



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**"PRUEBAS DE TRATABILIDAD DE AGUAS
RESIDUALES"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA

ROCÍO ORTEGA GARCÍA

DIRECTOR DE TESIS:

M.C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS



MÉXICO, D.F.

2006.

Dedicatoria

Dedicada a una gran mujer que admiro y quiero con todo mi corazón, que estoy agradecida con ella no solo por darme la vida si no por que me ha guiado y apoyado siempre, y este logro no es solo mío, es también de ella. Gracias por todos los consejos y por estar siempre a mi lado.

“Lo que uno empieza se debe de terminar”

Gracias mamá, siempre lo recordare.

Tu hija Rocío.

Agradecimientos

A cada uno de los profesores de la Facultad de Ingeniería, que fueron parte de mi aprendizaje en el transcurso de la carrera. Gracias.

Al M.C. Constantino Gutiérrez Palacios, quien me brindo el apoyo para realizar mi tesis. Gracias.

A mis sinodales, que también fueron parte de mi aprendizaje. Gracias.

Al Ing. Jaime Martínez Martínez, por su apoyo, confianza y que también fue parte de mi aprendizaje. Gracias.

Al Ing. Santiago Rivas, que al darme una oportunidad deposito en mi la confianza, para que no me diera por vencida en aquel momento. Gracias.

A mis hermanos, Mago, Rubén y Hugo que están y estarán siempre a mi lado. Gracias, los quiero mucho.

Y de manera especial y con todo cariño a Uriel, por su apoyo, confianza, por estar siempre a mi lado y por creer en mí. Gracias Amor.

"Siempre llevare con orgullo a mi Universidad y la Facultad de Ingeniería"

	Páginas
INTRODUCCIÓN	1
I. ANTECEDENTES	3
I.1 Definiciones básicas	3
I.2 Fuentes de contaminación del agua	5
I.2.1 Origen y componentes de las aguas residuales	7
I.3 Características de las aguas residuales	9
I.3.1 Propiedades físicas	10
I.3.2 Propiedades químicas	12
I.3.3 Propiedades biológicas	15
I.4 Enfermedades transmitidas por el agua	18
I.5 Exploración, muestreo y análisis	22
I.5.1 Exploración	22
I.5.2 Muestreo	23
I.5.3 Análisis	25
I.6 Principales procesos de tratamiento en aguas residuales	27
I.7 Normatividad nacional	37
II. EXAMEN DE LAS AGUAS RESIDUALES	45
II.1 Parámetros físicos	46
II.2 Parámetros químicos	49
II.3 Parámetros	58
III. PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO PARA EL DESARROLLO DE LAS PRUEBAS DE TRATABILIDAD	62
III.1 Metodología	63

	Páginas
IV. APLICACIÓN EN LABORATORIO DE UNA PRUEBA DE TRATABILIDAD DE AGUAS RESIDUALES	72
IV.1 Descripción de las pruebas	76
IV.1.1 Descripción de la prueba. Temperatura	77
IV.1.2 Descripción de la prueba. Sólidos Sedimentables (SSe)	79
IV.1.3 Descripción de la prueba. Sólidos suspendidos o no filtrables (SST)	81
V.1.4 Descripción de la prueba. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	86
IV.1.5 Descripción de la prueba. Demanda Química de Oxígeno (DQO)	91
IV.1.6 Descripción de la prueba. pH	98
V. RESULTADOS	100
V.1 Ordenamiento de los resultados	100
V.2 Análisis estadístico y evaluación de resultados	119
V.3 Interpretación de resultados	121
V.4 Conclusiones de la prueba	124
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
VI.1 Conclusiones	125
VI.2 Recomendaciones	128
APÉNDICE	129
Índice de tablas, figuras, fotos, diagramas y grafico	129
ANEXOS	132
Anexo 1 Norma Mexicana NMX-AA-003-1980 Aguas Residuales .- Muestreo. Residual Waters.- Sampling.	132
Anexo 2 Técnica para la determinación y cuantificación de huevos de helminto	137
Anexo 3 Nom-004-semarnat-2001. Opciones para la reducción de atracción de vectores	141
Anexo 4 Tablas de la Nom-001-Semarnat-1996	144
Anexo 5 Tablas de la Nom-002-Semarnat-1996	147
Anexo 6 Tablas de la Nom-003-Semarnat-1997	148
BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS	149
Bibliografía	149
Referencias	150

Las fuentes de abastecimiento de agua como son: los ríos, manantiales, el subsuelo, la lluvia, lagos, embalses, acuíferos subterráneos, entre otras y que debemos cuidar, se han visto afectadas a través del transcurso del tiempo por la demanda de agua que existe en la actualidad y a su vez con la contaminación de la misma por el crecimiento paralelo y acelerado de la población.

El agua al ser utilizada se le agregan impurezas que pueden ser de uso: doméstico, comercial, industrial, de servicios, municipal, pecuario y agrícola a través de sus diversas fuentes de generación, provocando la existencia de focos de contaminación, daño a cuencas hidrológicas así como a diversos ecosistemas y sobre todo importantes daños en la salud humana con enfermedades hídricas como el Cólera, Fiebre Tifoidea, Tuberculosis, Antrax , entre otras y que han alcanzado un índice de pérdidas humanas.

Por lo anterior, el agua es un factor importante para el ser humano, es por ello que se tiene la necesidad de diseñar y construir plantas de tratamiento para contar con un abastecimiento de agua seguro y saneamiento adecuado. El propósito del tratamiento de las aguas residuales es que a través de un conjunto de operaciones y procesos unitarios se obtenga un nivel de tratamiento óptimo, esto es posible reduciendo la cantidad y concentración de los contaminantes que le fueron agregados al agua a través de los diferentes usos.

Por tal motivo, surge la necesidad y la importancia de considerar estudios previos como pruebas de tratabilidad que tienen por objeto determinar previamente si el proceso que se seleccione para restaurar el agua residual es realmente el adecuado de esta forma prevenir en un futuro la interrupción del funcionamiento por no cumplir con la calidad establecida por la Normatividad vigente y sobre todo ayudar a que se estime la relación costo/beneficio de una planta de tratamiento.

Esta tesis tiene por objetivo el de describir y explicar las pruebas de tratabilidad más comúnmente utilizadas, las cuales tienen por objeto, determinar experimentalmente si el proceso de tratamiento propuesto para restaurar el agua residual es realmente el adecuado.

Para cumplir con el objetivo, esta tesis se dividió en dos partes en la primera parte se realizó una investigación bibliográfica relativa a las aguas residuales y pruebas de tratabilidad de las mismas. Y en la segunda parte se aplicó la teoría ensayando en el laboratorio una muestra de agua residual, que se tomó en el influente de la Planta de Tratamiento de la Ciudad Universitaria. Por tal razón, esta se dividió en seis capítulos en donde se describe y se explica las pruebas de tratabilidad más comúnmente utilizadas para aguas residuales, además de ejemplificarse experimentalmente algunas de ellas encontrando los principales parámetros de calidad así como aspectos generales del agua residual.

En el primer capítulo llamado "**Antecedentes**", se describen aspectos generales de las aguas residuales desde definiciones básicas, fuentes de contaminación, sus características físicas, químicas y biológicas, enfermedades transmitidas por el agua que afectan la salud humana, exploración, muestreo y análisis, normatividad nacional así como una explicación de los principales procesos de tratamiento para aguas residuales que actualmente utilizan las plantas de tratamiento en México.

En el segundo capítulo llamado "**Examen de las Aguas Residuales**", se realizó una investigación bibliográfica relativa a las pruebas de tratabilidad de las aguas residuales de acuerdo al tipo de análisis que se trate.

En el tercer capítulo llamado "**Procedimientos de laboratorio para el desarrollo de las pruebas de tratabilidad**", se describe la metodología que se debe de considerar para el desarrollo de las pruebas de tratabilidad dentro del laboratorio.

En el cuarto capítulo llamado "**Aplicación en laboratorio de una prueba de tratabilidad de aguas residuales**", se describen cada uno de los procedimientos que se utilizó para el desarrollo de la prueba de tratabilidad, para obtener algunos de los parámetros principales de una agua residual, la cual fue tomada de la Planta de Tratamiento de Ciudad Universitaria.

En el quinto capítulo llamado "**Resultados**", se ordenaron los resultados que se obtuvieron de la aplicación en laboratorio de la prueba de tratabilidad, interpretando los resultados obtenidos y dando una conclusión de la prueba realizada en el laboratorio.

Y el sexto capítulo llamado "**Conclusiones y recomendaciones**", siendo este el último se retroalimenta toda la investigación que se considero en los capítulos anteriores, para llegar a las conclusiones y recomendaciones finales.

I. ANTECEDENTES.

Dentro del tema de pruebas de tratabilidad de aguas residuales existen conceptos que no son comúnmente utilizados, por tal motivo se describen algunas definiciones básicas que son de utilidad para familiarizarse con este tema.

I.1 Definiciones básicas.

Agua residual: Se define al agua residual como: "las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicio, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas" (NOM-001-SEMARNAT-1996).

De manera práctica, se puede decir que las aguas residuales son las que resultan del uso de agua potable o primer uso, a las que son agregadas sustancias compuestas, elementos o energía, que provocan un cambio en sus características físicas, químicas y biológicas reduciendo su calidad.

Agua residual tratada: Es el resultado del agua residual después de haber pasado por un conjunto de operaciones y procesos unitarios dando un tratamiento ya sea primario, secundario o terciario, este último también conocido como avanzado, restaurando sus características que le fueron modificadas por diversos contaminantes. Siendo sus usos potenciales la industria, el riego agrícola, riego de áreas verdes, privados, entre otros.

Contaminación del agua: La introducción o emisión a ella de organismos patógenos o sustancias tóxicas que la hacen inapropiada para consumo humano o uso doméstico (FAIR, 1990).

En términos de agua natural se puede definir la contaminación del agua, como la transformación que sufre la calidad del agua y que la hace inadecuada para algún uso en particular.

Contaminantes: Son aquellos parámetros o compuestos que, en determinadas concentraciones, pueden producir efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente, dañar la infraestructura hidráulica o inhibir los procesos de tratamiento de las aguas residuales (NOM-002-SEMARNAT-1996).

Entre los contaminantes de importancia en el tratamiento de agua residual se pueden encontrar los sólidos en suspensión, materia orgánica biodegradable, patógenos, nutrientes, materia orgánica refractaria, metales pesados y sólidos inorgánicos disueltos.

Cuerpo receptor: Son depósitos en donde se descargan las aguas residuales, pueden ser naturales o construidos por el hombre; estos pueden ser plantas de tratamiento, causes, suelos o bienes naturales.

Descarga: Es la acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita por ejemplo en sistemas de alcantarillado urbano o municipal, en aguas o bienes nacionales.

Enfermedades hídricas: Son las que se transmiten a través del agua contaminada, generando enfermedades que dañan a la salud humana; entre algunas de ellas se puede mencionar el cólera, tuberculosis, fiebre tifoidea entre otras, las cuales han provocado pérdidas humanas.

Límites máximos permisibles: Valores o rangos asignado a un parámetro, siendo este una variable que sirve para determinar la calidad física, química y biológica del agua; por lo que estos valores no deben ser excedidos en la descarga de aguas residuales ni por el responsable del suministro de agua tratada.

Nivel de tratabilidad: Es el grado de pureza que se logra a través del tratamiento del agua residual.

Pruebas de tratabilidad: Son pruebas que permiten, experimentalmente valorar parámetros físicos, químicos y biológicos; los cuales nos ayudan a comprobar y a determinar que el proceso seleccionado para restaurar el agua residual sea realmente el adecuado para una planta de tratamiento.

Tratamiento de aguas residuales: Es la aplicación de un conjunto de operaciones y procesos unitarios para reducir lo más posible la cantidad y concentración de los contaminantes que se le agregaron al agua a través de los diferentes usos; controlando así la contaminación del agua y dar cumplimiento a la normatividad vigente evitando daños a la salud humana y a los cuerpos receptores como son el agua y el suelo. Convencionalmente se clasifica al tratamiento de aguas como pretratamiento, tratamiento primario, secundario o terciario entre más complejo sea este es mayor su costo.

I.2 Fuentes de contaminación del agua.

