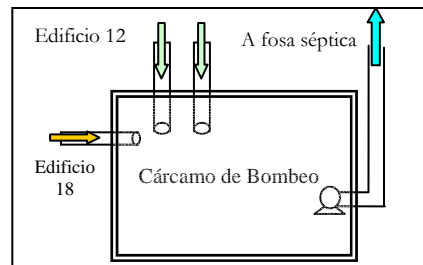


Figura 3-4.- Representación esquemática del cárcamo de bombeo.

3.4.- EQUIPO Y MATERIAL DE MUESTREO.

Para la colecta de muestras se utilizó material especial y exclusivamente para cada uno de los parámetros que establece la NOM-003-SEMARNAT-1997, con las características establecidas en el proyecto de norma PROY-NMX-AA-003-ASCFI-2006, las cuales se resumen en la tabla 3-1.

Tabla 3-1.- Características del material de muestreo por parámetro.

Parámetro	Material de muestreo	Capacidad
Grasas y aceites	Frasco ámbar de vidrio	1 L
DBO ₅	Frasco vidrio / polietileno	1 L
Sólidos Suspendidos Totales	Frasco de plástico	500 ml
Coliformes fecales y totales	Frasco de vidrio / bolsas esterilizadas	250 ml
Huevos de helminto	Frasco de plástico	8 L
Metales pesados y cianuros	Frasco de polietileno	500 ml

3.5.- DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE MUESTRAS.

El número de muestras se estableció de acuerdo al proyecto de norma PROY-NMX-AA-003-ASCFI-2006, que establece los lineamientos generales y recomendaciones para el muestreo de aguas residuales municipales e industriales, con el fin de determinar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las muestras de agua, además de considerar que:

- ✓ La fuente generadora de la descarga tiene un periodo de tiempo aproximado de 12 horas.
- ✓ El intervalo entre muestra y muestra por norma es de 2 a 3 horas.
- ✓ El número mínimo de muestras por día es de 4 muestras simples.

En función de los puntos anteriores se determinó considerar 5 muestras simples por día, con un intervalo de tiempo entre cada muestra de 2 horas, así como 1 muestra compuesta al final del día. Se realizaron 2 muestreos por semana durante un periodo de tiempo de 7 semanas.

Debido a las adecuaciones realizadas al tren de tratamiento de la planta el periodo de muestreo se realizó en dos etapas. Durante la primera etapa se realizaron 13 muestreos y en la segunda etapa 22 muestreos, lo que suma un total de 35 muestreos. La tabla 3-2 muestra los horarios de muestreo diarios que se realizaron tanto para el agua residual cruda como para la tratada en ambas etapas del muestreo.

Tabla 3-2.- Horarios de muestreo.

Primera etapa		Segunda etapa	
Hora	Muestra	Hora	Muestra
8:30	Muestra 1	8:30	Muestra 1
10:30	Muestra 2	11:30	Muestra 2
12:30	Muestra 3	14:30	Muestra 3
14:30	Muestra 4	17:30	Muestra 4
16:30	Muestra 5	18:00	Muestra compuesta
17:00	Muestra compuesta		

MUESTRA COMPUESTA.

Para formar la muestra compuesta fue necesario tomar un volumen específico de cada muestra simple, el cual se determinó mediante la siguiente ecuación.

$$VMS_i = VMC * \left[\frac{Q_i}{Q_t} \right]$$

3.6.- ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS.

Con el objeto de llevar a cabo el análisis de potencialidad de reuso de agua residual en el edificio 12 del Instituto de Ingeniería, se implementó la evaluación y monitoreo de la calidad del agua residual cruda y residual tratada proveniente de la planta de dicho edificio, mediante análisis físicos, químicos y microbiológicos (figura 3-5) de acuerdo con parámetros establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997 y enlistados en las tablas 3-3 y 3-4.



Figura 3-5.- Análisis de muestras en el laboratorio.

3.6.1.- ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LAS MUESTRAS.

Los parámetros físico-químicos (figura 3-6 y B-4) evaluados para cada una de las muestras, se enlistan en la tabla 3-3, de los cuales, los SST, DBO₅, GyA y metales pesados están establecidos como indicadores de contaminación por la norma para reuso de agua (NOM-003-SEMARNAT-1997). En la mayoría de los casos los resultados fueron lecturas directas de equipos específicos.

Tabla 3-3.- Método de análisis de los parámetros físico-químicos.

Parámetro	Método de análisis	Equipo utilizado
SST	Lectura directa y Método 2540 D (APHA-AWWA-WPCF)	Pastel UV, estufa, filtros, balanza.
DBO ₅	Lectura directa y Método tradicional (NMX-AA-028-SCFI-2001)	Pastel UV, parrilla de agitación y Oxímetro.
GyA	Extracción Soxhlet (NMX-AA-005-SCFI-200)	Aparato de extracción soxhlet.
Metales pesados	Espectrofotometría de absorción atómica (NMX-AA-051-SCFI-2000, EPA-6010B-1996 y EPA-7470A-1994)	Espectrofotómetro de absorción atómica.
DQO	Lectura directa y Método espectrofotométrico (NMX-AA-030-SCFI-2001)	Pastel UV, Digestor y Espectrofotómetro.
COT	Lectura directa	Pastel UV.
NO ₃	Lectura directa	Pastel UV.
SUR	Lectura directa	Pastel UV.
pH	Lectura directa	pHmetro y tiras indicadoras de pH
COND	Lectura directa	Conductímetro.
SDT	Lectura directa	Conductímetro.
T	Lectura directa	Conductímetro y termómetro de mercurio.



Figura 3-6.- Análisis físico-químico de las muestras.

3.6.2.- ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LAS MUESTRAS.

El análisis microbiológico incluyó la determinación de: huevos de helminto, coliformes fecales (figura 3-7) y coliformes totales (figura 3-8), de los cuales los dos primeros están estipulados como indicadores de contaminación en aguas tratadas para reuso por la norma NOM-003-SEMARNAT-1997. En la tabla 3-4 se enlistan los parámetros microbiológicos que se analizaron en las muestras de agua, así mismo se menciona el método de análisis utilizado.

Tabla 3-4.- Método de análisis de los parámetros Microbiológicos.

Parámetro	Método de análisis
Huevos de helminto	Método bifásico (NMX-AA-113-SCFI-1999)
Coliformes fecales	Filtración por membrana (NMX-AA-102-SCFI-2006)
Coliformes totales	Filtración por membrana (NMX-AA-102-SCFI-2006)

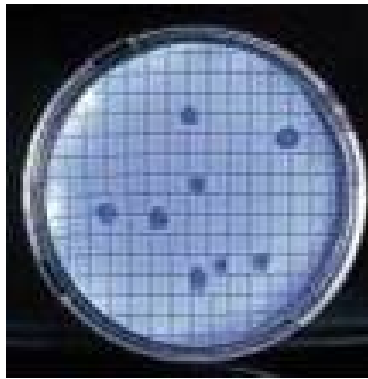


Figura 3-7.- Colonias de coliformes fecales.

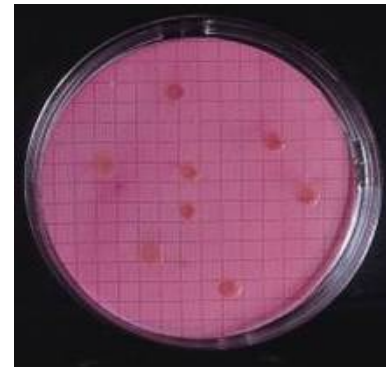


Figura 3-8.- Colonias de coliformes totales.

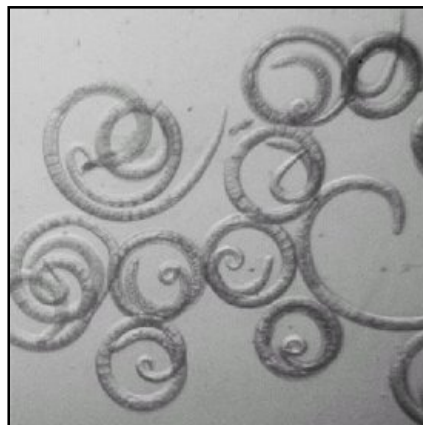


Figura 3-9.- Helmintos (gusanos)

3.7.- BALANCE HÍDRICO EN EL EDIFICIO 12 DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA.

Se llevó a cabo el balance hídrico en las instalaciones del edificio 12 con la finalidad de determinar el gasto de agua potable que posteriormente será reemplazado por agua tratada.

Para esto se obtuvieron mediciones de los caudales a la entrada y a la salida del edificio, pudiendo así determinar el agua requerida para reuso en los sanitarios. Las mediciones realizadas fueron durante un periodo de 12 días (ver tabla 4-8), con 6 mediciones horarias por día (8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 y 18:00 hrs). Donde cada medición horaria se repitió 5 veces, dando un total de 360 mediciones.

La determinación del gasto de agua potable se realizó considerando el consumo de retretes, mingitorios, lavabos y tarjas. Para determinar el promedio de agua potable que será sustituida por agua residual tratada solo se consideraron los 15 retretes ubicados en los sanitarios de mujeres y hombres, los cuales tienen descargas de 6 L y los 6 mingitorios existentes en los sanitarios de los hombres, con descargas de 3.8 L. El número de inmuebles corresponden a los ubicados en todo el edificio.

El edificio 12 cuenta con 6 laboratorios en total (computación, eléctrica, instrumentación, energía, doble altura y taller mecánico), de los cuales sólo el laboratorio de doble altura tiene tarjas con descarga a la red de drenaje. En éste edificio se encuentran laborando un total de 139 personas (76 becarios, 1 vigilante y 62 académicos y administrativos).

CAPÍTULO 4: RESULTADOS



Laboratorio de Ingeniería Ambiental
Instituto de Ingeniería de la UNAM
2008.

4.1.- CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL CRUDA (INFLUENTE).

Con la finalidad de evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento del edificio 12 del Instituto de Ingeniería, se llevó a cabo la caracterización del agua residual cruda que se somete a tratamiento en la misma planta, realizando análisis físicos, químicos y microbiológicos, de acuerdo con los parámetros establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997 y enlistados en la tabla A-1 del anexo de tablas.

Los resultados obtenidos de la caracterización del agua residual cruda evaluados en los puntos de muestreo 1 y 2 (cárcamo de bombeo y fosa séptica, respectivamente), se presentan en las tablas A-5 y A-6 del anexo correspondiente, las tablas 4-1, 4-2, 4-3 y 4-4 presentan los promedios diarios de dichos resultados para cada caso.

4.1.1.- RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS.

Tabla 4-1.- Promedios diarios del análisis físico-químico del cárcamo de bombeo (Influente)

Fecha	SST (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	COT (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	SUR (mg/L)	pH	CND (mS/cm)	SDT (mg/L)	T (°C)
Primera etapa de muestreo.										
22/05/2008	314.33	544.44	1173.33	496.33	<1.0	10.10	8.17	1.50	753.33	21.70
27/05/2008	382.20	485.83	1038.00	404.00	<1.0	<1.0	8.20	1.38	694.00	22.00
29/05/2008	259.00	550.83	977.00	508.00	<1.0	8.34	8.15	1.76	869.60	21.88
Promedio total	318.51	527.04	1062.78	469.44	<1.0	≈ 6.38	8.17	1.55	772.31	21.86
Segunda etapa de muestreo.										
26/06/2008	335.00	475.00	970.00	430.33	<1.0	10.4	7.34	1.41	710.00	21.20
27/06/2008	560.00	641.67	1130.00	610.00	<1.0	10.60	7.55	1.73	870.00	19.80
30/06/2008	430.00	379.17	870.00	360.00	<1.0	6.50	7.58	1.15	580.00	20.00
01/07/2008	323.33	491.67	1000.00	410.00	<1.0	<1.0	7.89	1.21	606.67	19.87
02/07/2008	470.00	491.67	1040.00	465.00	<1.0	11.40	7.92	1.40	700.00	18.90
03/07/2008	365.00	485.42	1005.00	437.50	<1.0	10.86	8.20	1.29	645.00	20.08
04/07/2008	206.00	258.33	525.00	248.00	<1.0	26.60	8.10	1.20	600.00	18.40
14/08/2008	118.00	916.67	2380.00	810.00	<1.0	2.00	8.34	1.52	760.00	19.10
28/08/2008	774.50	689.58	1608.75	624.75	<1.0	1.7	8.07	1.35	689.75	21.53
02/09/2008	357.25	542.08	1185.00	430.75	<1.0	<1.0	7.46	1.51	783.50	21.75
Promedio total	393.91	537.13	1171.38	482.63	<1.0	≈ 8.15	7.84	1.38	694.49	20.06

Tabla 4-2.- Promedios diarios del análisis físico-químico de la fosa séptica (Influente).

Fecha	SST (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	COT (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	SUR (mg/L)	pH	CND (mS/cm)	SDT (mg/L)	T (°C)
Primera etapa de muestreo										
22/05/2008	467.33	322,22	1035.00	365.00	<1.0	47.33	7.62	1.81	906.67	21.77
27/05/2008	482.00	387,50	605.00	367.00	<1.0	27.36	7.62	1.90	954.00	21.84
29/05/2008	189.40	407,17	670.00	407.20	<1.0	35.20	7.64	1.96	982.00	21.78
Promedio total	379.58	372.30	770.00	397.73	1.0	36.63	7.63	1.89	947.56	21.8
Segunda etapa de muestreo										
26/06/2008	266.00	263,89	335.00	260.67	<1.0	27.33	7.64	1.77	876.67	20.83
27/06/2008	555.00	637,50	800.00	610.00	<1.0	10.30	7.77	1.79	900.00	19.90
30/06/2008	480.00	300,00	385.00	298.00	<1.0	40.50	7.63	1.94	980.00	19.70
01/07/2008	192.00	229,44	466.67	220.00	<1.0	9.80	7.97	1.48	753.33	19.60
02/07/2008	292.00	258,33	600.00	244.00	<1.0	21.80	7.98	1.63	820.00	18.80
03/07/2008	252.00	224,17	382.50	218.00	<1.0	23.20	7.88	1.64	825.00	19.85
04/07/2008	150.00	240,00	450.00	232.00	<1.0	27.80	7.90	1.70	850.00	18.20
14/08/2008	1180.00	341,67	970.00	320.00	<1.0	49.50	7.81	1.82	920.00	19.70
28/08/2008	496.25	352,08	925.00	327.50	<1.0	26.25	8.16	1.82	901.75	21.23
02/09/2008	189.50	286,04	528.75	280.00	<1.0	21.60	6.88	1.79	898.75	21.78
Promedio total	405.28	313.31	584.29	301.02	<1.0	25.81	7.76	1.74	827.55	19.96

Debido a que el equipo en el laboratorio del Instituto de Ingeniería está fuera de servicio no se pudo realizar la determinación de metales pesados, así como tampoco la de grasas y aceites, por tal motivo fue necesario enviar muestras a un laboratorio acreditado (Laboratorios ABC, química investigación y análisis S.A. DE C.V.) para el análisis de estos parámetros, las muestras enviadas fueron muestras compuestas horarias.

Los resultados reportados por el laboratorio se presentan en la tabla 4-3, los cuales corresponden al agua residual cruda.

Tabla 4-3.- Resultados de metales pesados y grasas y aceites del cárcamo de bombeo.

Parámetro	Unidades	Muestra compuesta			Promedio
		1	2	3	
Grasas y aceites	mg/L	84.0	67.4	66.5	72.6
Metales pesados:					
Arsénico	mg/L	ND	ND	ND	ND
Cadmio	mg/L	0.040	ND	ND	<0.04
Cobre	mg/L	0.288	0.024	0.282	0.198
Cromo	mg/L	0.015	0.02	0.014	0.015
Mercurio	mg/L	0.0008	0.0008	0.0018	0.001
Níquel	mg/L	0.014	0.012	0.012	0.013
Plomo	mg/L	0.049	0.036	0.028	0.038
Zinc	mg/L	0.0524	0.382	0.043	0.159

4.1.2.- RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS.

Tabla 4-4.- Resultados microbiológicos del cárcamo de bombeo y fosa séptica (Influente)

Fecha	Hora	Coliformes Totales (UFC/100 ml)	Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	Bacterias Heterotróficas (UFC/100 ml)	Huevos de Helminto (He/L)
Influente (Cárcamo de Bombeo)					
23/05/2008	08:30	1.38E+08	6.20E+07	1.24E+08	No detectado
Influente (Fosa Séptica)					
23/05/2008	08:30	8.90E+07	5.00E+07	8.20E+07	No detectado

4.2.- CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL TRATADA (EFLUENTE).

Los resultados de la caracterización del agua residual tratada corresponden al punto de muestreo 3 (tanque de almacenamiento de agua tratada), a éste se le realizaron análisis físicos, químicos y microbiológicos, obteniendo los resultados presentados en la tabla A-7 del anexo correspondiente, las tablas 4-5, 4-6 y 4-7 presentan los promedios diarios de los resultados para cada caso.

4.2.1.- RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS.

Tabla 4-5.- Promedios diarios del análisis físico-químico del agua tratada (tanque de almacenamiento)

Fecha	SST (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	COT (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	SUR (mg/L)	pH	CND (mS/cm)	SDT (mg/L)	T (°C)
Primera etapa de muestreo										
22/05/2008	75.67	168,06	278.33	158.33	<1.0	95.93	7.65	1.71	860.00	21.60
27/05/2008	79.80	107,00	270.00	105.00	<1.0	19.52	7.75	1.94	974.00	22.00
29/05/2008	120.60	93,67	314.60	101.40	<1.0	16.74	7.80	1.98	992.00	22.12
Promedio total	92.02	122.91	287.64	121.58	<1.0	44.06	7.73	1.88	942.00	21.91
Segunda etapa de muestreo										
25/06/2008	88.00	51,67	224.00	68.00	3.00	22.40	7.41	1.44	720.00	20.40
26/06/2008	79.67	56,94	234.00	62.67	<1,0	4.17	7.99	1.58	796.67	21.17
27/06/2008	78.00	61,67	246.00	65.00	<1,0	3.10	8.09	1.65	830.00	19.70
30/06/2008	55.00	66,67	300.00	76.00	7.30	24.00	7.97	1.63	820.00	19.40
01/07/2008	77.67	56,67	222.00	61.33	<1,0	4.67	8.21	1.61	810.00	19.53
02/07/2008	64.00	46,67	166.00	50.00	<1.0	8.30	8.16	1.51	760.00	18.20
03/07/2008	61.50	45,42	200.00	51.50	1.65	7.95	8.02	1.54	770.00	19.85
04/07/2008	71.00	45,83	178.00	52.00	1.30	10.30	8.18	1.49	750.00	17.10
14/08/2008	91.00	56,67	252.00	66.00	<1.0	4.50	8.29	1.77	890.00	18.40
28/08/2008	100.50	61,88	272.25	75.25	<1,0	14.50	8.16	1.53	763.75	21.40
02/09/2008	62.00	52,29	235.50	57.50	1.70	6.18	7.32	1.69	850.75	21.75
Promedio total	75.30	54.76	229.98	62.30	≈ 1.74	10.01	7.98	1.59	796.47	19.72

Los resultados reportados por el laboratorio ABC, para grasas y aceites y metales pesados realizados al agua tratada se presentan en la tabla 4-6.

Tabla 4-6.- Resultados de metales pesados y grasas y aceites del agua tratada.

Parámetro	Unidades	Muestra compuesta			Promedio
		1	2	3	
Grasas y aceites	mg/L	7.1	8.8	6.2	7.36
Metales pesados:					
Arsénico	mg/L	ND	ND	ND	ND
Cadmio	mg/L	ND	ND	ND	ND
Cobre	mg/L	0.079	0.076	0.091	0.082
Cromo	mg/L	0.008	0.007	0.009	0.008
Mercurio	mg/L	0.0007	0.0002	0.0005	0.0005
Níquel	mg/L	ND	ND	ND	ND
Plomo	mg/L	ND	ND	ND	ND
Zinc	mg/L	0.1108	0.1133	0.1281	0.117

4.2.2.- RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS.

Tabla 4-7.- Resultados Microbiológicos del agua tratada (tanque de almacenamiento).

Fecha	Hora	Coliformes Totales (UFC/100 ml)	Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	Bacterias Heterotróficas (UFC/100 ml)	Huevos de Helminto (He/L)
22/06/2008	08:30	3.20E+07	2.30E+07	3.60E+07	No detectado
01/07/2008	08:30	2.00E+07	1.00E+05	3.00E+07	No detectado
02/07/2008	08:30	1.70E+07	7.00E+04	4.00E+07	No detectado
03/07/2008	08:30	1.10E+07	2.00E+05	2.30E+07	No detectado
04/07/2008	08:30	8.00E+06	2.00E+06	1.20E+07	No detectado
14/08/2008	09:00	3.60E+06	9.90E+06	1.04E+07	No detectado
28/08/2008	09:00	1.59E+07	1.25E+06	4.00E+07	No detectado
04/09/2008	08:30	3.50E+06	7.40E+05	7.60E+06	No detectado
Promedio		1.39E+07	4.66E+06	2.49E+07	No detectado

Nota: Los resultados físico-químicos completos del influente y efluente, se presentan en el anexo A (tablas 10,11 y 12).

4.3.- BALANCE HÍDRICO EN EL EDIFICIO 12 DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA.

El balance hídrico en las instalaciones del edificio 12 del Instituto de Ingeniería se llevó a cabo con la finalidad de determinar el gasto de agua potable que posteriormente será reemplazado por agua residual tratada.

4.3.1.- RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE CAUDALES.

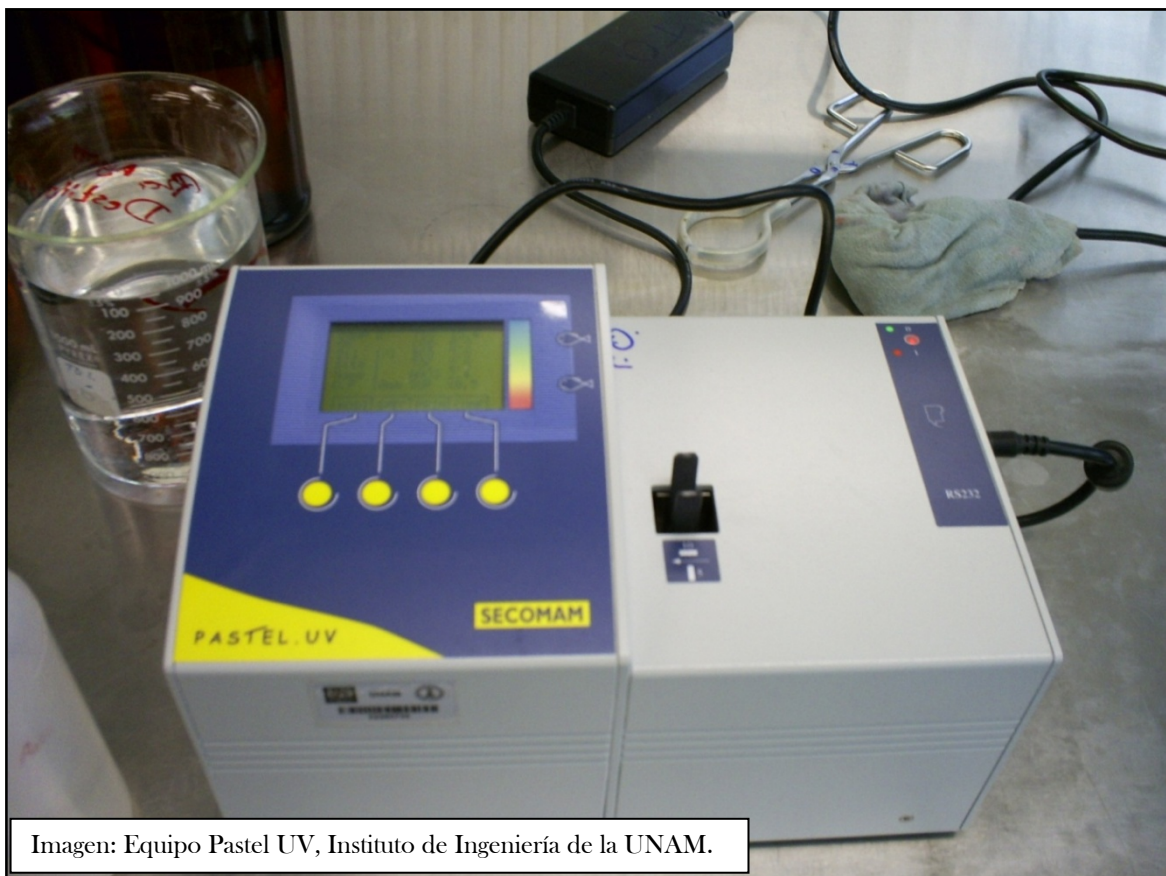
Para esto se realizaron mediciones de los caudales a la entrada y a la salida del edificio, pudiendo así determinar el agua requerida para reuso en los sanitarios. Las mediciones realizadas fueron durante un periodo de 12 días (ver tabla 4-8), con 6 mediciones horarias por día (8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 y 18:00 hrs). Donde cada medición horaria se repitió 5 veces, dando un total de 360 mediciones.

Tabla 4-8.- Promedios diarios de la medición del caudal en la entrada y en la salida del edificio 12 del Instituto de Ingeniería.

Fecha	Q entra (L/s)	Q sale (L/s)	% de agua que sale	% de agua perdida
21/05/2008	0.0463	0.0355	76.71	23.29
22/05/2008	0.0463	0.0289	62.39	37.61
23/05/2008	0.0424	0.0340	80.15	19.85
26/05/2008	0.0540	0.0510	94.37	5.63
27/05/2008	0.0231	0.0183	79.23	20.77
28/05/2008	0.0617	0.0593	95.99	4.01
29/05/2008	0.0424	0.0328	77.34	22.66
30/05/2008	0.0424	0.0311	73.23	26.77
02/06/2008	0.0502	0.0374	74.55	25.45
03/06/2008	0.0502	0.0417	83.14	16.86
04/06/2008	0.0347	0.0335	96.51	3.49
05/06/2008	0.0502	0.0396	78.86	21.14
Total	0.0453	0.0369	81.04	18.96

CAPÍTULO 5:

DISCUSIÓN DE RESULTADOS



5.1.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

EFICIENCIA DE REMOCIÓN.

La eficiencia de remoción se refiere a la cantidad de materia que es degradada o eliminada durante una etapa o un proceso en el tratamiento de aguas residuales, ésta se utiliza para evaluar la eficiencia del sistema durante el tratamiento, se puede determinar utilizando algún parámetro como DBO₅, SST y DQO, aunque generalmente se determina en función de la DBO₅, para su cálculo se requieren los datos del caudal y concentración de la DBO₅, tanto del influente como del efluente del sistema de tratamiento.

La eficiencia de remoción del sistema instalado en la planta fue calculada a partir de la DBO₅ total diaria, utilizando las siguientes ecuaciones (Metcalf & Eddy, 1997):

$$\text{Remoción (g/d)} = [\text{Concentración (g/d)}] * [\text{Caudal (m}^3\text{/d)}]$$

Tabla 5-1.- Remoción a la entrada de la planta (R₀).