La aportación mayor de contaminantes en aguas residuales esta dado por centros urbanos y por el complejo industrial, por lo que las fuentes de generación de la contaminación del agua provienen de residencias, instituciones públicas, establecimientos industriales y comerciales incluyendo también el de origen agrícola, ganadería comercial y granjas avícolas; que son también fuente de muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas superficiales y subterráneas, ya que sus contaminantes incluyen sedimentos procedentes de la erosión de las tierras de cultivo y por el uso de fertilizantes, pesticidas y productos químicos en general.

Los residuos animales tienen un alto contenido en nitrógeno, fósforo y materia consumidora de oxígeno, y a menudo albergan organismos patógenos. Los residuos de los criaderos industriales se eliminan en tierra por contención, por lo que el principal peligro que representan es el de la filtración y las escorrentías.

En lo que se refiere a los contaminantes de la industria podemos encontrar una variedad, ya que la composición que se encuentre en una agua residual dependerá del tipo de industria por la que fue utilizada, por ejemplo: grasas, colorantes, bacterias, sólidos disueltos, son característicos de la industria de lácteos; como solventes, lubricantes, pinturas, metales, etc. son compuestos químicos ocupados por la industria automotriz, pero existen contaminantes mas fuertes que por su alta concentración el tratamiento debe ser mas avanzado y por lo tanto costoso.

El volumen de agua residual desalojado anualmente por los centros urbanos y por la industria al 2003, está dada de la siguiente forma (ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN MEXICO, 2005):

a) Los **centros urbanos** generan:

- Agua residuales: 8.04 km³ (255 m³/s)
- Se recolectan en alcantarillado: 6.41 km³ (203 m³/s)
- Se generan: 2.17 millones de toneladas de DBO₅.
- Se recolectan en alcantarillado: 1.73 millones de toneladas de DBO₅.
- Se remueven en los sistemas de tratamiento: 0.51 millones de toneladas de DBO₅.

b) La **industria** genera:

- Agua residuales: 8.14 km³ (258 m³/s).
- Se generan: 9.5 millones de toneladas de DBO₅.
- Se remueven en los sistemas de tratamiento: 1.01 millones de toneladas de DBO₅.

Fuente: Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua. SGT. CNA.

Los giros industriales con mayores cargas contaminantes a los cuerpos receptores son (ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN MEXICO, 2005):

Tabla I .1 Volumen de descarga de aguas residuales industriales, 2002.

Giro Industrial	Descarga de aguas residuales (m³/s)	Materia orgánica generada (miles de t/año)
Acuacultura	67.6	7
Azúcar	45.9	1750
Petrolera	11.4	1186
Servicios	10.3	183
Química	6.9	406
Celulosa y Papel	5.5	108
Agropecuaria	3.2	1063
Alimenticia	3.0	193
Cerveza y Malta	1.6	272
Minera	0.8	56
Textil	0.7	14
Destilería y Vitivinicultura	0.4	230
Beneficio del Café	0.3	32
Curtiduría	0.1	9
Otros Giros*	12.9	795

Fuente: Inventario Nacional de Descargas de Aguas Residuales. Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua. SGT.CNA.

*Incluye giros no considerados en el listado de giros industriales (manufactura, acabado de metales, metalmeccánica).

I.2.1 Origen y composición de las aguas residuales.

Dependiendo del tipo de sistema que se emplea para recoger el agua residual se puede definir su composición; de acuerdo al uso particular que se le dio al agua se puede definir el origen y también su composición.

a) **Agua residual doméstica o sanitaria.** Es el agua que se genera por el uso en residencias, instalaciones comerciales, públicas y similares, que proviene de cocinas, baños, lavabos, sanitarios, lavanderías y otras fuentes de lavado. A través del uso que se le va dando al agua paralelamente se le agregan un cúmulo de materias fecales, papel, jabón, restos de alimentos, basura la cual genera lixiviados que son líquidos generados por la misma basura, y otras sustancias.

Se considera una **agua residual fresca**; cuando es recién generada, observando turbiedad, cantidad variable de sólidos en suspensión, color gris y olor a humedad, transcurrido el tiempo su color cambia a oscuro, con olor fétido y desagradable, sólidos en suspensión negros, esto se debe a la descomposición de sus contaminantes por el agotamiento progresivo de oxígeno por lo que el agua pasa de ser fresca a **séptica**. La tabla I.2 muestra algunas características de diversos tipos de agua residual.

b) **Agua residual industrial.** Es el agua que resulta de los procesos industriales en la cual predominan productos de desecho químico principalmente que varían en volumen y composición, ya que dependen del tipo de industria que genere el agua. Algunas fuertemente cargadas de materia orgánica o mineral o con sustancias corrosivas, venenosas, tóxicas, inflamables o explosivas.

c) **Agua pluvial.** Agua resultante del escurrimiento superficial de las lluvias, donde se incluye también las que provienen de nieve o granizo; su volumen varía según la intensidad de la precipitación, la topografía y las superficies pavimentadas y techadas. Esta agua arrastra polvo, tierra, sedimentos, materia vegetal y basura como consecuencia del lavado de la superficie por donde escurre.

d) **Infiltraciones y conexiones incontroladas.** Agua que penetra en forma no controlada en la red de alcantarillado, infiltración procedente del agua del subsuelo o del agua pluvial que es descargada a la red por bajantes de agua de edificios, drenes de cimentaciones y alcantarillas pluviales; su composición es similar a la del agua pluvial, pero su volumen no puede ser determinado con exactitud porque depende de la estructura del suelo, del tipo y estado del alcantarillado, condiciones climatológicas, etc.

Tabla I.2 Características de los diversos tipos de agua residual.

TIPOS DE AGUA RESIDUAL	CARACTERÍSTICAS
Urbanas	Grandes volúmenes Alto contenido de materia orgánica Patógenos Poca variación en la composición Variación horaria
Industriales	Grandes volúmenes Gran variación en la composición Descargas continuas o periódicas
Agrícolas	Volumen dependiente de la precipitación y permeabilidad del suelo. Componentes del suelo, fertilizantes y plaguicidas.

Fuente: Adaptado de Metcalf & Eddy, 1991.

I.3 Características de las aguas residuales.

El agua adquiere impurezas provenientes de los múltiples usos dentro de las comunidades humanas generando así aguas residuales, es por esto la importancia de tener un conocimiento amplio de las características físicas, químicas y biológicas; con el fin de valorar cuanto se han modificado por la acción de las concentraciones de los contaminantes que adquiere el agua y así llegar a deducir los medios óptimos para reducir la cantidad y concentración de estos mismos.

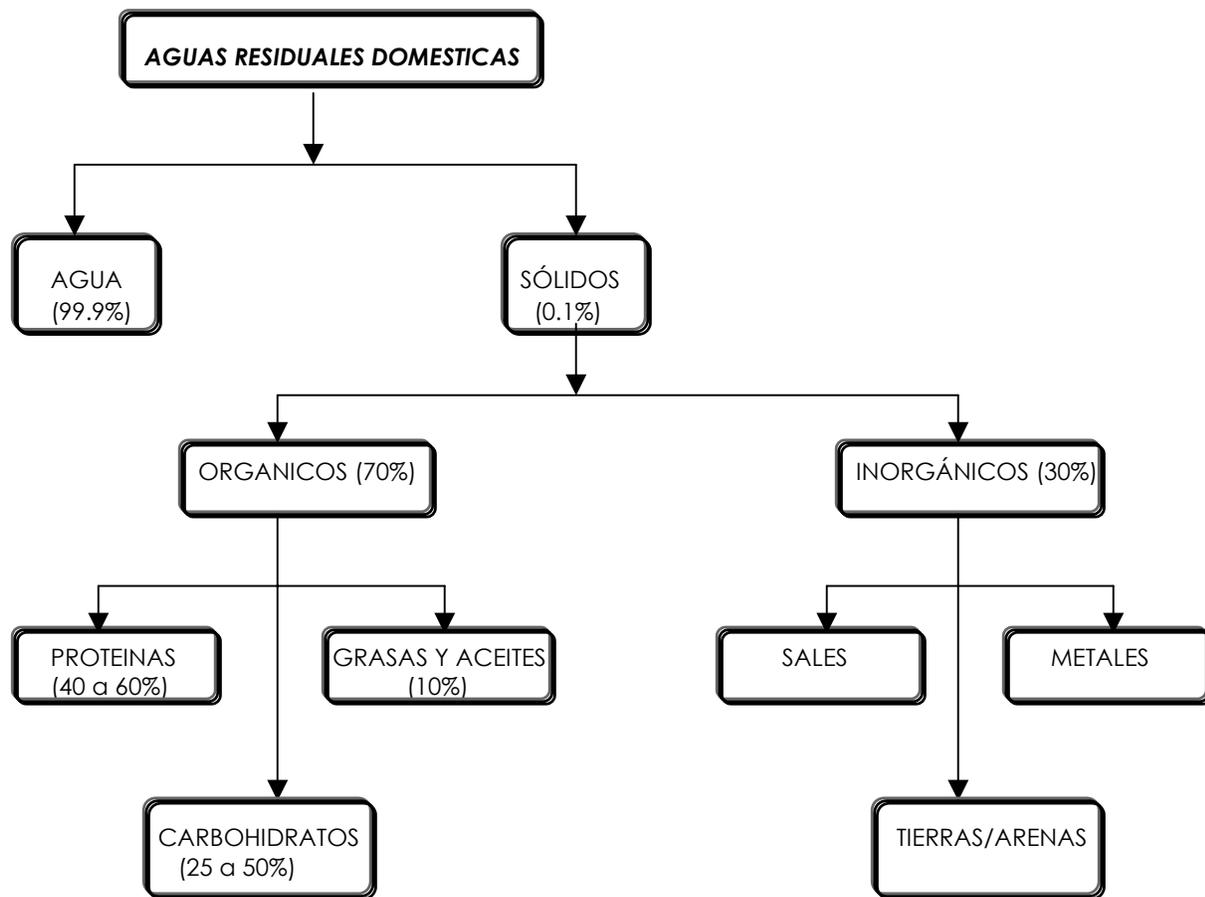
Conociendo los contaminantes de importancia en el tratamiento de aguas residuales, como son: sólidos suspendidos, compuestos orgánicos biodegradables, microorganismos patógenos, nutrientes, compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y sólidos inorgánicos disueltos (véase Tabla I.3), se puede conocer desde el riesgo que podría generarse en la salud humana al detectar patógenos que puedan transmitir enfermedades contagiosas patógenas o la detección de nutrientes que al verter a un cuerpo receptor como es el suelo se pueda contaminar el agua subterránea entre otros.

Para facilitar la detección de la materia orgánica usualmente se recurre a medir parámetros indirectos como son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y el carbono orgánico total (TOC).

Tabla I.3 Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual.

CONTAMINANTES	FUENTE	RAZON DE IMPORTANCIA
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	Uso doméstico, desechos industriales y agua infiltrada a la red.	Causa depósitos de lodo y condiciones anaerobias en ecosistemas acuáticos.
COMPUESTOS ORGANICOS BIODEGRADABLES	Desechos domésticos e industriales	Causa degradación biológica, que incrementa la demanda de oxígeno en los cuerpos receptores y ocasiona condiciones indeseables.
MICROORGANISMOS PATÓGENOS	Desechos domésticos	Causa enfermedades transmisibles.
NUTRIENTES	Desechos domésticos e industriales	Pueden causar eutroficación.
COMPUESTOS ORGANICOS REFRACTERIOS	Desechos industriales	Pueden causar problemas de sabor y olor; pueden ser tóxicos o carcinogénicos.
METALES PESADOS	Desechos industriales, minería, etc.	Son tóxicos, pueden interferir con el tratamiento y reúso del influente.
SÓLIDOS INORGÁNICOS DISUELTOS	Debido al uso doméstico o industrial se incrementan con respecto a su nivel en el suministro de agua.	Pueden interferir con el reúso del efluente.

Fuente: Valdez & Vázquez, 2002.



Fuente: López Ruiz, 2000.

Diagrama I.1 Composición de las aguas residuales domésticas.

I.3.1 Propiedades físicas.

Las propiedades físicas del agua residual, son adoptadas en su mayor parte de acuerdo al contenido total de sólidos en sus diferentes variantes como materiales flotantes, productos disueltos y sustancias coloidales.