Fecha	Caudal (m ³ /d)	Concentración DBO ₅ (mg/L)	Remoción (g/d)
22/05/2008	4.06	554.44	2207.84
27/05/2008	2.56	485.83	1242.52
29/05/2008	4.61	550.83	2538.02
Promedio	3.75	530.36	1996.13

Tabla 5-2.- Remoción a la salida de la planta (R).

Fecha	Caudal (m ³ /d)	Concentración DBO ₅ (mg/L)	Remoción (g/d)
22/05/2008	3.45	168.06	579.27
27/05/2008	2.19	107.00	234.19
29/05/2008	3.98	93.67	372.01
Promedio	3.21	122.91	395.15

La tabla 5-3 presenta las eficiencias remoción de la planta en función de la DBO₅ total diaria correspondiente a la primera etapa del muestreo (13 muestras horarias), la cual fue del 80.03%, con una DBO₅ promedio de 147.49 mg/L en el agua tratada.

La eficiencia de remoción se determinó de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\text{Eficiencia de remoción (\%)} = \left[\frac{R_0 - R}{R_0} \right] * 100$$

Tabla 5-3.- Eficiencias de remoción en función de la DBO₅.

Fecha	Eficiencia de remoción (%)
22/05/2008	73.76
27/05/2008	81.15
29/05/2008	85.34
Promedio	80.03

Fuente: Metcalf & Eddy, 1997.

Durante la segunda etapa de muestreo se realizaron 22 muestras horarias durante 11 días en cada punto de muestreo, en esta etapa la planta presentó una eficiencia de remoción del 90.78% con una DBO₅ promedio de 65.71mg/L en el agua tratada. Los datos utilizados para el cálculo de esta eficiencia fueron los siguientes: flujos 4.20 y 3.80 m³/d, DBO₅ 644.55 y 65.71 mg/L para el influente y efluente respectivamente.

Lo anterior significa que con las modificaciones hechas al sistema de tratamiento para aumentar su eficiencia de remoción, se logro mejorar el efluente, aumentando así la eficiencia de remoción en un 10.75%, para colocarse de un 80.03% a un 90.78% de eficiencia.

Análisis físico-químico.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

En la figura 5-1 podemos apreciar el comportamiento de la DBO₅ durante el tren de tratamiento de la planta, los resultados corresponden al cárcamo de bombeo, fosa séptica y tanque de almacenamiento de agua tratada.

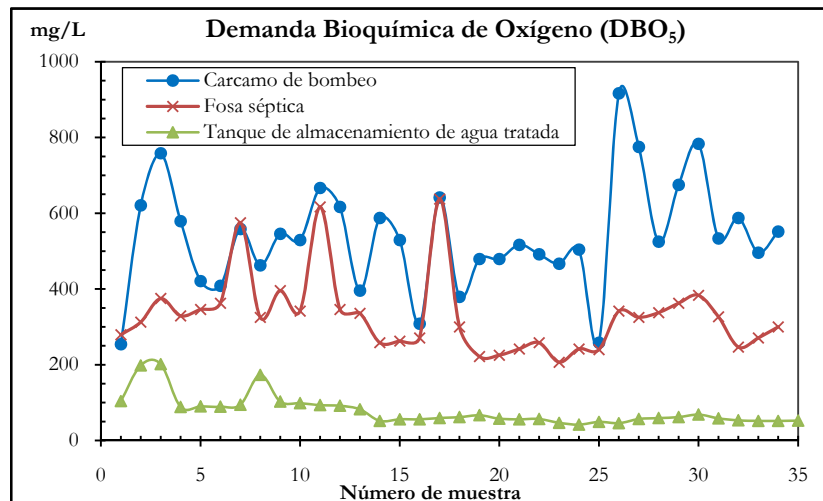


Figura 5-1.- Comparación gráfica de las DBO₅ en el tren de tratamiento de la planta.

En la DBO₅ del agua tratada se observa que las 13 primeras muestras correspondientes a la primera etapa del muestreo tienen una concentración mayor con un promedio de 122.91 mg/L, esto debido a que el sistema de tratamiento no presentaba condiciones de operación óptimas.

Las muestras 14-35 corresponden a la segunda etapa de muestreo, durante estos muestreos el agua tratada presentó una DBO_5 menor con un promedio de 54.76 mg/L, esto debido a que se mejoró la remoción en el sistema de tratamiento.

También se observa que la DBO_5 durante los muestreos 23-26 es la más baja que se obtuvo, esto debido a que la carga de contaminantes en estas muestras fue menor, ya que en estos días comenzó el periodo vacacional del mes de julio disminuyendo el número de personas en los edificios y por tanto fue más fácil alcanzar una mayor remoción, el promedio de la DBO_5 alcanzado en estos muestreos fue de 46.25 mg/L.

Sin embargo, aún cuando la planta presenta una eficiencia de remoción del 90.78% y el agua residual tratada presenta una DBO_5 promedio durante la segunda etapa de 65.71 mg/L, no cumple con los límites máximos permisibles establecidos por la norma para reuso de agua (NOM-003-ECOL-1997), ya que ésta establece como límite máximo 20 mg/L de DBO_5 .

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

La figura 5-2 muestra la gráfica con el comportamiento de los SST durante el tren de tratamiento los datos corresponden al cárcamo de bombeo, fosa séptica y tanque de almacenamiento.

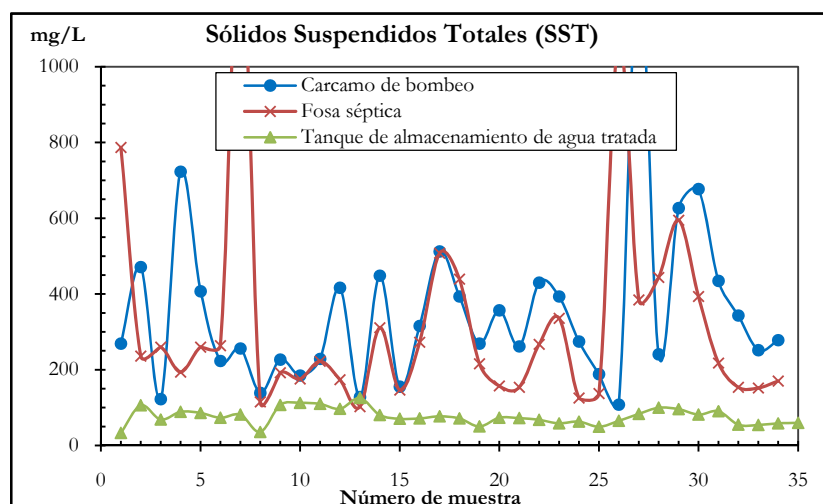


Figura 5-2.- Comparación gráfica de los SST en el tren de tratamiento de la planta.

Durante la primera etapa del muestreo se obtuvieron 291.44 mg/L de SST en el influente y 84.20 mg/L de SST en el efluente.

Durante la segunda etapa de muestreo, los promedios de influente y efluente fueron 360.43 y 68.90 mg/L de SST respectivamente.

Esto significa que durante la segunda etapa de muestreo el agua residual cruda entró con un promedio de 291.44 mg/L de SST y salió de la planta de tratamiento con 68.90 mg/L de SST. Lo que significa que durante el tren de tratamiento se eliminó el 76.4% de los sólidos suspendidos totales que estaban presentes en el agua residual cruda.

El promedio total de SST durante la segunda etapa de muestreo en el agua residual fue de 68.9 mg/L y la norma para reuso de agua (NOM-003-ECOL-1997) establece como límite máximo permisible 20 mg/L de SST. Por tanto, los SST presentes en el agua residual tratada no están dentro de los límites establecidos por la norma.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO es una medida aproximada del contenido de compuestos orgánicos presentes en el agua. Ésta no es un parámetro estipulado por la norma para reuso de agua, sin embargo se realizó la cuantificación de su concentración, debido a que es un parámetro que indica la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación de compuestos químicos.

La figura 5-3 presenta la gráfica con el comportamiento de la DQO a lo largo del tren de tratamiento, correspondientes al cárcamo de bombeo, fosa séptica y tanque de almacenamiento de agua tratada.

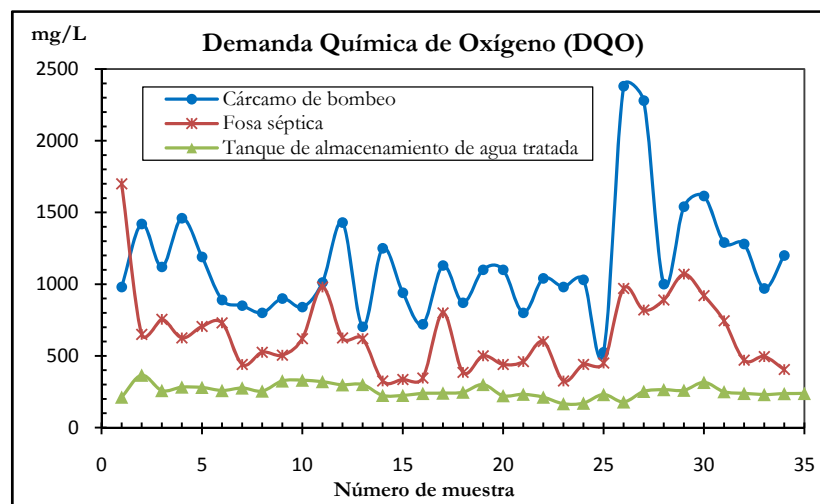


Figura 5-3.- Comparación gráfica de la DQO en el tren de tratamiento de la planta.

En la gráfica se puede apreciar que la DQO disminuyó durante el tratamiento, además de acuerdo con las tablas 4-1 y 4-5 los promedios totales de la DQO durante la segunda etapa de muestreo tanto en el cárcamo de bombeo como en el agua tratada fueron de 1171.38 mg/L y 229.98 mg/L, esto significa que durante el proceso de tratamiento se logró eliminar aproximadamente el 80.4% de compuestos orgánicos.

Sólidos disueltos totales (SDT)

El índice de SDT es una medida de la concentración total de iones en solución, estos están relacionados directamente con la conductividad.

La figura 5-4 muestra el comportamiento de los SDT durante los muestreos a lo largo del tren de tratamiento. Durante la primera etapa se tuvieron concentraciones promedio de 772.31 mg/L en el cárcamo de bombeo (tabla 4-1) y 942 mg/L en el tanque de agua tratada (tabla 4-5), mientras que durante la segunda etapa de muestreo los promedios fueron de 694.49 mg/L en el cárcamo de bombeo (tabla 4-1)

y 796.47 mg/L en el tanque de agua tratada. Esto significa que durante el tren de tratamiento se tuvo un incremento del 14.7% durante la segunda etapa muestreo, debido a que parte de la materia orgánica degradada pudo haber generado residuos sólidos, incrementando su concentración debido a que los sólidos disueltos totales engloban todos los sólidos tanto orgánicos como inorgánicos.

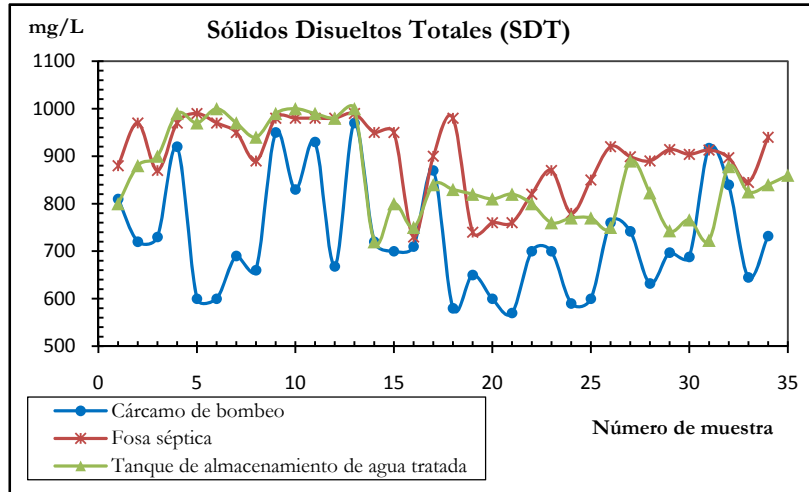


Figura 5-4.- Comparación gráfica de los SDT en el tren de tratamiento de la planta.

Carbono Orgánico Total (COT)

El COT es la cantidad de carbono contenido en aguas residuales el cual es de naturaleza orgánica, estos son sólidos que provienen de animales y plantas, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos (www.quiminet.com.mx).

La figura 5-5 presenta la gráfica con las concentraciones de COT determinadas durante el tren de tratamiento, donde la línea inferior representa la concentración en el agua residual tratada, y las líneas superiores representan las concentraciones en el cárcamo de bombeo y fosa séptica.

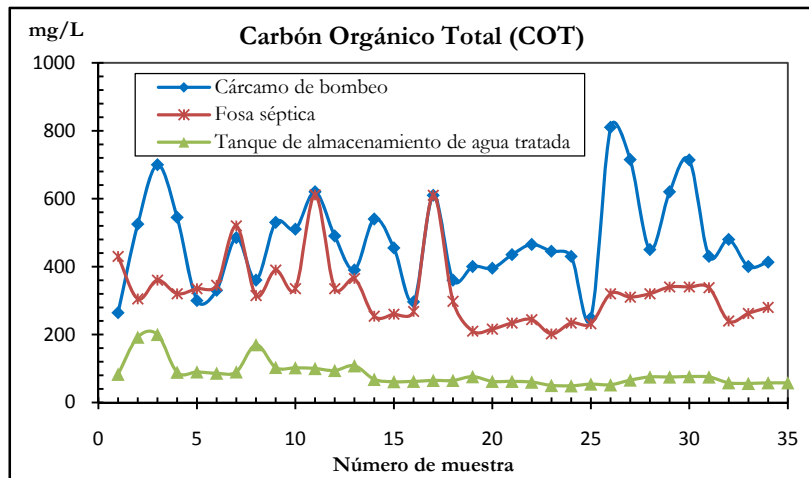


Figura 5-5.- Comparación gráfica del COT en el tren de tratamiento de la planta.