Sólidos. Considerando el tamaño de las partículas, este parámetro prácticamente indica las operaciones físicas requeridas por el tratamiento, y con respecto a la materia orgánica coloidal y disuelta, su composición determinará el tipo de proceso que el tratamiento requiere ya sea químico o biológico. Éstos pueden estar presentes en el agua residual en suspensión, solución o ambos y se dividen en materia orgánica e inorgánica. Los **sólidos totales**, son los residuos que quedan después de haber evaporado el agua entre 103 y 105 °C.

Los **sólidos sedimentables**, son aquellos sólidos más gruesos en suspensión y se sedimentan por el efecto de gravedad y se remueven por el tratamiento primario, que es mediante cribado y sedimentación, a través del desarenador y sedimentador primario respectivamente. Los **sólidos suspendidos no sedimentables**, son removidos por el tratamiento secundario, a través de procesos biológicos, en el caso de ser orgánicos los sólidos, y por coagulación cuando no lo son, a comparación de los sedimentables son de tamaño menor.

En el caso de los **sólidos disueltos o filtrables**, son removidos por tratamiento terciario, ya que se remueven por procesos biológicos si son biodegradables y por precipitación química cuando no lo son.

Los **sólidos fijos y volátiles**, en función a su volatilidad a 600 °C, la fracción orgánica se oxida, convirtiéndose en gas (**sólidos volátiles**) y la inorgánica permanece como ceniza (**sólidos fijos**) (LÓPEZ RUIZ, 2000).

De los **sólidos suspendidos o no filtrables**, después de ser calcinados se pueden considerar como volátiles, de un 70 a 80 %.

Temperatura. Es la cantidad de calor contenida en el agua residual, y que a comparación del agua potable este parámetro es mayor, esto se debe por la adición de agua caliente procedente de casas y actividades industriales. Al elevarse la temperatura se aceleran las reacciones químicas, se reduce la solubilidad de los gases, se intensifican los sabores y olores, y fomenta el crecimiento de especies indeseables de plancton y hongos los cuales son limitados por las bajas temperaturas y que podrían incrementar el tiempo de tratamiento o el tamaño de la planta de tratamiento.

Color. El color indica la edad del agua residual, si presenta un color gris es que se acaba de generar, pero transcurrido el tiempo se vuelve de color negro, debido a la actividad de los organismos anaerobios, los cuales descomponen la materia orgánica y producen ácido sulfhídrico y metano. En el agua residual se pueden encontrar diversas sustancias colorantes, esto se debe al tipo de industria que genere el agua.

Olor. Esta propiedad física nos indica al igual que el color la edad del agua residual, y se presenta a través de gases causados por la descomposición de contaminantes, y que va de un olor a humedad si el agua es recién generada hasta ser fétido y desagradable transcurrido el tiempo.

I.3.2 Propiedades químicas.

Las propiedades químicas son mas específicas a comparación de las físicas, y por consiguiente son mas útiles para evaluar las características de las aguas residuales. Dentro de las propiedades químicas se puede dividir en dos categorías orgánicas e inorgánicas.

Propiedades químicas orgánicas.

De acuerdo con el diagrama I.1, los principales grupos de sustancias orgánicas que se encuentran en las aguas residuales domésticas son: las proteínas (40 a 60 %), carbohidratos (25 a 50%), y grasas y aceites (10%); la urea principal constituyente de la orina, es otro compuesto orgánico; las sustancias orgánicas se deben a los diversos usos que se le da al agua adquiriendo a su vez materia orgánica de origen animal, vegetal, compuestos sintéticos orgánicos y pequeñas cantidades de un gran número de moléculas orgánicas sintéticas, como son los detergentes, y los que son utilizados en la agricultura como plaguicidas y fenoles entre otros.

Las **proteínas**, son los constituyentes químicos principales de la materia viva; cuando se presenta en grandes cantidades, se producen olores desagradables debido a su descomposición, además son compuestos cuaternarios en los que predomina el carbón, el oxígeno, el nitrógeno y el hidrógeno (CHON), encontrando al nitrógeno con un 16% considerándolo por su porcentaje como una característica principal por la cantidad elevada y constante en que se encuentra este, siendo la urea y las proteínas las fuentes principales de nitrógeno del agua residual.

En los **carbohidratos**, se pueden considerar la glucosa (azúcares), almidones, celulosa; estos contienen carbono, hidrógeno y oxígeno. En el caso de los azúcares son solubles en agua a comparación de los almidones que son insolubles, siendo estos también mas estables pero transformándose en azúcares por la actividad microbiana. La celulosa es importante por la resistencia que tiene a la descomposición del agua.

Las **grasas o lípidos**, son sustancias grasosas de bajo punto de fusión, las cuales son grasas animales, aceites, ceras, entre otros; pueden emulsionarse en el agua en la cual son en general insolubles. Diversos problemas son ocasionados por la grasa en el tratamiento de aguas residuales y el conocimiento de la cantidad presente en un desecho es útil para vencer las dificultades en la operación de la planta, para determinar su eficiencia y para controlar la descarga subsiguiente de grasa en las corrientes receptoras (SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRÁULICOS). El agua adquiere sabor y olor desagradable a través de las grasas y afectando el sabor de los peses para consumo humano.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Es el parámetro mas usado para estimar el grado de contaminación orgánica en el agua. Su determinación implica medir la variación de oxígeno disuelto en el agua a través del tiempo, debido a las reacciones bioquímicas involucradas en el metabolismo microbiano de la materia orgánica.

La DBO del agua residual da una idea de la biodegradabilidad de la materia orgánica, además sirve para calcular la cantidad de oxígeno necesario para estabilizar la materia orgánica mediante un tratamiento biológico, este parámetro se emplea además para medir la eficiencia del tratamiento y en general la DBO es un índice importante de la calidad de los cuerpos de agua, aunque la prueba para su determinación puede durar varios días, lo mas común es tenerla 5 días y se indica como DBO₅ (LÓPEZ RUIZ, 2000).

Demanda química de oxígeno (DQO). Es otro parámetro que permite medir indirectamente el contenido de materia orgánica. El procedimiento se fundamenta en la oxidación de la materia orgánica mediante un oxidante químico fuerte, tal como el dicromato de potasio, en medio ácido, alta temperatura y en presencia de sulfato de plata como catalizador.

La DQO es usualmente mayor que la DBO, ya que son oxidados químicamente una mayor cantidad de sustancias que en la forma bioquímica. Para muchos tipos de desechos la DQO se relaciona con la DBO, cuando se trata de desechos domésticos típicos la DQO es de 1.2 a 1.5 veces mayor que la DBO (LÓPEZ RUIZ, 2000).

Carbono orgánico total (COT) o (TOC). El contenido de carbono orgánico total es también una medida indirecta del contenido de materia orgánica. Su determinación se realiza mediante la combustión catalítica de muestras en un horno a alta temperatura y se mide el bióxido de carbono producido, que es proporcional a la cantidad de carbono presente en la muestra. El contenido de bióxido de carbono se determina por espectrofotometría de infrarrojo (LÓPEZ RUIZ, 2000).

Propiedades químicas inorgánicas.

pH. Es la medida de la acidez o basicidad del agua, los valores de pH menores de 6.5 y mayores de 7.5 afectan a los organismos involucrados en el tratamiento biológico de las aguas residuales; el pH controla muchas reacciones químicas y la actividad biológica, normalmente se restringe a una escala bastante estrecha de pH entre 6 y 8. Las aguas muy ácidas o muy alcalinas son indeseables debido a que son corrosivas o presentan dificultades en su tratamiento.

Alcalinidad. Es útil en las aguas residuales porque proporciona un amortiguamiento para resistir los cambios en el pH.

Fosfatos. Se consideran como nutrientes que pueden estimular el crecimiento de algas y provienen de la excreción humana y de los detergentes.

Gases. Entre los gases presentes en el agua residual y con diferentes concentraciones podemos encontrar el **oxígeno disuelto**, que es el más importante y depende de factores como la temperatura, actividad biológica y química, su presencia es esencial para mantener las formas más superiores de vida biológica; el **ácido sulfúrico**, nos indica la evolución y estado del agua residual ya que su presencia se manifiesta a través de los olores que produce, además este gas es a causa de la descomposición de ciertas sustancias orgánicas e inorgánicas las cuales contienen azufre; el **metano**, es otro gas presente en el agua residual, el cual se forma con la descomposición anaerobia de la materia orgánica.

Nitrógeno amoniacal. Causa eutroficación en cuerpos receptores, se considera como un nutriente que beneficia los procesos biológicos e indica la contaminación reciente con productos nitrogenados.

Metales pesados. Estos nos indican la contaminación industrial y por ser tóxicos afectan al metabolismo microbiano.

I.3.3 Propiedades biológicas.

Para el tratamiento de aguas residuales, los microorganismos que son de importancia son: las bacterias, hongos, algas, protozoarios, rotíferos, crustáceos y virus. La degradación de la materia orgánica es el resultado de la vida de los microorganismos.

Las algas, los hongos y los protozoarios tienen mayor complejidad y poseen estructuras más específicas que las de los virus o bacterias (HENRY & HEINKE, 1999).

Bacterias. Forman el grupo de microorganismos más importante; son unicelulares microscópicos, cuyo tamaño varía de 0.5 a 6 micras, se alimentan con material orgánico e inorgánico soluble, se les encuentra en el agua, aguas residuales, suelo, aire, leche, en las plantas (frutos y vegetación), animales y en los humanos, se clasifican en autótrofas y heterótrofas.

La presencia de organismos patógenos, se identifica a través de las bacterias del grupo coliforme y los estreptococos fecales que son indicadores de contaminación bacteriológica del agua, su nombre del grupo **coliforme**, de hecho tiene que ver con su hábitat natural que es en el intestino grueso de los seres humanos y los animales, por lo que este grupo está presente en las heces fecales humanas, aguas negras, aguas dulces superficiales, suelo y vegetación.

Y el de **los estreptococos fecales**, indican una contaminación peligrosa y demuestran que ha ocurrido recientemente, ya que en aguas no contaminadas nunca se encuentran. Son característicos de la contaminación fecal y están presentes en las heces fecales humanas y de animales de sangre caliente (LÓPEZ RUIZ, 2000).

Hongos. Son unicelulares o multicelulares, no fotosintéticos, su fuente de energía es diferente a la solar, y heterótrofos. La mayoría de los hongos son aerobios estrictos y tienen la propiedad de sobrevivir a niveles de pH muy bajos.

Estos organismos son útiles en el tratamiento biológico de ciertos residuos industriales y en la transformación de desechos orgánicos sólidos en abono (HENRY & HEINKE, 1999).

Los hongos se encuentran comúnmente en las aguas y aguas negras y en estas últimas frecuentemente se observan desarrollos de masas de colonias de color gris adheridas a las paredes y estructuras de las plantas de tratamiento de aguas negras. Las masas de hongos frecuentemente obstruyen las tuberías y las cribas en las plantas de agua negra y disminuyen el flujo en los canales (SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRÁULICOS).

Algas. Son un grupo de microorganismos fotosintéticos semejantes a las plantas, son unicelulares o multicelulares y autótrofos (véase Figura I.1). La propiedad que tienen de ser fotosintéticos es de gran importancia en el tratamiento de aguas residuales, mediante lagunas de estabilización aerobias.

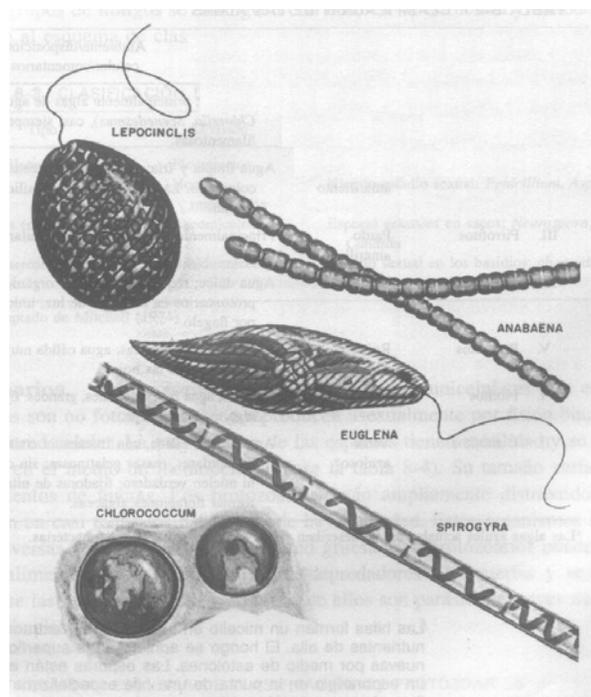


Figura I.1 Algunos tipos de algas presentes en el agua contaminada.