En esta gráfica se puede apreciar que el COT disminuyó considerablemente durante el tren de tratamiento, ya que durante la segunda etapa de muestreo se tuvo una concentración promedio de 482.63 mg/L que tenía el agua residual cruda, disminuyó a 62.3 mg/L al salir de la planta de tratamiento.

Por tanto, el sistema de tratamiento logró eliminar el 87.1% del COT que estaba presente en el agua residual cruda.

pH.

La figura 5-6 presenta la grafica con el comportamiento del pH a lo largo del tren de tratamiento en los tres puntos de muestreo.

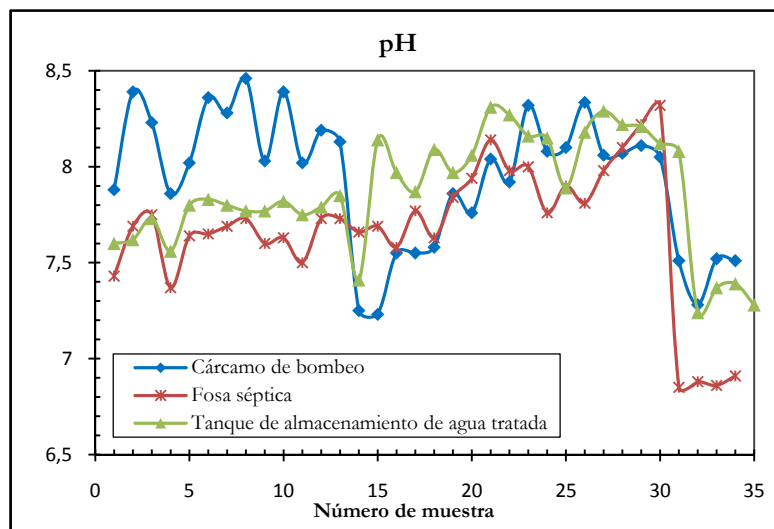


Figura 5-6.- Comparación gráfica del pH en el tren de tratamiento de la planta.

El cárcamo de bombeo presentó un pH promedio de 8.17 durante la primera etapa y 7.84 durante la segunda etapa, mientras que el agua tratada presentó un promedio de 7.73 en la primera etapa y 7.98 en la segunda. Esto significa que el pH presentó un incremento durante el tren de tratamiento de 0.14 (1.8%) debido probablemente al incremento de la conductividad y de los SDT.

Temperatura.

La temperatura es una característica física que en cuerpos de agua está en función de su cantidad y profundidad (a mayor profundidad menor temperatura), es inversamente proporcional al oxígeno disuelto (a mayor temperatura menor oxígeno disuelto) y directamente proporcional con la temperatura ambiente (a mayor temperatura ambiente mayor temperatura del agua).

De acuerdo con la gráfica de la figura 5-7 podemos apreciar que durante el tren de tratamiento la temperatura no presentó variaciones grandes, debido a que el sistema de tratamiento de la planta no provoca variaciones de temperatura, más bien las variaciones se debieron a la influencia del ambiente, y también porque la mayoría de las mediciones se realizaron en el laboratorio y no en sitio (debido a la cercanía entre los puntos de muestreo y el laboratorio).

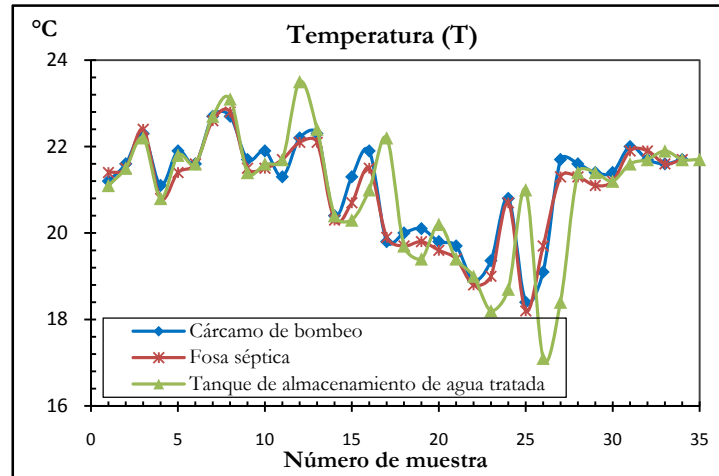


Figura 5-7.- Comparación gráfica de la temperatura en el tren de tratamiento de la planta.

Las temperaturas promedio durante la segunda etapa del muestreo fueron de 20.06 °C para el agua residual cruda y 19.72 °C para el agua residual tratada, esto presenta una variación 0.34 °C (1.6%) durante el tren de tratamiento.

Conductividad.

La conductividad de una sustancia se define como la habilidad o poder de conducir o transmitir calor, electricidad o sonido en Siemens por metro [S/m] y micromhos por centímetro [mmho/cm].

Durante los muestreos se obtuvo un promedio de 1.38 mS/cm en el agua residual cruda y 1.59 mS/cm en el agua residual tratada (figura 5-8).

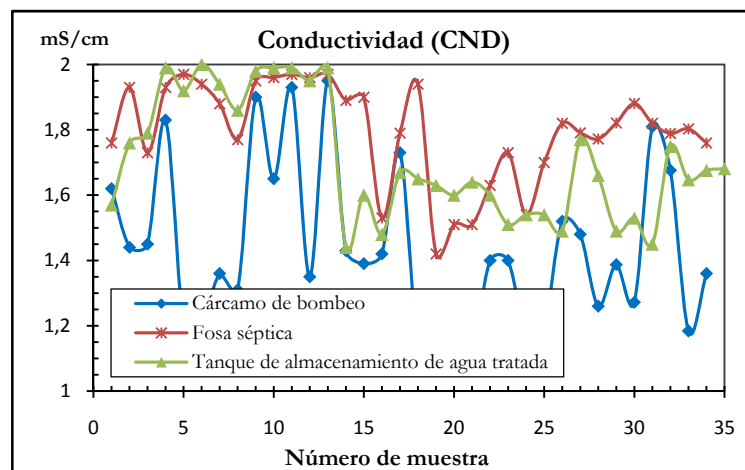


Figura 5-8.- Comparación gráfica de la conductividad en el tren de tratamiento de la planta.

Lo anterior significa que durante el tren de tratamiento hubo un incremento de la conductividad en un 13.2%, esto debido a un incremento en la concentración de SDT, aumentando así la concentración de iones, lo cual afecto directamente a la conductividad.

Grasas y Aceites.

Las grasas y los aceites están constituidos por lípidos e hidrocarburos, ésteres, aceites, grasas ceras y ácidos grasos de alto peso molecular, en altas concentraciones altera los procesos biológicos (Romero, 2005).

Durante los muestreos se obtuvieron los resultados reportados en las tablas 4-3 y 4-6, en las cuales podemos apreciar que el promedio total de grasas y aceites en el agua residual cruda fue de 72.6 mg/L, mientras que el promedio total en el agua residual tratada fue de 7.4 mg/L, esto significa que durante el tren de tratamiento de la planta se pudo reducir la concentración de grasas y aceites en un 89.86%, logrando así que la concentración de grasas y aceites esté por debajo de los límites establecidos por la norma para reuso de agua, la cual es de 15 mg/L, por lo tanto el parámetro de grasas y aceites si cumple con los límites establecidos por la NOM-003-SEMARNAT-1997, la cual hace referencia a la NOM-001-ECOL-1996.

Metales Pesados.

Son aquellos elementos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua, la mayoría de ellos son tóxicos para los seres humanos. Los más importantes son: mercurio, plomo, cadmio, arsénico, cobre, cromo, níquel y zinc, de los cuales los primeros cuatro representan mayor peligro.

Algunos metales son indispensables en bajas concentraciones, ya que forman parte de sistemas enzimáticos, como el cobalto, zinc, molibdeno, o como el hierro que forma parte de la hemoglobina. Su ausencia causa enfermedades, pero su exceso causa intoxicación al ser humano, altera y afecta cuerpos de agua y sistemas de tratamiento de aguas residuales. Es por eso que su cuantificación en cuerpos de agua es importante (www.ecogenesis.com.ar/index.php?sec=articulo.php&Codigo=91 y www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/002416.htm).

Arsénico.

El arsénico puede ser encontrado en ciertos suelos de forma natural, no tiene color, sabor, ni olor, por lo tanto no se puede detectar en el agua, comida, o aire. Puede ser orgánico, cuando se halla combinado con carbón ó hidrógeno, ó inorgánico cuando se combina con oxígeno, cloro, o sulfuro; la importancia radica en que el arsénico orgánico es menos tóxico. Su uso más común es en la producción industrial de cobre, plomo y zinc, así como en insecticidas, plaguicidas y en la preservación de madera. La toma de grandes cantidades en el agua potable puede causar ciertos cánceres, como el de piel y pulmón. Es por eso que la purificación del agua es importante cuando el arsénico está presente (Susumu, 2002).

En la tabla 4-3 se presentan los resultados obtenidos en la determinación de arsénico en el agua residual cruda, y en la tabla 4-6 los resultados de la determinación de arsénico en el agua residual tratada, en éstas tablas se puede apreciar que no se detectaron concentraciones de arsénico. La ausencia de arsénico en el agua residual proveniente de estos edificios no se detectó debido a que no hay una fuente de contaminación de este metal, y aún cuando se tienen diversos laboratorios en el edificio 12 no generan este tipo de residuos, es por eso que no hay presencia de arsénico en el agua residual, la norma (NOM-ECOL-001-1996) establece como límite un promedio diario de 0.4 mg/L.

Cadmio.

El cadmio no se encuentra en estado libre en la naturaleza, su único mineral es la greenockita (sulfuro de cadmio). Casi todo el que se produce es obtenido como subproducto de la fundición y refinamiento de los minerales de zinc. Anteriormente su principal uso fue como cubierta electrodepositada sobre hierro o acero para protegerlos contra la corrosión. La segunda aplicación es en baterías de níquel-cadmio y la tercera como reactivo químico y pigmento. Se recurre a cantidades apreciables en aleaciones de bajo punto de fusión, en rociadoras automáticas contra el fuego y en cantidad menor, en aleaciones de latón, soldaduras y cojinetes. Los compuestos de cadmio se emplean como estabilizadores de plásticos y en la producción de cadmio fosforado. Por su gran capacidad de absorber neutrones, en especial el isótopo 113, se usa en barras de control y recubrimiento de reactores nucleares.

Cuando una persona llega a respirar o ingerir cadmio, este puede dañar severamente los pulmones y riñones (incluso puede causar la muerte), también causa diarreas, dolor de estómago y vómitos severos, fractura de huesos, fallos en la reproducción y posibilidad incluso de infertilidad, daño al sistema nervioso central, daño al sistema inmune, desordenes psicológicos y posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer. La dosis letal para el ser humano es de aproximadamente un gramo (Metcalf & Eddy, 1997).

Los resultados obtenidos durante los análisis para determinar la concentración de cadmio presentaron un promedio <0.0401 mg/L en el agua residual cruda (tabla 4-3), mientras que en el agua residual tratada no se detectó (tabla 4-6), de acuerdo a éstos datos sí se está cumpliendo con los límites establecidos en la norma NOM-001-ECOL-1996, la cual establece un promedio diario de 0.4 mg/L.

Sin embargo se recomienda analizar los lodos de la fosa séptica, verificando así que en éstos lodos son retenidos los metales pesados.

Cobre.

El cobre comenzó a ser utilizado en épocas prehistóricas en herramientas y utensilios. Actualmente el uso más extendido del cobre es en la industria eléctrica y electrónica debido a su extraordinaria conductividad y ductilidad. A lo largo de la historia, se ha utilizado para acuñar monedas y fabricar utensilios de cocina, tinajas, objetos ornamentales tuberías de calefacción, refrigeración y agua, en combinación con Cu_2O se aplica como pintura antioxidante. El CuSO_4 se usa como fungicida, alguicida y en fertilizantes.

La mayor fuente de contaminación en el agua es por la corrosión de las tuberías usadas para el transporte de la misma. La intoxicación se produce fundamentalmente por inhalación de polvos y "humos" de cobre. Las intoxicaciones por ingesta son raras, dado que produce vómitos. La inhalación de los "humos" o del polvo produce hemorragia nasal y de las mucosas, pudiendo conducir a la perforación del tabique nasal cuando hay un alto contenido de cobre en el agua potable. La muerte se presenta por cirrosis hepática. En plantas produce lesiones en las raíces, inhibe su crecimiento radicular y promueve la formación de numerosas raicillas (www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Hg.htm y Metcalf & Eddy, 1997).

Durante el tren de tratamiento se obtuvo una remoción de cobre del 58.5%, la concentración detectada en el agua residual cruda fue de 0.1982 mg/L (tabla 4-3) y 0.082 mg/L en el agua residual tratada (tabla 4-6), la concentración de cobre presente en el agua residual tratada está dentro de los límites establecidos por la norma (NOM-001-ECOL-1996), ya que este límite es de 6.0 mg/L.

Cromo.

El cromo es un elemento químico usado generalmente en metalurgia para aportar resistencia a la corrosión y un acabado brillante, otros usos son: aplicaciones en colorantes, pinturas, limpieza de material de vidrio de laboratorio, síntesis de amoníaco, cintas magnéticas y en el curtido del cuero. La intoxicación por cromatos causa enfermedades en la piel y lesión hepática.

En el medio acuático el cromo existe en forma de cromato, las formas triviales se hidrolizan por completo en el agua, lo que provoca la precipitación en forma de hidróxido (Romero, 2005 y www.es.wikipedia.org/wiki/Cromo).

Las concentraciones promedio de cromo encontradas en el agua residual cruda fue de 0.0156 mg/L (tabla 4-3), mientras que el promedio en el agua residual tratada fue de 0.00833 mg/L (tabla 4-6), esto significa que las concentraciones encontradas no son altas, ya que aun sin tratamiento están dentro del límite establecido por la norma (NOM-001-ECOL-1996), el cual es de 1.5 mg/L, así mismo durante el tren de tratamiento se logró una remoción de cromo del 46.6%.

Mercurio.

El Mercurio es un elemento que puede ser encontrado de forma natural en el medio ambiente, en forma de metal, como sales de Mercurio o como Mercurio orgánico. Es usado en una variedad de productos de las casas, como barómetros, termómetros y bombillas fluorescentes.

El Mercurio tiene numerosos efectos sobre los humanos, los principales son: daño al sistema nervioso, cerebro, riñones y pulmones, también provoca daño al ADN y cromosomas, reacciones alérgicas, irritación de la piel, ojos, cansancio, dolor de cabeza, vomito, diarrea, efectos negativos en la reproducción, daño en el esperma, defectos de nacimientos y abortos (www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Hg.htm y Metcalf & Eddy, 1997).

Durante la determinación del contenido de mercurio en las muestras, se detectaron concentraciones de 0.00113 mg/L en el agua residual cruda (tabla 4-3) y 0.000466 mg/L en el agua residual tratada (tabal 4-6) lo que significa que durante el tren de tratamiento se obtuvo una remoción del 58.76% del mercurio presente en el agua residual, el límite que establece la norma (NOM-001-ECOL-1996) es de 0.02 mg/L, esto significa que las concentraciones de mercurio encontradas en el agua residual cruda y residual tratada están por debajo de los límites establecidos en la norma, por lo tanto la concentración de mercurio si cumple con los límites establecidos en la norma para reuso de agua.

Níquel.

El níquel es un elemento presente en el ambiente sólo en muy pequeños niveles. La aplicación más común del níquel es el uso como ingrediente del acero y otros productos metálicos. Este puede ser encontrado en la joyería y en detergentes. En los alimentos se encuentra en el chocolate y las grasas, los cuales son conocidos por contener altas cantidades (www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Hg.htm y Ottaviani, 1991).

La exposición al níquel puede ser al respirar el aire, beber agua, ingerir alimentos o fumar cigarrillos. El contacto de la piel con suelo contaminado por níquel o agua puede también resultar en la

exposición al níquel, la toma de altas cantidades de níquel tienen las siguientes consecuencias: elevadas probabilidades de desarrollar cáncer de pulmón, nariz, laringe y próstata, enfermedades y mareos después de la exposición al gas de níquel, embolia de pulmón, fallos respiratorios, defectos de nacimiento, asma y bronquitis crónica, reacciones alérgicas como son erupciones cutáneas, mayormente de las joyas y desordenes del corazón (www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Ni.htm).

La norma NOM-001-ECOL-1996 establece un promedio diario de 4 mg/L de níquel como límite máximo, y las concentraciones encontradas en el agua cruda fueron de 0.01303 mg/L (tabla 4-3), mientras que en el agua residual tratada no se detectó (tabla 4-6). Lo anterior significa que el contenido de níquel en las muestras de agua residual cruda fue mínimo debido a que no hay una fuente de contaminación de níquel, la cual quedó retenida en la fosa séptica, por tanto éste parámetro si cumple con la norma NOM-ECOL-001-1996.

Plomo.

El plomo es un elemento químico metálico, se le puede encontrar en la gasolina, pinturas, perdigones de plomo, plumadas de pesca, pesos de cortina, artículos de plomería, tuberías, grifos, soldaduras, fabricación de joyas, barnizado de cerámica, figuras de plomo en miniatura, jarras y vajillas de peltre, baterías de almacenamiento, suelo contaminado por décadas de emisiones de los carros o años de raspaduras de pinturas de las casas. Por lo anterior, el plomo es más común en los suelos cerca de las autopistas y las casas.

El plomo no se puede ver, saborear ni oler. La intoxicación por plomo puede producir reducción del cociente intelectual, lentitud en el crecimiento corporal, problemas auditivos, problemas de comportamiento o atención, bajo rendimiento escolar y daño renal, mientras que los síntomas de intoxicación pueden ser: irritabilidad, comportamiento agresivo, inapetencia y falta de energía, dificultad para dormir, dolores de cabeza, reducción de la sensibilidad, pérdida de habilidades del desarrollo en niños, anemia, estreñimiento, dolor y cólicos abdominales. En niveles muy altos pueden ocasionar vómito, marcha inestable, debilidad muscular, convulsiones o coma (www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/002473.htm).

Las concentraciones encontradas en las muestras de agua fueron de 0.0378 mg/L (tabla 4-3) en el agua residual cruda, mientras que en el agua residual tratada no se detectó (tabla 4-6), esto significa que el plomo quedó sedimentado en los lodos de la fosa séptica, por tanto, no hay presencia de plomo en el agua residual tratada cumpliendo así con el límite establecido por la norma (NOM-001-ECOL-1996), el cual es de 1 mg/L.

Zinc.

Es uno de los elementos metálicos menos comunes, es maleable, dúctil y de color gris, sus usos más importantes constituyen las baterías, aleaciones y el recubrimiento protector de otros metales (galvanizados). En grandes cantidades puede causar diarrea, cólicos abdominales y vómitos, generalmente en el lapso de tres a diez horas después del consumo (www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Zn.htm y www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/002416.htm).

La remoción del zinc durante el tren de tratamiento fue de 26.2 %, ya que se tuvieron promedios de 0.159 mg/L (tabla 4-3) en el agua residual cruda y 0.117 mg/L (tabla 4-6) en el agua residual tratada,

como la norma (NOM-ECOL-001-1996) establece un límite promedio de 20 mg/L, entonces la concentración presente en el agua residual tratada esta dentro de la norma.

Análisis Microbiológico.

Coliformes fecales y totales.

Las coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos. La presencia de bacterias coliformes en el suministro de agua es un indicio de que el suministro de agua puede estar contaminado con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo (Metcalf & Eddy, 1997).

Durante los muestreos se encontraron concentraciones de $1.38E+08$ y $1.39E+07$ UFC/100 ml (tablas 4-4 y 4-7) para los coliformes totales, aun cuando no están establecidos en la norma (NOM-001-SEMARNAT-1997) su concentración es alta.

Los coliformes fecales se detectaron en concentraciones de $6.20E+07$ UFC/100 ml en el agua residual cruda (tabla 4-4) y $4.66E+06$ UFC/100 ml en el agua residual tratada (tabla 4-7). Los datos anteriores revelan que durante el tren de tratamiento solo se pudo remover el 0.075% de los coliformes fecales. Las concentraciones de coliformes fecales encontradas en el agua residual tratada son muy altas, pues están en un promedio de $4.66E+06$ UFC/100 ml, mientras que la norma establece un promedio de $1E+03$ NMP/100ml.

Huevos de helminto.

Los helmintos son parásitos invertebrados de cuerpo alargado (gusanos) con simetría bilateral y órganos definidos, sin extremidades, su reproducción es sexual (formando huevos) y su tamaño varía entre 0.3 mm hasta 12 metros, generalmente se encuentran en el intestino de las personas y animales pero cuando emigran se pueden encontrar en otros órganos como la tráquea, el hígado y el corazón. Las fuentes de contaminación de estos parásitos generalmente es por mala higiene, ingerir agua y alimentos contaminados con heces fecales, la propagación de estos parásitos es mediante huevos (www.scribd.com/doc/2726646/Helmintos-GENERALIDADES y www.portal.unesco.org/education/es.html).

La determinación de los helmintos es a través de la cuantificación del número de huevos presentes en una muestra de agua. La norma (NOM-001-SEMARNAT-1997) establece un promedio mensual ≤ 5 He/L como límite máximo, en los análisis realizados no se detectaron huevos de helminto en las muestras, la ausencia de huevos de helminto se debe básicamente a que no existe infección con estos parásitos, por lo tanto, el agua tratada en la planta si cumple con este parámetro.

Adecuaciones realizadas al tren de tratamiento de la planta.

Las evaluaciones de la calidad del agua en el efluente de la planta del edificio 12, permitieron determinar la necesidad de realizar adecuaciones en el tren de tratamiento de la planta, esto con la finalidad de incrementar la eficiencia.

Las adecuaciones que se realizaron fueron: 1) se incrementó el tiempo de retención, esto para que el tiempo de contacto entre el agua residual y las bacterias fuera mayor y lograr una mayor remoción de materia orgánica. 2) como los lodos activados se conforman de bacterias aerobias, se aumentó la oxigenación mediante la adición de una línea directa de un compresor hacia el tanque de lodos activados, asegurando que el metabolismo de las bacterias permita la degradación de los contaminantes. 3) se agregó una trampa contra olores para evitar que se emanen éstos hacia los edificios cercanos.

Balance hídrico en el edificio 12 del Instituto de Ingeniería.

Se llevó a cabo el cálculo del balance hídrico en el edificio 12 para determinar el gasto promedio de agua potable que se requiere para abastecer los servicios sanitarios.

El edificio 12 cuenta con un total de 15 retretes y 6 mingitorios con gastos de 6 y 3.8 L por descarga para las 139 personas (76 becarios, 1 vigilante y 62 académicos y administrativos) que laboran en éste edificio, de los cuales 42 (30%) son mujeres y 97 (70%) son hombres.

Para determinar el promedio de agua residual tratada que se requiere para abastecer a los sanitarios se tomó en cuenta el número de personas, así como el gasto de los mingitorios y retretes. Se consideró que cada barón utiliza dos veces los retretes y 2 veces los mingitorios, mientras que las damas utilizan tres veces al día los retretes, entonces el gasto diario es:

$$\text{Sanitarios de hombres: } (97 \text{ personas}) * (6 \text{ L} + 3.8 \text{ L}) * (2) = 1901.2 \text{ L/día}$$

$$\text{Sanitarios de mujeres: } (42 \text{ personas}) * (6 \text{ L}) * (3) = 756 \text{ L/día}$$

$$\text{Lo que da un total de: } = 2657.2 \text{ L/día}$$

Determinando el gasto en L/s, se tiene que:

$$\frac{2657.2 \text{ L}}{86400 \text{ s}} = 0.03075 \text{ L/s} \approx \mathbf{0.031 \text{ L/s}}$$

Por lo tanto, el gasto promedio de agua potable necesario para abastecer el total de los servicios del edificio 12 fue de 0.045 L/s (ver tabla 4-8), del cual se requieren 0.031 L/s ($\approx 69\%$) para los servicios sanitarios.

Por otra parte del total de agua que entra al edificio 12 solo salen 0.036 L/s, lo que significa que hay un uso en el edificio que no retorna a la red y es de aproximadamente del 18.9 % (ver tabla 4-8). Este

porcentaje se encuentra dentro del rango normal de no retorno al drenaje debido al uso del agua, el cual está en el orden del 20%.

Por lo anterior, la planta de tratamiento recibe 0.036 L/s de agua residual provenientes del edificio 12, por tanto se determina que aunque la cantidad de agua tratada en la planta es muy pequeña es suficiente para abastecer los sanitarios de ese edificio (0.031 L/s) y con el agua sobrante 0.005 L/s ($\approx 14\%$) se cubrirá el riego de las áreas verdes circundantes a este edificio.

Costo de tratamiento del agua.

Se realizó una estimación del costo del tratamiento de agua residual en la planta de tratamiento del edificio 12 del Instituto de Ingeniería con la finalidad de conocer el costo (\$)/Litro de agua tratada.

En la estimación del costo de tratamiento se están considerando costos de capital (costo de la planta), costo de construcción (acondicionamiento del lugar, instalación y arranque), costos de operación (en función del caudal tratado, desinfección y consumo de energía) y el costo de mantenimiento.

El costo (inversión) inicial de los componentes fue de:

➤ Costo de capital	\$ 273,146
➤ Costo de construcción	\$ 78,053
Total :	\$ 351,199

Mientras que los costos de operación y mantenimiento por litro son los siguientes:

➤ Costo de operación	\$ 3.00
➤ Costo de mantenimiento	\$ 0.50
Total :	\$ 3.50

Costo de tratamiento por día:
(Tiempo de vida media=10años)

$$\left(\frac{\$ 351,199}{10 \text{ años}}\right) * \left(\frac{1 \text{ año}}{365 \text{ día}}\right) = \$ 97/\text{día}$$

Litros tratados por día: 3110 L/día.