Causan problemas en el suministro de agua porque confieren sabores y olores desagradables y tapan los filtros. Sin embargo estos organismos son benéficos en los estanques de oxidación, pues suministran oxígeno para el tratamiento económico de aguas residuales. Por otra parte, un exceso de nutrientes (eutroficación), en el agua pueden dar origen a la floración de algas, las cuales, cuando se descomponen extraen el oxígeno disuelto de los lagos (HENRY & HEINKE, 1999).

Protozoarios. A comparación de las bacterias son más grandes y son muy útiles en los procesos de tratamiento biológico, se consideran como formas de vida superior a la de las algas.

Son en su mayoría aerobios y heterótrofos; están ampliamente distribuidos en la naturaleza y existen en casi todos los hábitat donde hay humedad, son depredadores de bacterias y se les encuentra dondequiera que las bacterias abunden, por lo que los protozoarios, las utilizan como fuente de energía al ingerirlas, con lo cual generan una acción de pulimento en los procesos biológicos.

Rotíferos. Son organismos multicelulares, aerobios, heterótrofos, que en ocasiones están presentes en el efluente de las plantas de tratamiento biológico.

Una característica en especial, es que desempeñan una función de limpieza al consumir coloides orgánicos, bacterias y algas; los rotíferos se alimentan de materia orgánica en descomposición y se encuentran en las aguas donde ella está presente.

Crustáceos. Son organismos multicelulares, aeróbicos y heterótrofos, cuyo tamaño varía de 0.2 a 0.3 milímetros, con cuerpo y concha duros, se mueven muy rápidamente a través del agua en busca de alimento.

Constituyen una de las principales fuentes de alimento de los peces pequeños por ser microscópicos; se encuentran abundantemente en aguas naturales relativamente puras. Por lo anterior se les considera como indicadores de condiciones normales, sin contaminación, en aguas receptoras.

Virus. Son organismos más pequeños que las bacterias, que sólo pueden verse con el microscopio electrónico. Son parásitos obligados que requieren de un huésped (célula) para vivir y reproducirse; se eliminan usualmente mediante cloración de los efluentes de las plantas de tratamiento ya que algunos virus producen enfermedades y son excretados con la materia fecal humana.

Entre algunos ejemplos de virus patógenos de las personas, podemos mencionar a los que causan las enfermedades de la viruela, la hepatitis infecciosa, la influenza y la poliomielitis; así como también pueden causar enfermedades en plantas y animales.

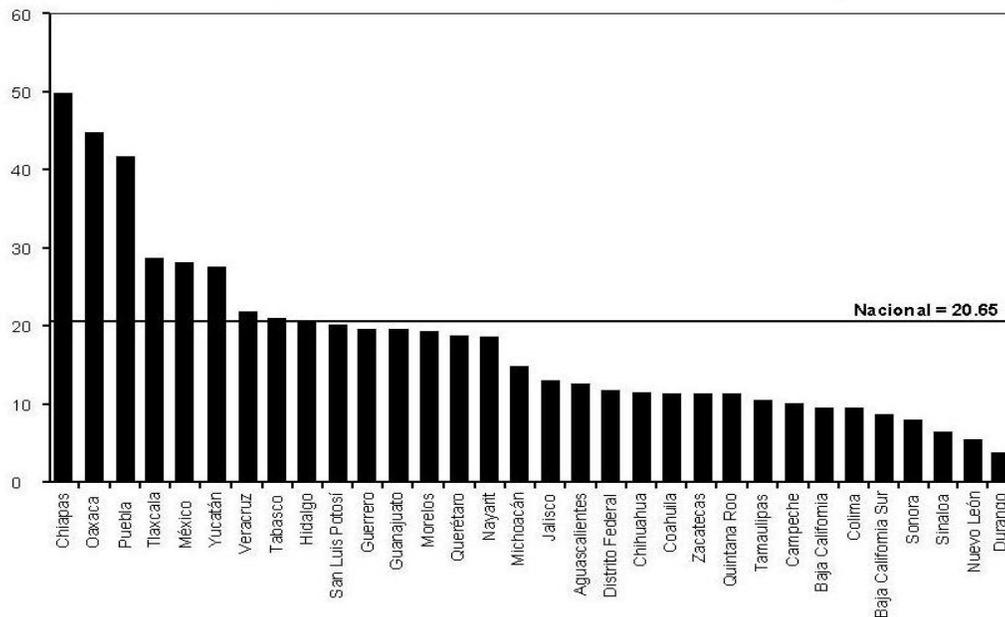
I.4 Enfermedades transmitidas por el agua.

Las enfermedades transmitidas a través del agua en su mayoría son de origen intestinal, y la transmisión es: por las descargas directas de aguas residuales sin ningún tratamiento en las aguas receptoras; por el origen de brotes específicos de enfermedades en interconexiones entre tuberías de agua y alcantarillado; por rupturas en conexiones del acueducto y por la contaminación de los sistemas de abastecimiento de agua durante inundaciones o fallas temporales de una planta de tratamiento de aguas residuales; y por retretes de fosas ubicadas demasiado cerca de un pozo o arroyo en áreas de natación y en sistemas de abastecimiento de agua.

En las aguas existen clases de organismos capaces de infectar al ser humano como son las bacterias, protozoarios, helmintos y virus.

Entre otras cosas, gracias a los esfuerzos por desinfectar el agua se ha experimentado una reducción muy importante de la mortalidad infantil por enfermedades diarreicas, así como la eliminación de casos de cólera (ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN MEXICO, 2004). En la figura I.2 se muestra cual fue la mortalidad al año 2000.

Figura I.2 Mortalidad por enfermedades diarreicas en menores de 5 años, 2002*.



Fuente: Base de Mortalidad INEGI-SSA, 2002. Proyecciones de Población 2000-2025 de Conapo, 2002.

Nota: *Tasa de mortalidad observada por 100 mil habitantes de ese grupo de edad.

Infecciones bacterianas.

Las principales enfermedades hídricas son la fiebre tifoidea que es común en las aguas residuales y efluentes en época de epidemia y el cólera que es transmitido también por aguas residuales y aguas contaminadas, la tabla I.4 muestra los casos y las defunciones debidas al cólera. La paratifoidea (salmonelosis) y la disentería bacilar (shigelosis) son grupos de enfermedades hídricas mucho menos devastadoras en sus efectos que la tifoidea y el cólera; la tularemia y la diarrea hemorrágica, son enfermedades hídricas.

El cólera reapareció en México a principios de la década de 1990. Al instrumentarse el Programa Agua Limpia se logró erradicar el problema (ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN MEXICO, 2004).

Tabla I.4 Número de casos y defunciones ocurridas en México por consecuencia del cólera.

Año	Número de casos de cólera	Número de Defunciones
1991	2,690	34
1992	8,162	99
1993	11,091	198
1994	4,075	56
1995	16,430	142
1996	1,088	5
1997	2,356	18
1998	71	0
1999	9	0
2000	5	0
2001	1	0
2002	0	0

Fuente: SSA, 2002.

Infecciones por protozoarios.

Algunas de las razones probables de infecciones por protozoarios son (FAIR, 1990):

1. En cantidad, un número pequeño de quistes excretados por los portadores y,
2. El peso y tamaño relativamente grandes de los quistes, que contribuyen a su eliminación natural de las aguas por sedimentación y filtración. En general los brotes de origen hídrico se asocian con la invasión de contaminantes, en forma considerablemente masiva a los sistemas de distribución, por flujo a contra corriente desde los sistemas domésticos de drenaje y por conexiones cruzadas con suministros inseguros de agua.

En estas condiciones, una voluminosa masa de excremento, imposible de desinfectar por los medios ordinarios, llega hasta los consumidores cercanos y los infecta. Las concentraciones de cloro residual que se encuentran normalmente dentro de los sistemas de distribución, pocas veces resultan lo suficientemente altas para destruir contaminantes de tal magnitud. Es muy raro que ocurran otras infecciones protozoarias de origen hídrico.

Infecciones por helmintos.

Los huevos y larvas de las lombrices intestinales pueden llegar a las corrientes acuáticas desde portadores humanos o animales, ya sea en forma directa o por deslaves del suelo. Estos huevos y larvas son, relativamente pocos y son organismos bastante grandes, debido a esto, las infecciones causadas por lombrices son esporádicas; ocurren en condiciones muy insalubres o por deficiencias en los sistemas de remoción de aguas negras.

La irrigación de las cosechas que se consumen crudas puede transmitir cualquiera de las lombrices intestinales comunes, la irrigación de los pastizales puede infectar al ganado, y a través de éste al hombre. Es un caso diferente la infección por la forma larvaria de las duelas sanguíneas y por el gusano de guinea.

En la proliferación de la esquistosomiasis, la infección del hombre no ocurre por el consumo del agua misma, sino que las larvas desprendidas de los moluscos que las hospedan son forzadas a penetrar en la piel por la concentración de las gotas de agua, por ejemplo, cuando los bañistas entran en contacto con albercas infectadas.

Infecciones por virus.

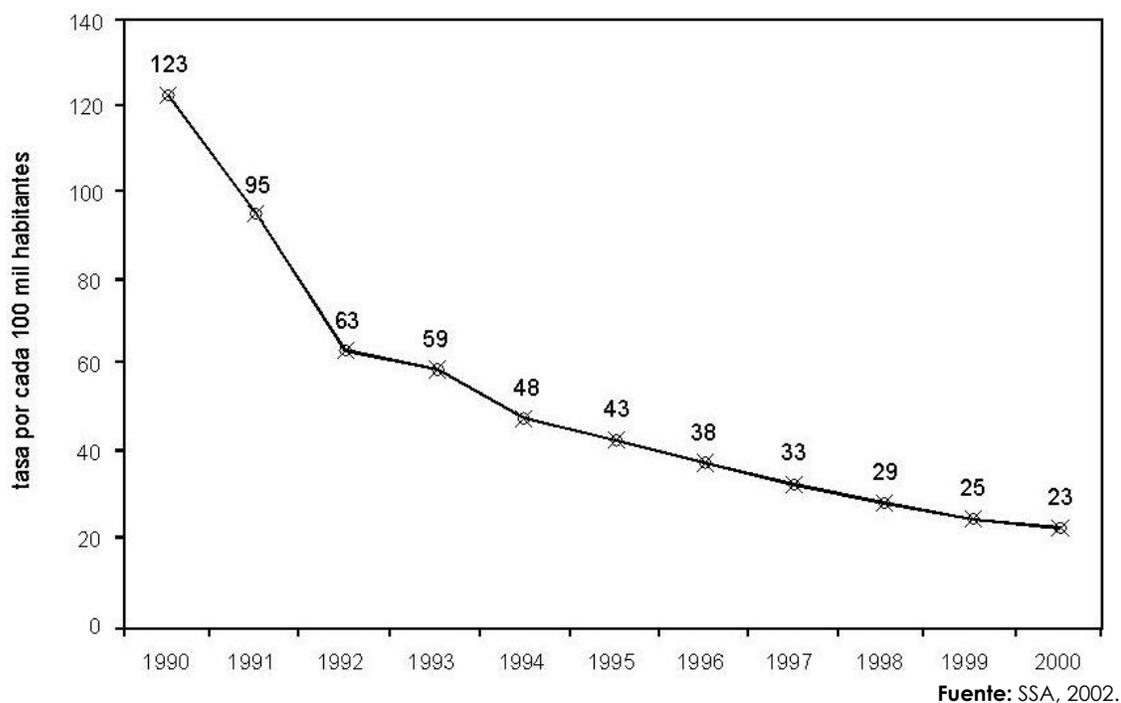
Se conocen miembros de media docena de grupos de virus, los cuales forman más de 100 diferentes que son excretados en las heces de personas infectadas. El aislamiento de estos organismos entericos es común durante los meses del verano cuando las corrientes tienen un nivel bajo normal; sin embargo, se ha reducido el número de brotes de origen hídrico de enfermedades producidas por virus.

Las manifestaciones más comunes son: irritaciones en la piel, molestias respiratorias e inflamación de los órganos del cuerpo (ojos, cerebro, médula espinal, pulmones, etc.).