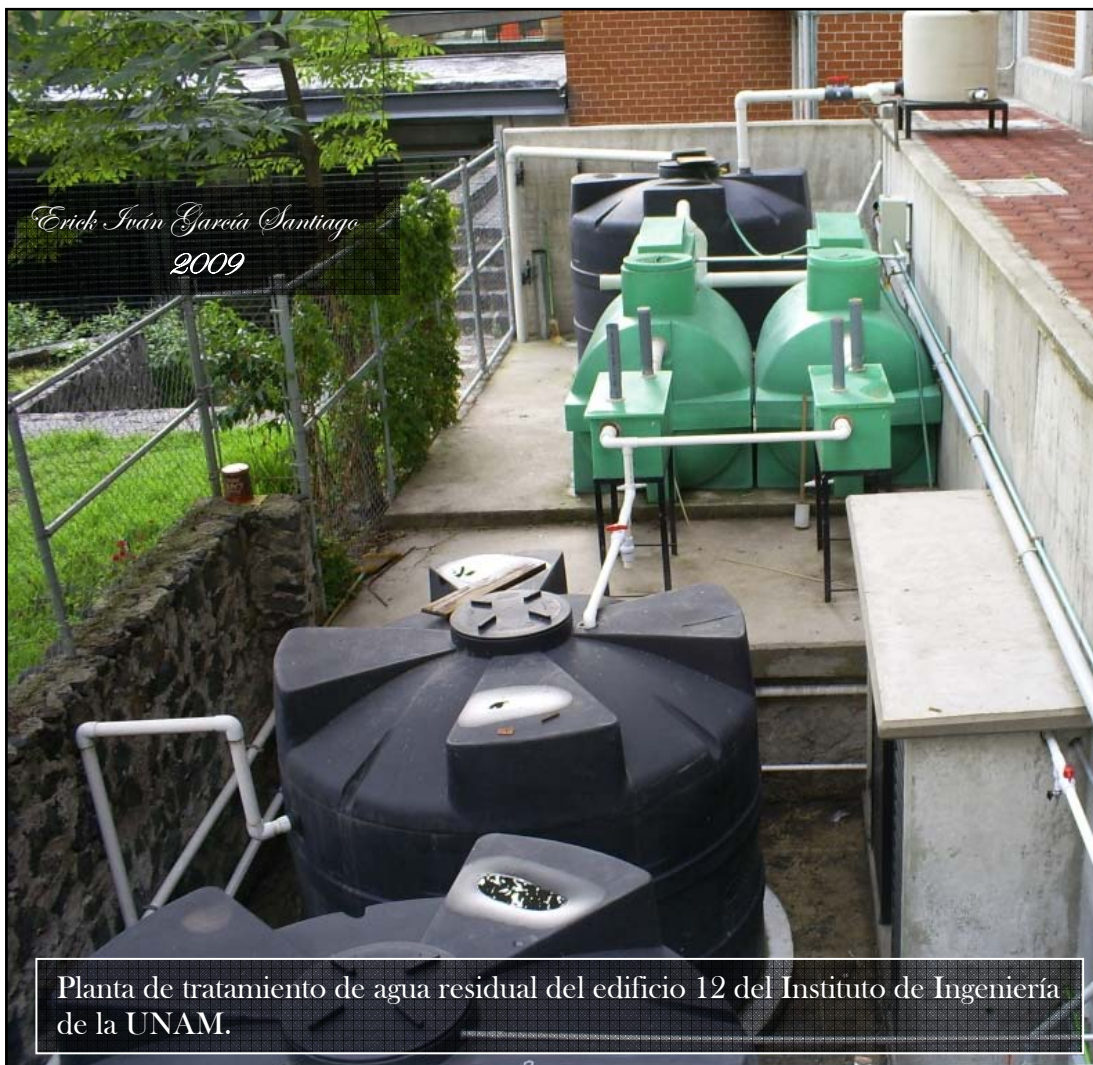
Costo de tratamiento por litro:

$$\left(\frac{\$ 97}{\text{día}}\right) * \left(\frac{\text{día}}{3110 \text{ L}}\right) = \$0.03/\text{L} + \$3.5/\text{L} = \$3.53 \approx \$4.00/\text{L}$$

Aunque la planta de tratamiento es operada y monitoreada por personal académico y tesisistas como parte de las actividades de los proyectos de investigación que se desarrollan en el Instituto, se está considerando un operador en el costo de operación.

La estimación de costos del tratamiento, fue calculada en aproximadamente \$4.00 (cuatro pesos 00/mn) por litro de agua tratada en esta planta.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES.



6.1.- CONCLUSIONES.

Se determinaron los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua de la planta de tratamiento de agua residual del edificio 12 del Instituto de Ingeniería de la UNAM, tomando como referencia la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, la cual hace referencia al reuso de agua tratada en servicios al público con contacto directo, siendo este el que se destina a actividades donde el público esté expuesto directamente o en contacto físico, los cuales son los siguientes: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines. En base a lo anterior se llegó a las siguientes conclusiones:

- 1.- De acuerdo con los resultados obtenidos durante la segunda etapa de muestreo, se determinó que la planta opera con una eficiencia promedio del 90.78%, la cual se calculó en función de la concentración de la DBO_5 diaria, analizada tanto en el influente como en el efluente.
- 2.- El desarrollo de la presente tesis permitió establecer un programa de muestreo que será utilizado como rutina para monitorear la calidad del agua tratada en la planta, también mediante un registro de datos se inició un historial del comportamiento de la planta.
- 3.- El balance de agua en el edificio 12 permitió determinar que el agua tratada en la planta de tratamiento de este edificio logra cubrir la demanda de agua que se necesita para abastecer los sanitarios de éste edificio, ya que se requieren 0.031 L/s (≈ 2678.4 L/día) para éste fin y la planta trata 0.036 L/s de agua residual. Por lo tanto si se cubre la cantidad de agua requerida para el reuso en sanitarios, y con el agua sobrante ($\approx 14\%$) se pretende regar las áreas verdes aledañas.
- 4.- La estimación del costo de agua tratada es de \$4.00/L.
- 5.- Este trabajo contribuye a que se sigan efectuando adecuaciones al el tren de tratamiento de la planta, para cumplir con los parámetros establecidos por la norma NOM-003-SEMARNAT-1997, siendo estos parámetros: coliformes fecales, sólidos suspendidos totales y demanda bioquímica de oxígeno, mientras que los huevos de helminto, metales pesados, y grasas y aceites si cumplen con la norma para servicios al público con contacto directo.
- 6.- Una vez terminadas las adecuaciones, el agua residual tratada en la planta de tratamiento del edificio 12 del Instituto de Ingeniería de la UNAM, se reusará en sanitarios del mismo edificio, así también en el riego de áreas verdes, haciendo de éste un edificio ecológico con ahorro de agua.

BIBLIOGRAFÍA.

- ✓ American society of civil engineers, american water works association, (1993). “Water treatment plant design” Second edition, McGraw-Hill. Inc.
- ✓ Anuario estadístico de la UNAM, (2008). “Dirección General de Planeación 2008”
- ✓ Apha-Awwa-Wpcf, (1995). “Standard methods for the examination of water and wastewater”. 19th Edition. DC. E.E.U.U.
- ✓ Comisión Nacional del Agua, (2007). “Gaceta de administración del agua”, Volumen 1, México D.F.
- ✓ Comisión Nacional del Agua, (2007). “Inventario Nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación”, México D.F.
- ✓ Comisión Nacional del Agua, (2007). “Situación del Subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento”, primera edición, México D.F.
- ✓ Comisión Nacional del Agua, (2008). “Estadísticas del agua en México”, primera edición, México DF.
- ✓ Comisión Nacional del Agua, (2008). “Programa Nacional Hídrico 2007–2012” Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México D.F.
- ✓ Del Castillo Sternenfels Uriel Mancebo, (1998). “Evaluación del funcionamiento de un sistema de tratamiento anaerobio in situ para aguas residuales generadas en el campus universitario”, Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM, México D.F.
- ✓ Del Castillo Sternenfels Uriel Mancebo, Santiago Ortega Charleston, José Sámano Castillo y Adalberto Noyola Robles, (1997). “Ahorro y reuso de agua mediante tratamiento in situ en el Campus Universitario de la UNAM”, Coordinación de Bioprocesos Ambientales del Instituto de Ingeniería de la UNAM. México, DF.
- ✓ Dirección General de Obras y Conservación del Campus Universitario 2008, (Comunicación personal del operador de la planta Cerro del agua).
- ✓ Gleick, P. H., (1996). “Water resources In Encyclopedia of Climate and Weather”, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823.
- ✓ Hach Company, (2000). “Manual de análisis de agua” segunda edición en español, Loveland, Colorado, E.E.UU.
- ✓ INEGI, (2007) “Anuario de Estadísticas por Entidad Federativa”. México.
- ✓ International Water Association, (2002). “Sludge: a global concern” *Water 21*, magazine of the international water association.

- ✓ International Water Association, (2004). “Global lessons from disease outbreaks” *Water 21*, magazine of the international water association.
- ✓ Jiménez Cisneros B. y Ramos Hernández J., (1995). “Estudio de disponibilidad de agua en México en función del uso, calidad y cantidad”, proyecto interno 3320 Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
- ✓ John W. Nicklow, Paul F. Boulos, (2007). “Essential water and wastewater calculations for engineers and operators” first edition, MWH Soft, Broomfield, Colorado E.E.U.U.
- ✓ Leyva Campos Velia A., (1998). “Aspectos de Ingeniería civil en plantas de tratamiento de agua residual”, Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM. México D.F.
- ✓ Metcalf & Eddy, (1997). “Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización”, Tercera edición, Volumen 1 y 2, McGraw-Hill, México.
- ✓ Nicholas G. Pizzi, (2005). “Water treatment operator handbook”, American water works association, E.E.U.U.
- ✓ NMX-AA-005-SCFI-2000, que establece un método para la “determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas”. Diario Oficial de la Federación, 18 de diciembre de 2000.
- ✓ NMX-AA-012-SCFI-2001, que establece un método para la “determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas”. Diario Oficial de la Federación, 17 de abril de 2001.
- ✓ NMX-AA-028-SCFI-2001, que describe un método para la “determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas”. Diario Oficial de la Federación, 17 de abril del 2001.
- ✓ NMX-AA-030-SCFI-2001, que describe un método para la “determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas”. Diario Oficial de la Federación, 17 de abril de 2001.
- ✓ NMX-AA-034-SCFI-2001, que describe un método para la “determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas”. Diario Oficial de la Federación, 01 de agosto de 2001.
- ✓ NMX-AA-102-SCFI-2006, que describe un método para la “detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva método de filtración en membrana”. Diario Oficial de la Federación, 21 de agosto de 2006.
- ✓ NMX-AA-113-SCFI-1999, que establece un método para “determinar huevos de helminto - método de prueba”. Diario Oficial de la Federación, 5 de agosto de 1999.
- ✓ NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los “Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales de aguas y bienes nacionales”. Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, Diario Oficial de la Federación, 23 de abril de 2003.
- ✓ NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los “Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal”. Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación, 23 de ABRIL de 2003).

- ✓ NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los “Límites máximos permisibles de contaminantes para aguas residuales tratadas que se reusen en para servicios al público”. Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, Diario Oficial de la Federación, 23 de abril del 2003.
- ✓ Ottaviani M., Santarsiero A., De Fulvio S., (1991). “Hygienic, technical and legislative aspects of agricultural sewage sludge usage”. Acta Chim. Hung. 128 (4 - 5), 535-543.
- ✓ Paul N. Cheremisinoff, (1995). “Process engineering handbook series”, Technomic publishing company, Inc, E.E.U.U.
- ✓ PROY-NMX-AA-003-SCFI-2006, que establece los “lineamientos y recomendaciones para muestreo de aguas residuales, municipales”. Diario Oficial de la Federación, 06 de marzo de 2006.
- ✓ R. M. Ramírez-Gama, (2003). “Manual de prácticas de microbiología general” Facultad de Química, UNAM, 2003.
- ✓ R. S. Ramalho, (1996). “Tratamiento de aguas residuales”, Segunda edición, editorial reverté, S.A. México.
- ✓ Romero Aguilar Mariana, (2005). “Propuesta para el tratamiento de las aguas residuales de la universidad Autónoma del Estado de Morelos mediante humedales artificiales de flujo horizontal”, Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Morelos, México.
- ✓ Ron Crites, George Tchobanoglous, (2000). “Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones” traducido de la primera edición en Ingles, McGraw-Hill, México.
- ✓ Schnitzer M., (1991). “Soil organic matter - The next 75 years”, *Soil Sci.*, 151 (1): 41-58.
- ✓ Sociedad General de Aguas De Barcelona, S.A., (1999). “Plantas de tratamiento del rio Llobregat en Sant Joan Despí” Editorial Agbar.
- ✓ Susumu Kawamura, (2002). “Integrated design and operation of water treatment facilities”, second edition, John wiley & sons, inc. E.E.U.U.
- ✓ Tecnoadecuación Ambiental, S.A de C.V., (1996). “Proyecto ejecutivo, Contrato de obra pública No. 96-B2-DGO-L0100-0500, Construcción y/o adecuación de 26 fosas sépticas con post-tratamiento para aguas residuales en Ciudad Universitaria”, México D.F.
- ✓ Water Environment Federation, (1994). “Design of municipal wastewater treatment plants”, second edition, Volume 1. E.E.U.U.
- ✓ Water Environment Federation, (2002). “XXVIII congreso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental” Revista Aidis Chile, N° 31, paginas 44 – 47.

CIBERGRAFÍA.