Además se ha encontrado que el agua es la causa de un número considerable de brotes de hepatitis, a causa de abastecimientos altamente contaminados, por fuentes cercanas de aguas negras o excrementos, que surten a poblaciones relativamente pequeñas. Existen algunas pruebas de que las infecciones por conjuntivitis de los ojos han sido diseminadas a través de las piscinas.

Resulta fundamental la desinfección del agua para prevenir cualquier tipo de infecciones; al respecto la figura I.3 muestra como ha descendido el nivel de mortalidad a nivel nacional.

Figura I.3 Mortalidad por enfermedades diarreicas en menores de 5 años a nivel nacional para el periodo (1990-2000).



I.5 Exploración, muestreo y análisis.

El valor de cualquier resultado depende de la integridad de la muestra del agua residual; para lograr el control de la calidad del agua, es necesario conocer sus características y propiedades, que adquiere después de los diferentes usos; es por lo anterior que son importantes: las **exploraciones** (las cuales nos ayudan proporcionando información anticipada del agua residual), **muestreos** adecuados y el **análisis** completo de muestras.

I.5.1 Exploración.

Las exploraciones de campo nos ayudan en forma anticipada a ver la probable composición del agua residual, ya que en ellas se puede realizar la oportuna medición de algunos parámetros como la temperatura y constituyentes químicos como son: el oxígeno disuelto y bióxido de carbono, los cuales pueden ser modificados al ser transportadas las muestras y por el almacenamiento de las mismas; independientemente del cuidado que se lleve a cabo en la exploración solo proporcionan información limitada.

Estas exploraciones también consideran, la observación de las principales características de la fuente de agua tales como son: crecimiento de plantas y algas acuáticas, sustancias flotantes, sedimentos de fondo, bancos de lodo, existencia masiva de hongos y otras poblaciones contaminantes, olores y todas aquellas condiciones desagradables al sentido de la vista. Las exploraciones de campo, según sus fines, se pueden clasificar como (FAIR, 1990):

- a) **Exploraciones sanitarias:** Cuando se identifican las condiciones de la cuenca acuífera que pueden afectar y poner en peligro la calidad del agua de abastecimiento.
- b) **Exploraciones sobre contaminación:** Cuando se determinan los efectos de las aguas residuales sobre las masas receptoras.
- c) **Exploraciones sobre residuos industriales:** Cuando se establecen los volúmenes característicos de los efluentes que proceden de establecimientos residuales.

I.5.2 Muestreo.

Es una serie de actividades que se realizan en campo y tienen como propósito, coleccionar una porción de agua residual lo suficientemente pequeña en volumen y no obstante representativa; con el fin de determinar sus características físicas, químicas y bacteriológicas en el laboratorio.

Es importante preservar las muestras adecuadamente, evitando algún cambio durante el tiempo que transcurra entre la recolección de la muestra y su análisis en el laboratorio; la recolección de la muestra debe ser de tal forma que no se le agregue o se pierda nada, ya que si no se toman consideraciones como las anteriores, se pueden obtener resultados que afectarían en el diseño o al control de la operación de las plantas de tratamiento.

Como no puede especificarse la localización de los puntos de muestreo y la recolección de las muestras para todos los proyectos de plantas de tratamiento, ya que las condiciones son diferentes para cada caso, hay que adaptar a cada uno el procedimiento a seguir. Las recomendaciones que se deben considerar para el muestreo son (VALDEZ & VÁZQUEZ, 2002):

1. La muestra debe tomarse en donde estén bien mezcladas las aguas residuales. Esto se logra más fácilmente si se localiza el punto de muestreo donde el flujo sea turbulento.
2. Deben excluirse las partículas grandes, considerándose como grandes las que sean mayores de 6 mm.
3. No deben incluirse en el muestreo los sedimentos, crecimientos o material flotante que se haya acumulado en el punto de muestreo. La muestra debe analizarse tan pronto como sea posible. Si se retiene por más de una hora, debe mantenerse fría. La descomposición bacteriana de las aguas residuales continúa en el recipiente de muestra. Después de una hora son apreciables los cambios debido a tal descomposición. El enfriar la muestra retarda mucho la acción bacteriana.
4. Debe procurarse que la recolección de muestras sea lo más fácil posible. Los puntos de muestreo deben ser de fácil acceso, tener el equipo adecuado y proteger al personal de las inclemencias del tiempo pues mientras más fácil sea la toma de muestras, mejor será su ejecución.

Tipos de muestra.

Existen dos tipos de muestras, la muestra simple o instantánea y la muestra integrada o compuesta, y estas dependen del tiempo disponible de los análisis que hayan de verificarse y del propósito de los análisis.

Muestra simple o instantánea.

Representa solamente las condiciones de las aguas residuales en el momento de muestreo, estas muestras se deben recolectar cuando la planta trabaja a su máxima capacidad, se toman en el punto de descarga y de manera continua. La máxima capacidad con que trabaja una planta de tratamiento coincide usualmente con el periodo de mayor gasto por lo que el intervalo de tiempo recomendado para recolectar este tipo de muestra es entre las nueve a.m. y mediodía.

Por lo anterior si se pretende por medio de estas muestras, conocer las características de las aguas residuales y el comportamiento del gasto, existe la posibilidad de sobredimensionar o subdimensionar durante el diseño, ya que pueden presentar variaciones en el gasto, en descargas, etc.

Muestra integrada o compuesta.

Se componen de varias muestras simples e indican las características de las aguas residuales durante cierto período de tiempo y la eficiencia de las unidades de tratamiento.

Las recomendaciones para muestras compuestas son (VALDEZ & VÁZQUEZ, 2002):

1. Si la concentración y el gasto no fluctúan repentinamente, basta con tomar porciones cada hora durante periodos de 12 horas.
2. Si las fluctuaciones son repentinas, pueden requerirse muestras cada media hora o cada cuarto de hora.
3. El periodo de muestreo puede variar para que abarque cuatro, ocho o doce horas, según el personal disponible y el uso que se dé a los resultados.
4. El gasto de aguas residuales debe medirse al tomar cada porción y debe ajustarse el volumen de la porción en la muestra, según el gasto.

En un programa de muestreo es fundamental definir su objetivo, por ejemplo, estimar las concentraciones máximas o medias; se debe de especificar el margen de error tolerable; recursos disponibles para la toma de muestreo y análisis.

En México, se aplica los procedimientos establecidos en la NMX-AA-003-1980. "Aguas residuales, muestreo" (Anexo 1).

I.5.3 Análisis.

En forma ideal, los análisis se deben de realizar inmediatamente después de la recolección de las muestras ya que entre más rápido sea, mayor será la veracidad de los resultados que se obtengan de los análisis con respecto a la naturaleza real de la muestra de agua residual.

Con características inestables, como son los gases disueltos (oxígeno disuelto, ácido sulfhídrico, anhídrido carbónico, entre otros), constituyentes oxidables o reducibles etc; los análisis deben de efectuarse en el campo o tratar adecuadamente la muestra para fijar las concentraciones de los materiales inestables. Se puede retardar los cambios que ocurren al transcurrir el tiempo; la composición de la muestra se mantiene almacenándola a una baja temperatura (4° C) o no exponerla a la luz.

Entre más contaminada se encuentre el agua residual es más corto el tiempo disponible para la toma de muestras y el análisis, si se requieren evitar errores significativos. Hay análisis gravimétricos, volumétricos, colorimétricos, análisis de automatización y monitoreo a distancia; estos últimos se utilizan para acelerar el trabajo y reducir los requerimientos de personal. También hay diferentes tipos de electrodos para determinar la presencia de ciertos parámetros.

Los análisis microbiológicos son también importantes, los cuales requieren de procedimientos cuidadosos ya que por lo general el trabajo de laboratorio frecuentemente es de naturaleza micro-analítica.

Análisis gravimétricos.

Dependen del peso de los sólidos que se obtienen de la muestra por evaporación, filtración o precipitación, y se aplican para determinar los sólidos totales y volátiles, sólidos en suspensión y sulfuros.

Como los pesos de los sólidos son pequeños, se requiere de una balanza analítica y un horno de secado; por lo que estos análisis gravimétricos no son adecuados para efectuarse en el lugar de muestreo.

Análisis volumétricos.

Son análisis rápidos y exactos para muchas determinaciones como la alcalinidad, acidez, cloruros, la determinación de Winkler de oxígeno disuelto y en la determinación de la demanda química de oxígeno (DQO). Los elementos para este tipo de análisis son: pipetas, soluciones estándar del reactivo apropiado, indicadores y buretas graduadas.

Análisis colorimétricos.

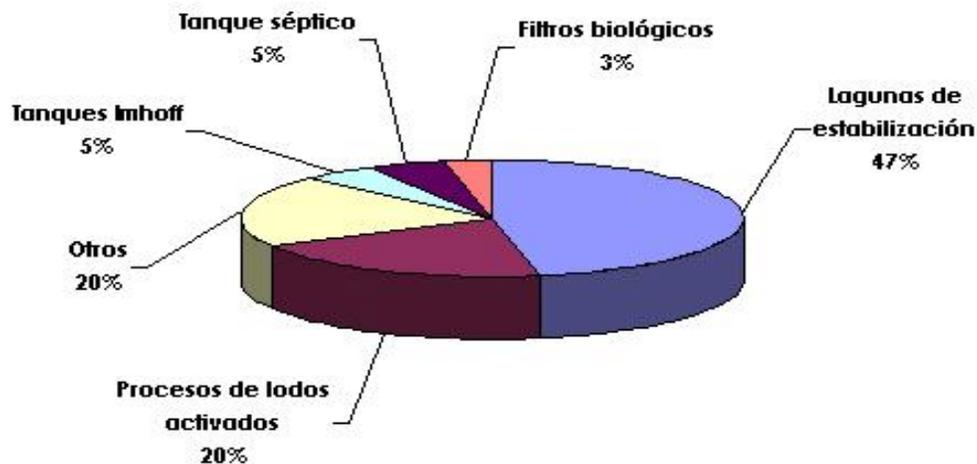
Son apropiados para bajas concentraciones y existen varias determinaciones en el control de la calidad de agua que se pueden realizar en forma rápida y fácil con este tipo de análisis. El color producido se puede medir por varios métodos: por métodos visuales e instrumentales; en los visuales podemos mencionar los tubos de comparación (tubos de Nessler) y los discos de color, este es muy conveniente para usarlo en el lugar de trabajo por el amplio surtido en discos y reactivos.

En los métodos instrumentales se encuentran, el absorciómetro o colorímetro y el espectrofotómetro los cuales usan un testigo de la muestra sin el último reactivo que forma el color para fijar la posición cero de densidad óptica.

I.6 Principales procesos de tratamiento de aguas residuales.

De acuerdo con las estadísticas del agua en México 2003, se reportan los siguientes principales procesos y el porcentaje de utilización para el tratamiento de aguas residuales.

Figura I. 4 Principales procesos de tratamiento de aguas residuales.



Fuente: Información derivada del Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento. GSCA.

Para cada planta de tratamiento de aguas residuales, existe una secuencia de procesos llamada tren de tratamiento:

1) Tratamiento preliminar.

Este tratamiento nos ayuda a proteger el equipo de bombeo y el de concentración de lodos; esto se logra por medio de la eliminación o separación de sólidos orgánicos grandes y la eliminación de sólidos inorgánicos pesados, aceites y grasas, evitando bloquear tuberías o boquillas, así como problemas de operación, mantenimiento y que los sólidos se atoren sobre los aireadores mecánicos, logrando así hacer más fáciles los procesos subsecuentes del tratamiento. El cribado o desbaste se considera como la primera operación unitaria en una planta de tratamiento.

Los dispositivos que se utilizan comúnmente en el pretatamiento son: rejas, desmenuzadores, desarenadores y tanques de preaeración, los cuales tienen como objetivo la separación o disminución del tamaño de los **sólidos orgánicos grandes** como son: trozos de madera, plásticos, telas, papel, basura, materia fecal entre otros, y que se pueden encontrar flotando o suspendidos en las aguas residuales.

También la separación de los **sólidos orgánicos pesados** como son: la arena, grava y objetos metálicos, así como la separación de las cantidades excesivas de aceites y grasas encontradas en el agua residual.

Dentro del pretratamiento se puede considerar la cloración, teniendo en cuenta que se puede aplicar en cualquier etapa de un tratamiento de agua residual.