- ✓ Bioseptic, tratamiento de aguas residuales, [en línea, citado el 22 de agosto de 2008]. Disponible en world Wide web: <http://unix.megared.net.mx/%7ewebbioseptic/>
- ✓ Centro virtual de información del agua, [en línea], agua en el planeta, [citado el 7 de marzo de 2008]. Disponible en World Wide Web: <http://www.agua.org.mx> y http://www.imacmexico.org/ev_es.php?ID=16643_208&ID2=DO_TOPIC#
- ✓ Cideteq, centro de investigación y desarrollo tecnológico en electroquímica S.C., [en línea], tratamiento de agua residual municipal, [citado el 2 de junio de 2008]. Disponible en World Wide Web: <http://www.cideteq.mx/index/tratresiduales>
- ✓ Ecogenesis, ambiente y desarrollo cultural, [en línea], contaminación de agua, [citado el 22 de agosto de 2008]. Disponible en World Wide Web: <http://www.ecogenesis.com.ar/index.php?sec=articulo.php&Codigo=91>
- ✓ Fondo para la comunicación y la educación ambiental, A.C., Centro virtual de información del agua en México, [en línea, citado el 28 de mayo de 2008]. Disponible en world Wide web: <http://www.agua.org.mx>
- ✓ Global Wáter Systems S.A., Plantas de tratamiento fisicoquímicas, [en línea, citado el 3 de junio de 2008]. Disponible en World Wide Web: <http://www.globalwater.cl/tratamiento-fisico-quimico.htm>
- ✓ Global Water Technologies Group, [en línea], productos para tratamiento de agua, [citado el 29 de mayo de 2008]. Disponible en World Wide Web: <http://www.ciberteca.net/index.php>
- ✓ Grupo Emesa, equipos eléctricos y electromecánicos S.A., [en línea], tratamiento biológico de aguas residuales, [citado el 22 de agosto de 2008]. Disponible en World Wide Web: <http://www.emesa.com.mx/>
- ✓ Hidroagua, equipos para tratamiento, uso y control de agua [en línea], equipos para tratamiento de aguas, [citado el 13 de mayo del 2008]. Disponible en World Wide Web: <http://www.hidroagua.com.mx/html/productos.html>
- ✓ Ingeniería sanitaria, [en línea], uso de wetlands para el tratamiento y reuso de aguas residuales domesticas, [citado el 9 de junio de 2008]. Disponible en World Wide Web: http://www.ingenieriasanitaria.com/j/index.php?option=com_content&task=view&id=24&Itemid=9
- ✓ Instituto mexicano de tecnología del agua, [en línea], servicios tecnológicos, [citado el 29 de enero de 2009]. Disponible en World Wide Web: http://www.imta.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=88&Itemid=59
- ✓ Investigación y desarrollo, [en línea], el agua del mundo, [citado el 5 de marzo de 2008]. Disponible en World Wide Web: <http://www.invdes.com.mx/anteriores/Marzo2000/htm/cna82.html>

- ✓ Lentech, wáter treatment and purification, [en línea], tratamiento biológico de aguas [citado el 10 de abril de 2008]. Disponible en world wide web: http://www.lenntech.com/espanol/tratamiento_-biologico.htm y <http://www.lenntech.com/espanol/tipo-de-lodos.htm>
- ✓ Master microbiología, tratamiento biológico de aguas residuales, [en línea, citado el 26 de abril de 2008]. Disponible en world Wide web: http://www.cbm.uam.es/jlsanz/docencia/Master/_programa-teoria_.htm.
- ✓ Medline plus, información de salud para usted, [en línea], contaminación por metales pesados, [citado el 12 de noviembre de 2008]. Disponible en World Wide Web: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/002416.htm>
- ✓ Rema, soluciones en purificación y tratamiento de agua, [en línea] plantas de tratamiento, [citado el 11 de junio de 2008]. Disponible en World Wide Web: <http://www.rema.com.mx/plantaaguasnegras.html>
- ✓ Secretaría de gobernación, Diario Oficial de la Federación [en línea], normas oficiales mexicanas vigentes, [citado el 29 de enero de 2009]. Disponible en World Wide Web: <http://www.economia.nmx.gob.mx/normasmx/consulta.nmx>
- ✓ Tierramor, Tratamiento de aguas residuales, [en línea], Demanda Bioquímica de Oxígeno, [citado el 22 de agosto de 2008]. Disponible en World Wide Web: http://www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm#_lodactiv y <http://www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm>

Anexos

ANEXO A:

Tablas.

Tabla A-1.- Parámetros y sus límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas para reuso (NOM-003-SEMARNAT-1997 y NOM-001-SEMARNAT-1996)

Parámetro	Unidades	Tipo de reuso		Norma
		Servicios al público con contacto directo	Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	
Coliformes fecales	NMP/100 ml	240	1,000	NOM-003-SEMARNAT-1997
Huevos de helminto	He/L	≤ 1	≤ 5	
Grasas y aceites	mg/L	15	15	
DBO5	mg/L	20	30	
SST	mg/L	20	30	
Grasas y aceites	mg/L	15	15	
Metales pesados y cianuros:		Uso público urbano	Uso en riego agrícola	NOM-001-SEMARNAT-1996
Arsénico	mg/L	0.1	0.2	
Cadmio	mg/L	0.1	0.2	
Cianuros	mg/L	1.0	2.0	
Cobre	mg/L	4	4.0	
Cromo	mg/L	0.5	1	
Mercurio	mg/L	0.005	0.01	
Níquel	mg/L	2	2	
Plomo	mg/L	0.2	0.5	
Zinc	mg/L	10	10	

Tabla A-2.- Características de los lodos que se generan durante el tratamiento del agua.

Origen del lodo	Descripción.
Residuos de rejas y cribas	Estos residuos incluyen materiales orgánicos e inorgánicos de tamaño suficientemente grandes para ser eliminados por rejas. El contenido de materia orgánica varía en función de de la naturaleza del sistema. Pueden ser eliminados por quema, entierro y molido con retorno o molido con transferencia a un digestor de lodo.
Arenas	Están constituidas por sólidos orgánicos pesados que sedimentan a velocidades relativamente grandes. Dependiendo del funcionamiento, la arena puede contener cantidades significativas de materia orgánica.
Espumas y grasas	Generalmente formado por materiales flotantes recogidos en la superficie de los tanques como: grasas, aceites, papel, algodón, materiales de plástico, etc. Generalmente más del 90% es agua.
Lodo primario	Proveniente de tanques de tratamiento primario, es de color grisáceo, grasiento, putrescible y de olor fuerte. La consistencia se caracteriza por ser un fluido denso con un porcentaje en agua que varía entre 93 % y 97 %.
Lodo activado	Tienen una apariencia floculenta de color marrón, parcialmente descompuesto. Cuando está joven tiene un olor a tierra, tiende a convertirse en séptico rápidamente.
Lodo de precipitación química	Proviene de tanques de precipitación química, es de color oscuro, consistencia gelatinosa y olor desagradable.
Lodo de filtro percolador	Éste lodo es de color parduzco, floculento, relativamente inodoro y parcialmente descompuesto.
Lodo digerido	Es de color oscuro, cuando esta húmedo tiene un olor a alquitrán.

Fuente: Del Castillo, 1998.

Tabla A-3.- Plantas de tratamiento de agua residual municipal existentes en México hasta diciembre del 2006.

Estado	Nº de plantas	Capacidad Instalada (L/s)	Capacidad de Operación (L/s)
Aguascalientes	101	3,722,07	3,288.33
Baja California	28	6,411,07	4,442.07
Baja California Sur	16	1,105,02	823.50
Campeche	10	81.50	47.30
Coahuila	13	3,463,00	2,753.00
Colima	47	685,50	382.30
Chiapas	11	1,109,20	953.20
Chihuahua	116	7,976,20	6,241.55
Distrito Federal	31	6,550.50	3,527.00
Durango	138	3,465,67	2,552.93
Guanajuato	36	4,928,50	3,691.50
Guerrero	33	3,211,00	1,800.70
Hidalgo	8	56,50	49.70
Jalisco	95	3,421.50	3,275.60
Edo. México	78	7,295.20	4,733.30
Michoacán	21	1,529.00	1,043.60
Morelos	22	1,253.20	1,013.10
Nayarit	59	1,899.63	1,173.40
Nuevo León	61	13,091.00	11,102.20
Oaxaca	56	868.00	660.80
Puebla	82	3,116.59	2,421.09
Querétaro	63	1,001.00	774.10
Quintana roo	29	2,076.50	1,600.90
San Luis Potosí	12	1,987.40	1,300.40
Sinaloa	107	4,794.07	3,818.73
Sonora	66	3,750.38	2,581.10
Tabasco	60	1,462.00	1,207.30
Tamaulipas	33	3,435.75	3,444.14
Tlaxcala	39	1,030.28	744.53
Veracruz	86	4,530.62	2,533.82
Yucatán	12	76.50	66.50
Zacatecas	25	385.90	342.60
Total Nacional	1594	99,771.69	74,390.29

- ✓ El inventario comprende el conjunto de plantas de tratamiento registrado en CONAGUA, sin considerar quién las haya construido o las opere.
- ✓ No se incluyen las plantas de tratamiento de las descargas provenientes de industrias, centros comerciales y hospitales, entre otras.
- ✓ Este inventario considera los efluentes de fosas sépticas y sistemas formales de tratamiento de núcleos habitacionales como parte del caudal tratado.
- ✓ No se consideran plantas de tratamiento con un gasto menor a 1 L/s.

Fuente: Comisión Nacional del Agua, publicado en Agosto del 2007.

Tabla A-4.- Evolución del saneamiento de agua municipal en México.

Año	TOTAL		EN OPERACIÓN			FUERA DE OPERACIÓN	
	No de plantas	Gasto instalado (L/s)	No de plantas	Instalado (L/s)	Tratada (L/s)	No de plantas	Instalado (L/s)
1992	542	No disp.	394	No disp.	3 0,554.00	152	No disp.
1993	650	No disp.	454	No disp.	3 0,726.00	196	No disp.
1994	666	4 2,788.30	461	No disp.	3 2,065.00	205	No disp.
1995	680	5 4,638.00	469	4 8,172.00	32,905.20	211	6 ,466.00
1996	739	5 4,765.00	595	5 1,696.30	33,745.40	198	3 ,068.70
1997	821	6 1,653.10	639	5 7,401.70	39,388.80	182	4 ,251.40
1998	914	6 3,150.90	727	5 8,560.20	40,854.70	187	4 ,590.70
1999	1,000	6 7,547.38	777	6 1,558.99	42,396.76	223	5 ,988.39
2000	1,018	7 5,952.00	793	6 8,970.00	45,927.30	225	6 ,982.00
2001	1,132	8 0,622.20	938	7 3,852.60	50,810.00	194	6 ,769.60
2002	1,242	8 5,042.63	1077	7 9,735.03	56,148.49	165	5 ,307.60
2003	1,360	8 9,585.28	1,182	8 4,331.48	60,242.55	178	5 ,253.80
2004	1,481	9 2,674.80	1,300	8 8,718.30	64,541.94	181	3 ,956.50
2005	1,666	1 01,348.67	1433	9 5,774.27	71,784.84	233	5 ,574.40
2006	1,837	1 04,895.86	1,594	9 9,764.19	74,388.29	244	5 ,131.67

Fuente: Comisión Nacional del Agua, publicado en Agosto del 2007.

Tabla A-5.- Resultados físico-químicos del cárcamo de bombeo (Influyente).

Fecha	Hora	Muestra	SST (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	COT (mg/L)	N-NH ₃ (mg/L)	SUR (mg/L)	pH	CND (mS/cm)	SDT (mg/L)	T (°C)
Primera etapa de muestreo												
22/05/2008	08:30	1	269.01	254.2	980	264	<1.0	16.2	7.88	1.62	810	21.2
22/05/2008	12:30	3	471.23	620.8	1420	525	<0.5	8.6	8.39	1.44	720	21.6
22/05/2008	14:30	4	122.61	758.3	1120	700	<0.5	5.5	8.23	1.45	730	22.3
22/05/2008	17:00	Comp.	287.62	560	1200	680	<1.0	6.3	8.22	1.50	740	21.8
27/05/2008	08:30	1	722.85	579.2	1460	545	<1.0	9.5	7.86	1.83	920	21.1
27/05/2008	10:30	2	407.18	420.8	1190	300	<1.0	<1.0	8.02	1.20	600	21.9
27/05/2008	12:30	3	223.26	408.3	890	330	1.0	<1.0	8.36	1.20	600	21.6
27/05/2008	14:30	4	256.20	558.3	850	485	<1.0	<1.0	8.28	1.36	690	22.7
27/05/2008	16:30	5	139.08	462.5	800	360	<0.5	<0.5	8.46	1.31	660	22.7
27/05/2008	17:00	Comp.	142.74	395.8	780	315	<0.5	<0.5	8.3	1.51	760	22.7
29/05/2008	08:30	1	226.92	545.8	900	530	<1.0	13.8	8.03	1.90	950	21.7
29/05/2008	10:30	2	184.83	529.2	840	510	<1.0	6.0	8.39	1.65	830	21.9
29/05/2008	12:30	3	228.75	666.7	1012	620	<1.0	15.2	8.02	1.93	930	21.3
29/05/2008	14:30	4	416.33	616.7	1430	490	<1.0	<1.0	8.19	1.35	668	22.2
29/05/2008	16:30	5	128.10	395.8	703	390	<1.0	6.0	8.13	1.95	970	22.3
29/05/2008	17:00	Comp.	292.80	512.5	1020	450	<1.0	<1.0	8.35	1.54	770	22.6
Promedio total			291.44	527.04	1062.78	469.44	<1.0	≈ 6.38	8.17	1.55	772.31	21.86
Segunda etapa de muestreo												
26/06/2008	09:30	1	448.35	587.5	1250	540	<1.0	5.0	7.25	1.43	720	20.4
26/06/2008	12:30	2	155.55	529.2	940	455	<1.0	<1.0	7.23	1.39	700	21.3
26/06/2008	15:30	3	315.68	308.3	720	296	<1.0	25.6	7.55	1.42	710	21.9