2) **Tratamiento primario.**

Este tratamiento tiene por objeto reducir la concentración de los sólidos suspendidos de un 40 a 60 por ciento, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación y de un 80 a 90 por ciento de sólidos suspendidos cuando se agregan productos químicos a los tanques primarios que eliminan los sólidos coloidales y sedimentables.

Los dispositivos que se utilizan en el tratamiento primario son tanques de sedimentación y se dividen en cuatro grupos: tanques sépticos, tanques de doble acción (tanques Imhoff), tanques de sedimentación simple con eliminación mecánica de lodos y clarificadores de flujo ascendente con eliminación mecánica de lodos; los cuales tienen como objetivo disminuir la velocidad de las aguas residuales para la sedimentación de sólidos que son principalmente orgánicos; cuando se utilizan productos químicos, se emplean unidades auxiliares las cuales pueden ser: unidades alimentadoras de reactivos, mezcladores y floculadores.

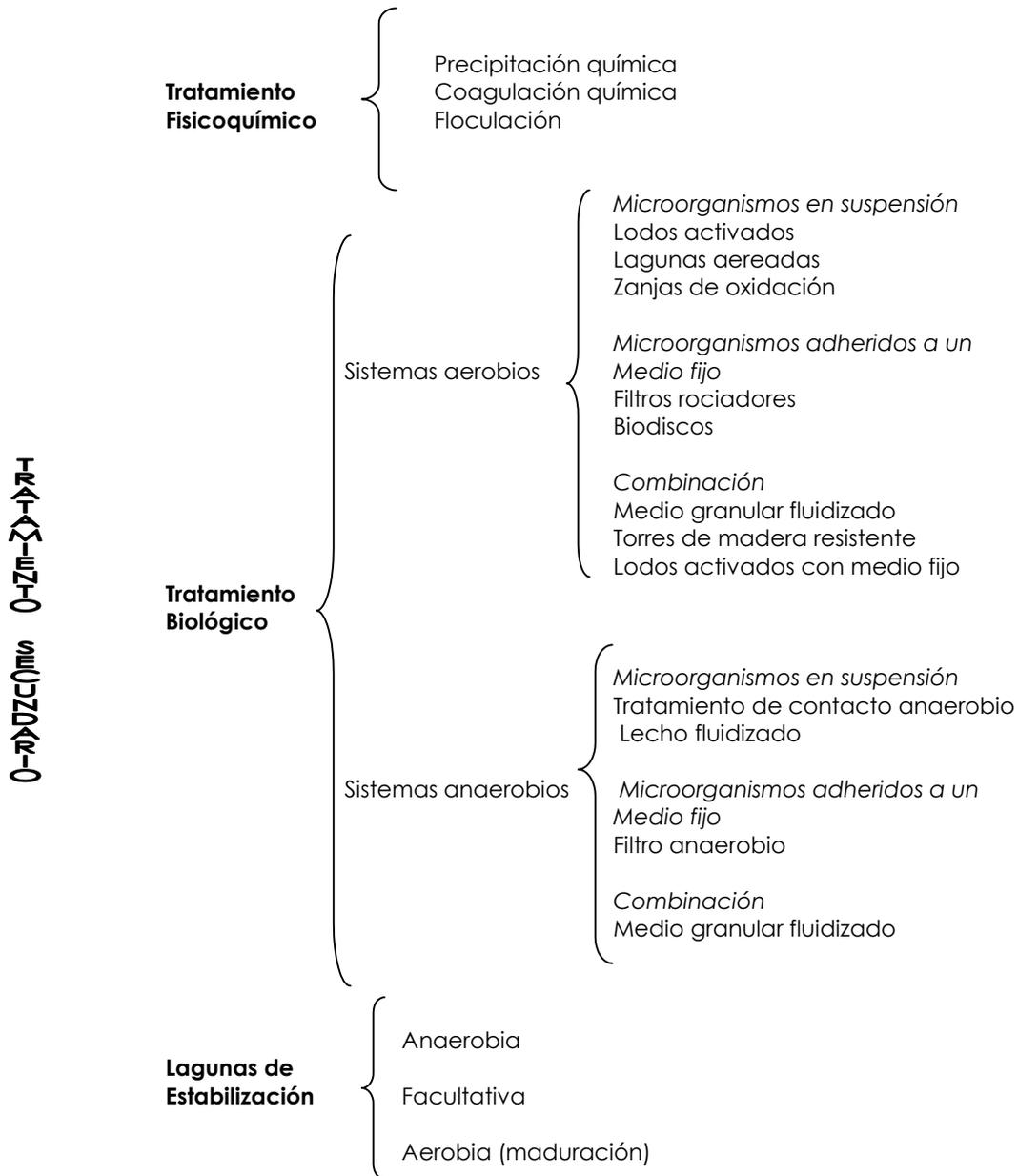
Algunos de los tanques de sedimentación tienen como función adicional la digestión de los lodos, que es la descomposición de los sólidos orgánicos sedimentados.

3) **Tratamiento secundario.**

Tiene por objeto eliminar los sólidos suspendidos finos, sedimentables, coloidales y solubles que aún contienen las aguas residuales después de haber pasado por el tratamiento primario, y los cuales deben ser separados del agua residual para su uso y disposición en cuerpos receptores, aplicando procesos y operaciones unitarias. El diagrama 1.2 ordena estos procesos de acuerdo al tipo de tratamiento.

El tratamiento secundario depende principalmente de los organismos aerobios, para la descomposición de los sólidos orgánicos hasta transformarlos en sólidos inorgánicos o en sólidos orgánicos estables (J. GLYNN HENRY & GARY W. HEINKE).

Diagrama I.2 Procesos y sistemas para el tratamiento secundario.



Fuente: Adaptado de López Ruiz, 2003.

4) Tratamiento terciario o avanzado.

Tiene por objeto eliminar las sustancias suspendidas y disueltas que puede ser materia orgánica, sólidos suspendidos o pueden variar de iones relativamente simples como potasio, calcio, sulfato, nitrato y fosfato, hasta llegar a los mas complejos compuestos orgánicos sintéticos, y que siguen estando presentes en el agua residual después de haber aplicado un tratamiento secundario.

En lo que se refiere a los compuestos que contienen nitrógeno y fósforo, son importantes a considerar ya que aceleran la eutroficación de los lagos y generan el crecimiento de plantas acuáticas, siendo de importancia la eliminación del nitrógeno para desaparecer el amoníaco que es un compuesto tóxico que puede causar un impacto en los cuerpos receptores; también son de gran importancia los compuestos tóxicos y compuestos orgánicos volátiles cuando el agua tratada se utiliza para recargar los acuíferos.

Los sistemas de tratamiento avanzado pueden ser clasificados por el tipo de operación o proceso unitario o por la función principal de eliminación: desinfección, filtración, eliminación de compuestos tóxicos (adsorción), eliminación de sustancias inorgánicas disueltas, nitrificación, desnitrificación y la absorción del fósforo.

Lagunas de estabilización.

De los principales procesos, es el de mayor porcentaje con el 47% de acuerdo a las estadísticas 2003 de la CNA para el tratamiento de agua residual, se consideran como medios simples y flexibles para la descomposición biológica del material orgánico, es decir, es un proceso de tipo biológico que por medio de bacterias en cultivo suspendido se logra la biodegradación de la materia orgánica presente en el agua residual. Se clasifican como anaerobias (total ausencia de oxígeno), aerobias (presencia de oxígeno), facultativas o aerobias-aireadas o facultativas –aireadas, a estas ultimas se les llama lagunas de oxidación.

Se consideran como los sistemas más económicos para el tratamiento de los desechos líquidos generados por los diversos usos de la actividad humana; requieren de un diseño con bases científicas, así como de construcción y operación adecuada, de acuerdo al tipo de desechos que reciben, tamaño, forma, modo de operación y objetivos de tratamiento se puede clasificar las lagunas (véase Tabla I.5), las cuales son importantes para mejorar el efluente de las plantas de lodos, filtros biológicos, lagunas anaerobias y facultativas, teniendo como objetivo llegar a un nivel de tratamiento disminuyendo la DBO para poder reutilizar el agua.

Tabla I.5 Tipos y aplicaciones de lagunas de estabilización de uso común.

TIPO DE LAGUNA O SISTEMA LAGUNAR	NOMBRE COMUN	CARACTERÍSTICAS QUE LO IDENTIFICAN	APLICACIÓN
Aerobia	a) Baja tasa	Diseñada para mantener condiciones aerobias a través de toda la profundidad del líquido.	Tratamiento de desechos orgánicos solubles y efluentes secundarios.
	b) Alta tasa	Diseñada para optimizar la producción de algas y tejido celular y lograr grandes producciones de proteína cosechable.	Remoción de nutrientes, tratamiento de desechos orgánicos solubles, conversión de desechos.
	c) Maduración o laguna terciaria	Similar a las lagunas de baja tasa pero con gran carga de iluminación.	Usada para pulir los efluentes del tratamiento secundario convencional como filtros biológicos o lodos activados.
Aerobia-Anaerobia (Aereación como fuente de oxígeno)	Facultativa con aereación	Más profunda que las de alta tasa, la aereación y la fotosíntesis proveen el oxígeno para la estabilización aerobia en las capas superiores. Las capas bajas son facultativas, las capas del fondo experimentan digestión anaerobia.	Tratamiento de cribado para aguas no tratadas o sedimentación primaria de aguas residuales o desechos industriales.
Aerobia-Anaerobia (algas como fuente de oxígeno)	Facultativas	Lo mismo que la anterior, excepto que no tiene aereación. La fotosíntesis y aereación de la superficie provee de oxígeno a las capas superiores.	Tratamiento de cribado para aguas no tratadas o sedimentación primaria de aguas residuales o desechos industriales.
Anaerobia	Anaerobia, laguna de pretratamiento anaerobio	Condiciones anaerobias prevalecen en todas partes, seguida generalmente por las lagunas aerobias o facultativas.	Tratamiento de aguas residuales municipales e industriales.
Anaerobia seguida de Aerobia-Anaerobia y de Aerobia	Sistema lagunar	Combinación de tipo de lagunas descritas arriba. Las lagunas aerobias-anaerobias pueden ser seguidas por una laguna aerobia. Frecuentemente se utiliza recirculación de lagunas aerobias a las anaerobias.	Tratamiento completo de aguas residuales municipales e industriales con alta remoción de bacterias.

Fuente: López Ruiz, 2003.

Se pueden hacer arreglos denominados sistema lagunal y estos pueden ser: en serie, paralelo o mixto, para carga orgánica grande y reducción de coliformes se usa por lo general un arreglo en serie, en paralelo cuando se necesita tener mucha flexibilidad en la operación y en la reducción de DBO, normalmente se utiliza una combinación de lagunas anaerobias (Figura I.5) y facultativas (Figura I.6) o facultativas independientes.

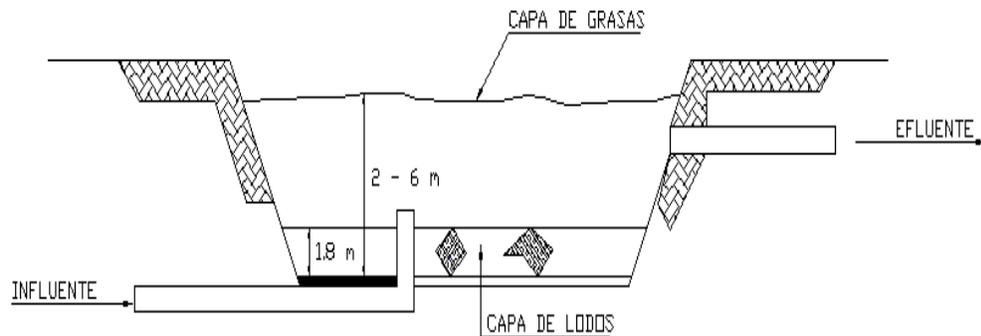


Figura I.5 Laguna anaerobia (CNA).

Desventajas al uso de lagunas de estabilización han sido (LÓPEZ RUIZ, 2003):

- 1) La posibilidad de contaminación bacteriológica del subsuelo y el agua que contiene.
- 2) La descarga de aguas con un alto contenido de DBO y sólidos suspendidos como algas.
- 3) Problemas de malos olores y sabor en las fuentes de agua potable.
- 4) La provisión de sitios para la reproducción de mosquitos y otros vectores acuáticos.

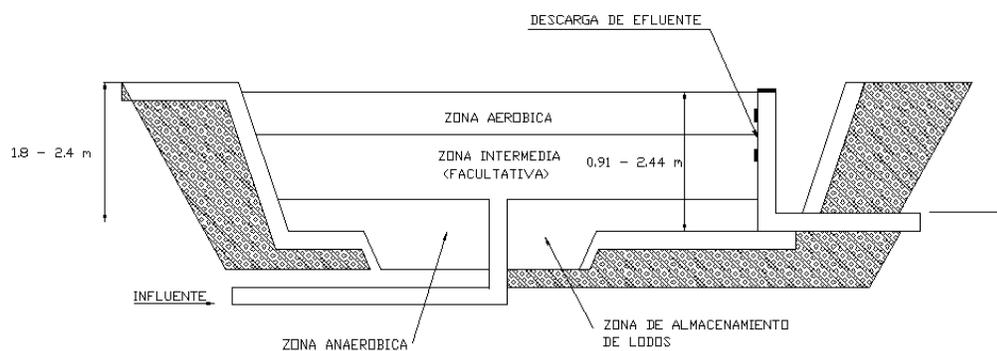


Figura I. 6 Laguna facultativa (CNA).

Proceso de lodos activados.

Este es el segundo proceso principal que reporta la CNA con el 20% y se considera como un tratamiento secundario, se basa en la formación de un sistema biológico en donde los sólidos orgánicos que se encuentran presentes en las agua residuales sirven de alimento a una masa microbiana en un medio suspendido y provisto de oxigenación adecuada; y para la remoción de los sólidos biológicos y la recirculación de una parte de los mismos se complementa con una sedimentación secundaria. Tiene diferentes variaciones como son (LÓPEZ RUIZ, 2003):

- 1) **Flujo de pistón.** El suministro de aire a lo largo del reactor es variable.
- 2) **Mezcla completa.** Las concentraciones de alimento de los microorganismos y del aire son uniformes en el reactor de aireación.
- 3) **Aereación por pasos.** El influente y el aire son introducidos al reactor por distintos puntos del proceso.
- 4) **Oxigenación con oxígeno puro.** Permite el ingreso de mayores cargas o la disminución del tiempo de retención.
- 5) **Aereación extendida.** Se diseña con mayores tiempos de retención hidráulicos, y opera con altas concentraciones de sólidos en una mezcla completa, produciendo un efluente nitrificado y lodos más estables.
- 6) **Zanjas de oxidación.** Representa una variación del sistema de aireación extendida, con agitación mecánica y oxigenación por difusión.

La figura siguiente esquematiza el proceso de lodos activados.

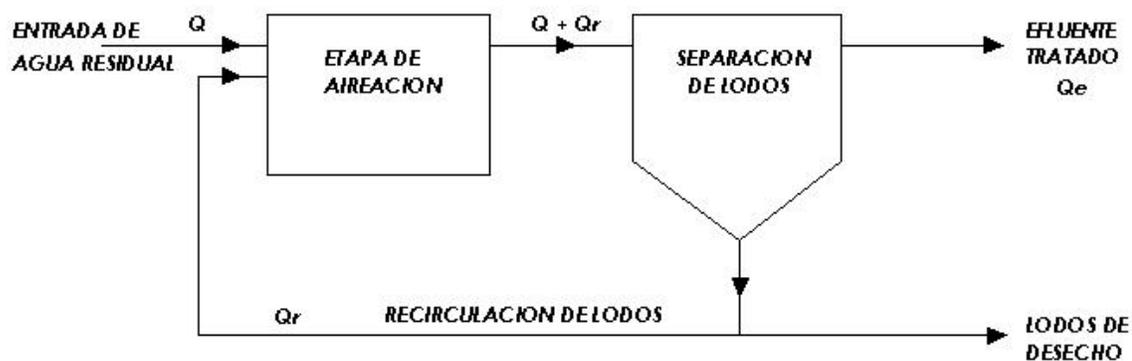


Figura I.7 Características esenciales de los lodos activados.

Tanque Imhoff

Los tanques Imhoff llamados también como tanques de doble acción, es otro de los procesos principales que se utiliza, con un 5% (CNA 2003), para el tratamiento de las aguas residuales, es económico, fácil de operar y no tienen problemas mecánicos y en una sola unidad provee la digestión de lodos y la sedimentación, teniendo como objetivo producir un efluente primario con un nivel de tratamiento, con el que se consigue eliminar de un 40 a 60 por ciento de los sólidos suspendidos y de un 25 a 35 por ciento de reducción en la DBO.

Con el tanque Imhoff se pueden corregir dos defectos importantes con respecto del tanque séptico; en primer lugar impedir que los sólidos que se han separado de las aguas residuales se mezclen otra vez, y así permitir la retención de estos sólidos para su descomposición en la misma unidad, y segundo proporcionar un efluente adaptable a un tratamiento siguiente.

Puede ser rectangular o circular y se divide en tres compartimentos o cámaras:

- 1) La sección superior que se conoce como cámara de derrame continuo o compartimiento de sedimentación.
- 2) La sección inferior que es la cámara de digestión de los lodos y
- 3) El respiradero y cámara de natas.

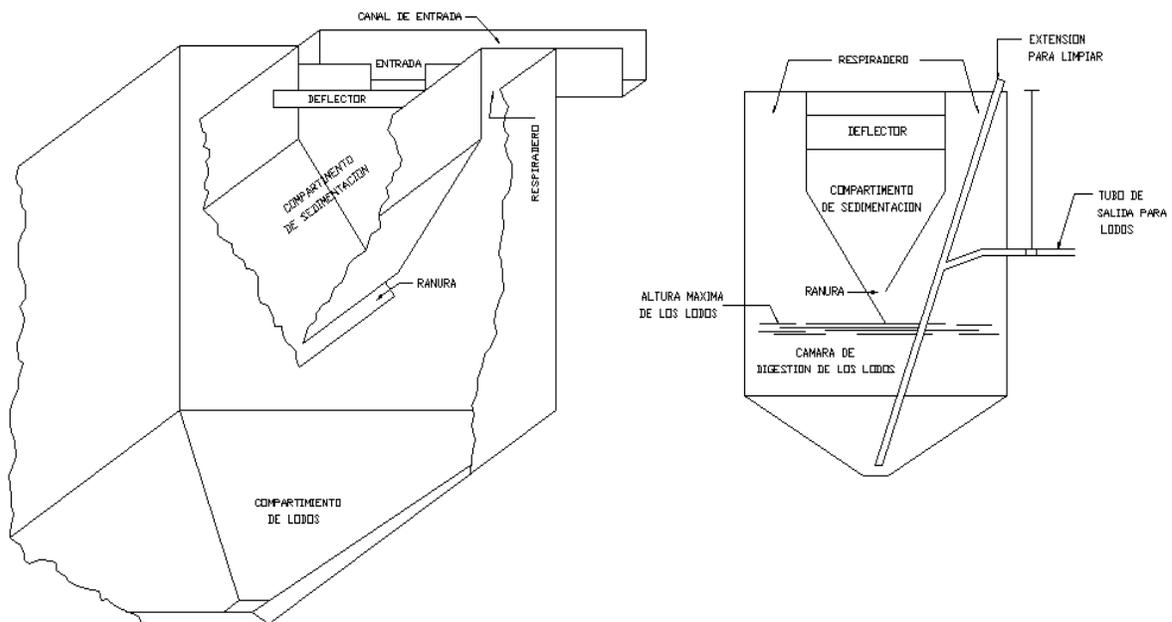


Figura I. 8 Tanque Imhoff.

Tanque séptico.

De acuerdo con los datos de la CNA (2003), se considera que el 5% de utilización es el proceso de tanque séptico para el tratamiento de aguas residuales, y el cual se considera que es uno de los dispositivos más antiguos para el tratamiento primario, que se utilizan en instalaciones muy pequeñas, comúnmente en residencias aisladas, escuelas o pequeñas instituciones, ya que se puede disponer del efluente del tanque por el método superficial o cuando el factor de dilución en aguas receptoras es muy alto.

Esta diseñado para mantener a las aguas negras a una velocidad muy baja y bajo condiciones anaerobias, por un periodo de 12 a 24 horas, durante el cual se efectúa una gran eliminación de sólidos sedimentables. Estos sólidos se descomponen en el fondo del tanque, produciéndose gases que arrastran a los sólidos y los obligan a subir a la superficie, permaneciendo como una nata o capa hasta que escapa el gas y vuelven a sedimentarse (véase Figura I.9). Esta continúa flotación y subsecuente sedimentación de los sólidos los lleva con la corriente de las aguas negras hasta la salida, por lo que eventualmente salen algunos sólidos con el efluente.

Debido a los largos periodos de retención y a la mezcla con los sólidos en descomposición, las aguas negras salen del tanque en una condición séptica que dificulta el tratamiento secundario (J. GYNN HENRY & GARY W. HEINKE).

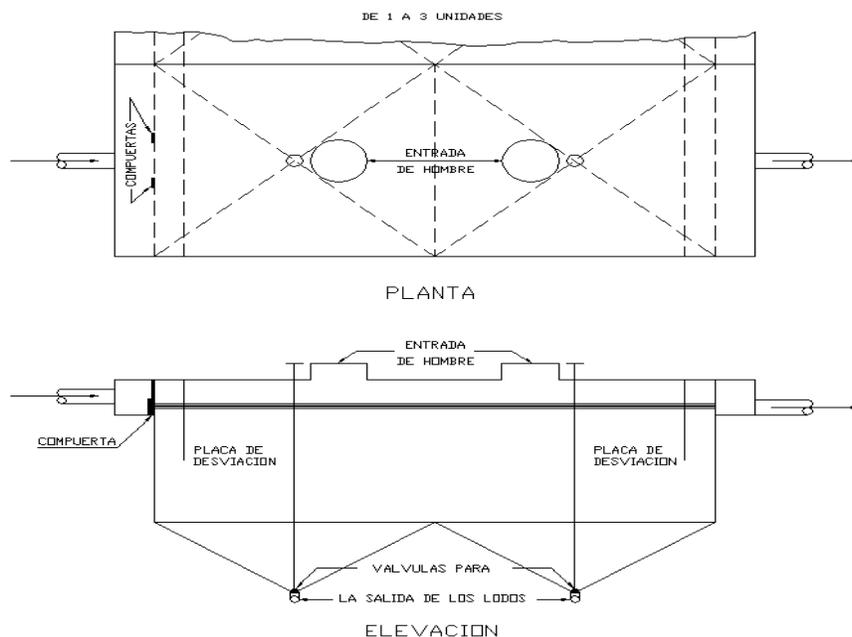


Figura I.9 Tanque séptico.

Filtros biológicos.

Los filtros biológicos llamados también como percoladores, filtros rociadores o biofiltros, es otro de los procesos que se utiliza para el tratamiento de aguas residuales con un 3% (CNA 2003), es económico y eficiente para desarrollar los medios naturales de purificación, y se basa en dejar escurrir el agua residual en un filtro empacado con piedra o con algún medio o empaque sintético, y en la superficie de este medio se desarrollan crecimientos biológicos que biooxidán a la materia orgánica presente en el agua y el efluente es recolectado en el fondo del filtro, este deberá pasar por un clarificador secundario para colectar la biomasa desprendida.

Los componentes básicos de los filtros son, un *medio filtrante* y este puede ser de material pétreo o sintético los cuales deben ser durables y resistente, un *sistema de distribución* que tiene por objeto repartir uniformemente el agua residual y un *sistema de bajo dren*, las funciones de este es recoger agua tratada y sólidos que se desprenden del medio filtrante y permitir la ventilación de este medio para mantener condiciones aeróbias en la biomasa, estos componentes se muestran en la Figura I.10.