26/06/2008	16:00	Comp.	333.98	566.7	995	460	<1.0	25.1	7.25	1.44	710	21.3
27/06/2008	09:30	Única	512.40	641.7	1130	610	<1.0	10.6	7.55	1.73	870	19.8
30/06/2008	09:30	Única	393.45	379.2	870	360	<1.0	6.5	7.58	1.15	580	20.0
01/07/2008	09:30	1	269.01	479.2	1100	400	<1.0	<1.0	7.86	1.29	650	20.1
01/07/2008	12:30	2	356.85	479.2	1100	395	<1.0	<1.0	7.76	1.20	600	19.8
01/07/2008	15:30	3	261.69	516.7	800	435	<1.0	<1.0	8.04	1.14	570	19.7
01/07/2008	16:00	Comp.	208.62	425.0	810	375	<1.0	<1.0	8.12	1.20	600	19.8
02/07/2008	17:00	Única	430.05	491.7	1040	465	<1.0	11.4	7.92	1.40	700	18.9
03/07/2008	09:30	1	393.45	466.7	980	445	<1.0	5.3	8.32	1.40	700	19.4
03/07/2008	12:30	2	274.50	504.2	1030	430	<1.0	<1.0	8.08	1.17	590	20.8
03/07/2008	16:00	Comp.	297.38	487.5	950	450	<1.0	<1.0	8.30	1.27	640	20.3
04/07/2008	09:30	Única	188.49	258.3	525	248	<1.0	26.6	8.10	1.20	600	18.4
14/08/2008	09:30	Única	107.97	916.7	2380	810	<1.0	2.0	8.335	1.52	760	19.1
28/08/2008	08:30	1	1290.15	775.0	2280	715	<1.0	4.7	8.06	1.48	742	21.7
28/08/2008	11:30	2	240.65	525.0	1000	450	<1.0	<1.0	8.07	1.26	632	21.6
28/08/2008	14:30	3	626.78	675.0	1540	620	<1.0	<1.0	8.11	1.39	697	21.4
28/08/2008	17:30	4	677.10	783.3	1615	714	<1.0	<1.0	8.05	1.27	688	21.4
28/08/2008	18:00	Comp.	823.50	716.7	1820	635	<1.0	<1.0	8.09	1.39	698	21.3
02/09/2008	08:30	1	434.63	533.3	1290	430	<1.0	<1.0	7.51	1.81	917	22.0
02/09/2008	11:30	2	343.13	587.5	1280	480	<1.0	<1.0	7.28	1.68	840	21.7
02/09/2008	14:30	3	251.63	495.8	970	400	<1.0	<1.0	7.52	1.18	645	21.6
02/09/2008	17:30	4	278.16	551.7	1200	413	<1.0	<1.0	7.51	1.36	732	21.7
02/09/2008	18:00	Comp.	301.95	516.7	1080	440	<1.0	<1.0	7.49	1.49	747	21.7
Promedio total			360.43	537.13	1171.38	482.63	<1.0	≈ 8.15	7.84	1.38	694.49	20.06

Tabla A-6.- Resultados físico-químicos de la fosa séptica (Influente).

Fecha	Hora	Muestra	SST (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	COT (mg/L)	N-NH ₃ (mg/L)	SUR (mg/L)	pH	CND (mS/cm)	SDT (mg/L)	T (°C)
Primera etapa de muestreo												
22/05/2008	08:30	1	786.90	279.2	1700	430	<1.0	45.5	7.43	1.76	880	21.4
22/05/2008	12:30	3	236.07	312.5	650	305	<0.5	45.0	7.69	1.93	970	21.5
22/05/2008	14:30	4	259.86	375.0	755	360	<0.5	51.5	7.75	1.73	870	22.4
22/05/2008	17:00	Comp.	427.61	320.6	780	393	<1.0	48.3	7.70	1.88	940	21.6
27/05/2008	08:30	1	193.98	322.2	625	320	<1.0	37.0	7.37	1.93	970	20.8
27/05/2008	10:30	2	259.86	329.2	705	335	<1.0	29.6	7.64	1.97	990	21.4
27/05/2008	12:30	3	263.52	345.8	730	345	<1.0	30.0	7.65	1.94	970	21.6
27/05/2008	14:30	4	1372.50	362.5	440	520	<1.0	19.4	7.69	1.88	950	22.6
27/05/2008	16:30	5	115.29	575.0	525	315	1.5	20.8	7.73	1.77	890	22.8
27/05/2008	17:00	Comp.	126.27	325.0	485	278	<0.5	17.2	7.65	1.85	960	22.4
29/05/2008	08:30	1	192.15	287.5	505	390	<1.0	47.0	7.6	1.95	980	21.5
29/05/2008	10:30	2	175.68	395.8	620	335	<1.0	39.5	7.63	1.96	980	21.5
29/05/2008	12:30	3	222.35	341.7	980	611	<1.0	39.8	7.5	1.97	980	21.7
29/05/2008	14:30	4	173.85	616.7	625	335	<1.0	36.5	7.73	1.96	980	22.1
29/05/2008	16:30	5	102.48	345.8	620	365	<1.0	13.2	7.73	1.97	990	22.1
29/05/2008	17:00	Comp.	106.14	335.8	465	274	<1.0	21.2	7.93	1.89	950	22.3

Promedio total			347.31	372.30	770.00	397.73	1.0	36.63	7.63	1.89	947.56	21.8
Segunda etapa de muestreo												
26/06/2008	09:30	1	311.10	283.3	325	254	<1.0	28.8	7.66	1.89	950	20.3
26/06/2008	12:30	2	146.40	258.3	335	260	<1.0	28.2	7.69	1.90	950	20.7
26/06/2008	15:30	3	272.67	262.5	345	268	<1.0	25	7.58	1.53	730	21.5
26/06/2008	16:00	Comp.	295.55	373.3	320	274	<1.0	28.6	7.66	1.63	700	20.8
27/07/2008	09:30	Única	507.83	637.5	800	610	<1.0	10.3	7.77	1.79	900	19.9
30/06/2008	09:30	Única	439.20	300.0	385	298	<1.0	40.5	7.63	1.94	980	19.7
01/07/2008	09:30	1	215.94	221.7	500	210	<1.0	10.4	7.84	1.42	740	19.8
01/07/2008	12:30	2	157.38	225.0	440	216	<1.0	9.5	7.94	1.51	760	19.6
01/07/2008	15:30	3	153.72	241.7	460	234	<1.0	9.5	8.14	1.51	760	19.4
01/07/2008	16:00	Comp.	104.31	213.3	370	206	<1.0	8.4	8.06	1.48	740	19.6
02/07/2008	17:00	Única	267.18	258.3	600	244	<1.0	21.8	7.98	1.63	820	18.8
02/07/2008	09:30	1	335.81	206.7	325	202	<1.0	19.0	8.00	1.73	870	19.0
02/07/2008	12:30	2	125.36	241.7	440	234	<1.0	27.4	7.76	1.54	780	20.7
02/07/2008	16:00	Comp.	233.33	212.5	315	206	<1.0	15.0	7.91	1.45	730	20.4
04/07/2008	09:30	Única	137.25	240.0	450	232	<1.0	27.8	7.90	1.70	850	18.2
14/08/2008	09:30	Única	1079.70	341.7	970	320	<1.0	49.5	7.81	1.82	920	19.7
28/08/2008	08:30	1	384.30	325.0	820	310	<1.0	32.5	7.98	1.79	899	21.3
28/08/2008	11:30	2	443.78	337.5	890	320	<1.0	26.0	8.10	1.77	890	21.3
28/08/2008	14:30	3	594.75	362.5	1070	340	<1.0	21.2	8.22	1.82	914	21.1
28/08/2008	17:30	4	393.45	383.3	920	340	<1.0	25.3	8.32	1.88	904	21.2
28/08/2008	18:00	Comp.	407.18	325.0	830	310	<1.0	20.2	8.29	1.82	912	21.1
02/09/2008	08:30	1	217.77	326.7	745	338	<1.0	30.	6.85	1.82	913	21.9
02/09/2008	11:30	2	153.72	246.7	470	240	<1.0	19.6	6.88	1.79	897	21.9
02/09/2008	14:30	3	151.89	270.8	495	262	<1.0	19.8	6.86	1.80	845	21.6
02/09/2008	17:30	4	170.19	300.0	405	280	<1.0	17.0	6.91	1.76	940	21.7
02/09/2008	18:00	Comp.	117.12	233.3	415	226	<1.0	17.6	6.73	1.82	914	21.6
Promedio total			370.83	313.31	584.29	301.02	<1.0	25.81	7.76	1.74	827.55	19.96

Tabla A-7.- Resultado del análisis físico-químico del tanque de almacenamiento de agua residual tratada (Efluente).

Fecha	Hora	Muestra	SST (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	COT (mg/L)	N-NH ₃ (mg/L)	SUR (mg/L)	pH	CND (mS/cm)	SDT (mg/L)	T (°C)
Primera etapa de muestreo												
22/05/2008	08:30	1	32.94	104.17	212	83	<1.0	234	7.60	1.57	800	21.1
22/05/2008	12:30	3	106.14	198.33	365	192	<0.5	28.6	7.62	1.76	880	21.5
22/05/2008	14:30	4	68.63	201.67	258	200	<0.5	25.2	7.73	1.79	900	22.2
22/05/2008	17:00	Comp.	69.24	180.53	280	123	<1.0	28.1	7.72	1.70	880	21.5
27/05/2008	08:30	1	88.76	88.33	282	89	<1.0	21.4	7.56	1.99	990	20.8
27/05/2008	10:30	2	86.01	90.00	280	90	<1.0	21.4	7.80	1.92	970	21.8
27/05/2008	12:30	3	73.20	89.17	258	86	<1.0	22.8	7.83	2.00	1000	21.6
27/05/2008	14:30	4	81.44	94.17	276	90	<1.0	19.4	7.80	1.94	970	22.7
27/05/2008	16:30	5	35.69	173.33	254	170	1.3	12.6	7.77	1.86	940	23.1
27/05/2008	17:00	Comp.	87.84	153.33	310	143	1.7	7.7	7.05	1.88	950	22.6

29/05/2008	08:30	1	107.06	102.50	325	103	<1.0	16	7.77	1.98	990	21.4
29/05/2008	10:30	2	112.55	98.33	330	102	<1.0	16.2	7.82	1.99	1000	21.6
29/05/2008	12:30	3	109.80	93.33	320	100	<1.0	16	7.75	1.99	990	21.7
29/05/2008	14:30	4	96.99	91.67	298	94	<1.0	19.2	7.79	1.95	980	23.5
29/05/2008	16:30	5	125.36	82.50	300	108	<1.0	16.3	7.85	1.99	1000	22.4
29/05/2008	17:00	Comp.	98.82	84.17	320	84	<1.0	8.1	7.97	1.89	950	22.6
Promedio total			84.20	122.91	287.64	121.58	<1.0	44.06	7.73	1.88	942.00	21.91
Segunda etapa de muestreo												
25/06/2008	11:00	Única	80.52	51.67	224	68	3	22.4	7.41	1.44	720	20.4
26/06/2008	09:30	1	70.46	55.83	224	61	<1.0	3.9	8.14	1.60	800	20.3
26/06/2008	12:30	2	71.37	55.83	238	62	<1.0	4.8	7.97	1.48	750	21.0
26/06/2008	15:30	3	76.86	59.17	240	65	<1.0	3.8	7.87	1.67	840	22.2
26/06/2008	16:00	Comp.	73.25	50.83	298	76	<1.0	5.8	7.98	1.64	820	21.3
27/06/2008	09:30	Única	71.37	61.67	246	65	<1.0	3.1	8.09	1.65	830	19.7
30/06/2008	09:30	Única	50.33	66.67	300	76	7.3	24.0	7.97	1.63	820	19.4
01/07/2008	09:30	1	73.20	57.50	222	62	<1.0	4.6	8.06	1.60	810	20.2
01/07/2008	12:30	2	72.29	55.83	232	62	<1.0	4.7	8.31	1.64	820	19.4
01/07/2008	15:30	3	67.71	56.67	212	60	<1.0	4.7	8.27	1.60	800	19.0
01/07/2008	16:00	Comp.	71.37	56.67	220	61	<1.0	4.5	8.19	1.59	800	19.5
02/07/2008	09:30	Única	58.56	46.67	166	50	<1.0	8.3	8.16	1.51	760	18.2
03/07/2008	09:30	1	63.14	41.67	170	49	1.4	11.5	8.15	1.54	770	18.7
03/07/2008	12:30	2	49.41	49.17	230	54	1.9	4.4	7.89	1.54	770	21.0
03/07/2008	16:00	Comp.	52.41	47.50	226	53	1.6	4.1	7.90	1.32	670	20.4
04/07/2008	09:30	Única	64.97	45.83	178	52	1.3	10.3	8.18	1.49	750	17.1
14/08/2008	09:30	Única	83.27	56.67	252	66	<1.0	4.5	8.29	1.77	890	18.4
28/08/2008	08:30	1	99.74	59.17	264	75	5	23.2	8.22	1.66	823	21.4
28/08/2008	11:30	2	96.08	61.67	260	75	2.4	20.2	8.21	1.49	743	21.4
28/08/2008	14:30	3	81.44	68.33	315	76	<1.0	3.1	8.12	1.53	766	21.2
28/08/2008	17:30	4	90.59	58.33	250	75	<1.0	11.5	8.08	1.45	723	21.6
28/08/2008	18:00	Comp.	98.82	62.50	262	75	2.6	17.0	8.14	1.48	741	21.6
02/09/2008	08:30	1	54.90	53.33	238	58	1.7	6.7	7.24	1.75	878	21.7
02/09/2008	11:30	2	53.99	51.67	230	56	1.4	5.6	7.37	1.65	825	21.9
02/09/2008	14:30	3	58.56	51.67	236	58	1.9	6.1	7.39	1.68	840	21.7
02/09/2008	17:30	4	59.48	52.50	238	58	1.8	6.3	7.28	1.68	860	21.7
02/09/2008	18:00	Comp.	55.82	51.67	230	57	1.8	6.0	7.45	1.74	873	21.6
Promedio total			68.90	54.76	229.98	62.30	≈ 1.74	10.01	7.98	1.59	796.47	19.72

ANEXO B:

Figuras.



Figura B-1.- Edificio 12 del Instituto de Ingeniería de la UNAM.



Figura B-2.- Vista aérea de la planta de tratamiento de agua residual del edificio 12 del Instituto de Ingeniería de la UNAM.



Figura B-3.- Planta de tratamiento de agua residual del edificio 12 del Instituto de Ingeniería de la UNAM



Figura B-4.- Muestras diarias analizadas en el laboratorio.

Fin