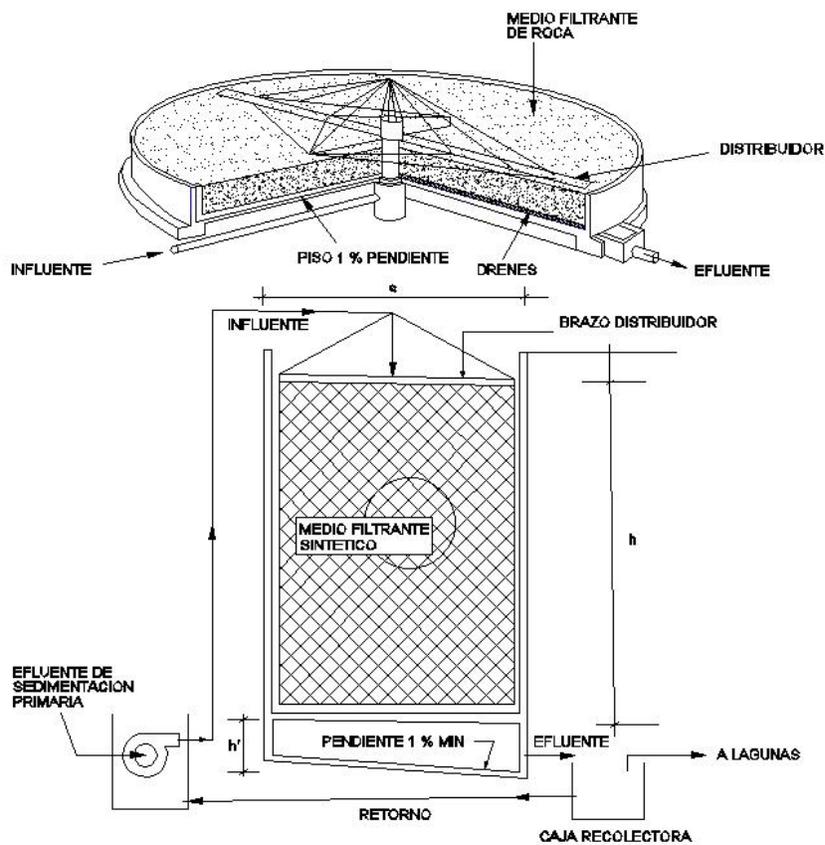


Figura I.10 Filtro biológico.

I.7 Normatividad nacional.

Existen en México leyes, reglamentos e Instituciones, que tienen por objeto principal el de salvaguardar, proteger y prevenir la salud humana y los recursos naturales de la contaminación del agua. Entre las cuales podemos mencionar, Ley de Aguas Nacionales, Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, Ley General de salud, Ley Federal sobre Metrología y Normalización, Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAT), Comisión Nacional del Agua (CNA).

Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales.

1. Tiene por objeto proteger la calidad y posibilitar sus usos de las aguas y bienes nacionales, estableciendo límites máximos permisibles de contaminantes de las descargas de aguas residuales.

Especificaciones

2. Esta norma establece los límites máximos permisibles para la concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales. Considerando así a la temperatura, grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total, arsénico, cadmio, cianuro, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc (Anexo 4, Tablas 1 y 2).

3. Para determinar la contaminación por patógenos y parásitos se tomara como indicadores a los coliformes fecales y huevos de helminto respectivamente.

El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario respectivamente.

Y el límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso de riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego no restringido, y de cinco huevos por litro para riego restringido. Cabe mencionar que esta norma establece la técnica para encontrar este último indicador (Anexo 2).

4. Para el potencial hidrógeno pH, el rango permisible es de 5 a 10 unidades.

Fechas de cumplimiento

5. En esta norma también se estipulan fechas de cumplimiento de descargas, para los responsables de la descarga de aguas residuales y que dependen de los rangos de población y carga contaminante (DBO₅ y sólidos suspendidos totales) por lo que el cumplimiento debe ser gradual y progresivo de estos dos rangos. Considerando que estas fechas pueden ser acortadas por la CNA para un cuerpo receptor en específico, siempre y cuando exista el estudio correspondiente que valide tal modificación (Anexo 4, Tablas 3 y 4).

6. Los responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales quedan obligados a presentar un programa de acciones u obras a realizar, para el control de calidad del agua ante CNA, lo anterior cuando la concentración de contaminantes: parámetros básicos, metales pesados y cianuros, rebasen los límites máximos permisibles en las tablas 1 y 2 del anexo 4, multiplicados por cinco para cuerpos receptores tipo B (ríos, uso público urbano)

Los demás responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, que rebasen los límites máximos permisibles de esta norma quedan obligados a presentar un programa de acciones u obras a realizar para el control de la calidad de sus descargas ante la CNA. Las fechas establecidas en este punto, no están actualizadas (Anexo 4, Tablas 5 y 6).

7. Considera también que el responsable de la descarga de aguas residuales esta obligado a realizar monitoreos para determinar el promedio diario y mensual e indicar la periodicidad en que se debe de llevar la frecuencia de análisis y reportes. En descargas municipales, es respecto al rango de la población y de las no municipales es de acuerdo a la DBO₅ y sólidos suspendidos totales, quedando exento de realizar lo anterior siempre que se demuestre lo contrario ante la CNA y de igual forma cuando se excedan de los límites permisibles de los contaminantes establecidos dentro de esta norma deberá solicitar a la CNA se analice su caso particular a fin de que ésta le fije condiciones particulares de descarga (Anexo 4, Tablas 7 y 8).

8. Al presentarse aguas pluviales en los sistemas de drenaje y de alcantarillado, el responsable de la descarga esta obligado a operar su planta de tratamiento cumpliendo con los límites máximos permisibles establecidos o podrá, a través de una obra de desvío derivar el caudal excedente en condiciones particulares de descarga, reportando a la CNA el caudal derivado.

9. El responsable de la descarga deberá solicitar ante la CNA para que fije condiciones particulares de descarga cuando al implementar un programa de uso eficiente y/o reciclaje del agua en sus procesos productivos, concentre los contaminantes en su descarga y que rebase por consecuencia los límites máximos permisibles ya establecidos por esta norma.

Norma Oficial Mexicana 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. Esta norma no se aplica a las descargas de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

1. Tiene como objetivo prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, estableciendo los límites contaminantes en las descargas de aguas residuales.

Especificaciones

2. Los límites máximos permisibles para contaminantes de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, no deben ser superiores a los indicados en esta norma. Los parámetros que se consideran son: arsénico, cadmio, cianuro, cobre, mercurio, níquel, plomo y zinc, todos estos considerados como totales, sólidos sedimentables, cromo hexavalente, las grasas y aceites que se consideran como el promedio ponderado en función del caudal, resultante de los análisis practicados a cada una de los muestras simples (Anexo 5, Tabla 1).

3. El rango permisible considerado para el pH (potencial hidrógeno) en las descargas de aguas residuales, el cual no debe de estar fuera del intervalo permisible en las muestras simples, es de 10 y 5.5 unidades. El parámetro de la temperatura tiene como límite máximo permisible 40 °C y si se rebasara esta temperatura al descargar las aguas residuales, se debe presentar un estudio sustentado demostrando que no daña al sistema.

4. En el caso de los parámetros de la DBO y sólidos suspendidos totales los límites máximos permisibles que debe de cumplir el responsable de las descargas a los sistemas de alcantarillado ya sea urbano o municipal son los establecidos en la tabla 2, referida en el punto 2 de la norma NOM-001-SEMARNAT-1996. En caso contrario de no dar cumplimiento a lo anterior, se podrá optar por remover la DBO y sólidos suspendidos totales, mediante el tratamiento conjunto de las aguas residuales en la planta municipal, presentando un estudio de viabilidad ante la autoridad, que asegure que no se generará un perjuicio al sistema de alcantarillado urbano o municipal y solventar los costos de inversión cuando así se requiera, así como los de operación y mantenimiento que le correspondan de acuerdo con su caudal y carga contaminante de conformidad con los ordenamientos jurídicos locales aplicables.

La autoridad competente, podrá fijar condiciones específicas de descarga a los responsables de las descargas de manera individual o colectiva, que establezcan nuevos límites máximos permisibles de descarga de contaminantes y límites para parámetros adicionales no contemplados en esta norma y deberán estar justificados por un estudio técnicamente sustentado.

Fechas de cumplimiento

5. En esta norma también se estipulan fechas de cumplimiento para los responsables de la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado municipal ó urbano, en relación a los límites máximos permisibles y que dependen del rango de la población. Estas fechas pueden ser modificadas por lo autoridad competente y no serán aplicables cuando se trate de instalaciones nuevas o de incrementos en la capacidad o ampliación de las instalaciones existentes (Anexo 5, Tabla 2).

6. El responsable de la descarga podrá quedar exento de realizar el análisis de alguno o varios parámetros siempre y cuando lo demuestre ante la autoridad que por las características del proceso productivo, actividades que desarrolla o el uso que le dé al agua, no genera o concentra contaminantes excedentes. También tiene la responsabilidad de informar a la autoridad cualquier cambio de lo anterior cuando con ello modifique la calidad o el volumen del agua residual que le fueron autorizados en el permiso de descarga. De igual forma cuando se excedan de los límites permisibles de los contaminantes establecidos dentro de esta norma deberá solicitar a la autoridad se analice su caso particular a fin de que ésta le fije condiciones particulares de descarga.

Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reuso.

En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de la presente norma, desde la producción del agua tratada hasta su reuso o entrega, incluyendo conducción o transporte de la misma.

1. Tiene por objeto proteger el medio ambiente y la salud de la población, estableciendo límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.

Especificaciones

2. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes, de acuerdo al tipo de reuso: servicios al público con contacto directo e indirecto u ocasional, considerando como contaminantes por promedio mensual, coliformes fecales, huevos de helminto, grasas y aceites, DBO₅, sólidos suspendidos totales (Anexo 6, Tabla 1).

3. Establece también que la materia flotante debe de estar ausente en el agua tratada, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006.

4. De acuerdo con la tabla 3 de la NOM-001-SEMARNAT-1996, con respecto a embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola, las concentraciones de metales pesados y cianuros no deben ser mayores, para el agua residual tratada reusada en servicios al público.

5. Conforme a esta norma es obligación, de las entidades públicas responsables del tratamiento de las aguas residuales que reusen en servicios al público, el monitoreo de estas mismas, procurando conservar la información por lo menos de los últimos tres años a la fecha.

6. Los responsables del tratamiento y reuso de las aguas residuales tratadas, tienen la obligación de realizar los muestreos como se establece en la norma NMX-AA-003, considerando:

- Para los coliformes fecales, materia flotante, DBO₅, sólidos suspendidos totales, grasas y aceites, al menos cuatro muestras simples tomadas en días representativos mensualmente.
- Para los huevos de helminto, al menos dos muestras compuestas tomadas en días representativos mensualmente.
- Para los metales pesados y cianuros, al menos dos muestras simples tomadas en días representativos anualmente.

Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2001. Protección ambiental lodos y biosólidos, establece especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

1. Tiene por objeto proteger el medio ambiente y la salud de la población, estableciendo especificaciones y límites máximos permisibles en los lodos y biosólidos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final.

2. Esta norma es obligatoria para todas las personas físicas y morales que generen lodos y biosólidos.

Especificaciones

3. Cada dos años se debe demostrar que para que los lodos y biosólidos se puedan aprovechar o disponer, que estos no son corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos o inflamables.

Los responsables quedarán exentos ante la autoridad si presentan por escrito y bajo protesta de decir la verdad siempre, que por las características del proceso generador de lodos y biosólidos, el contenido de patógenos, parásitos y metales pesados sea homogéneo o no presentan variaciones significativas.

4. Si se da cumplimiento con referencia al punto anterior, los lodos y biosólidos pueden ser manejados y aprovechados o dispuestos en forma final como residuos no peligrosos.

5. Los generadores de biosólidos deben controlar a los roedores, moscas, mosquitos u otros organismos capaces de transportar agentes infecciosos (atracción de vectores), demostrando su efectividad. Para tal efecto esta norma da algunas opciones: reducción del contenido de sólidos volátiles, digestión adicional de los biosólidos digeridos anaeróbicamente, digestión adicional de los biosólidos digeridos aeróbicamente, tasa específica de absorción de oxígeno (TEAO) para biosólidos digeridos aeróbicamente, procesos aeróbicos a más de 40 °C, adición de materia alcalina, reducción del contenido de humedad en biosólidos que no contienen sólidos sin estabilizar, reducción del contenido de humedad en biosólidos que contienen sólidos no estabilizados, inyección de biosólidos al suelo, incorporación de biosólidos al suelo (Anexo 3).

6. Establece límites máximos permisibles de metales pesados en los biosólidos, como son los contaminantes determinados en forma total, arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel y zinc (Anexo 3, Tabla 1).

7. Se clasifican los biosólidos en excelente y bueno, en clase A y B, con base en su contenido de metales pesados y en función de su contenido de patógenos y parásitos respectivamente (Anexo 3, Tabla 2).

En base a la clasificación anterior, cuando los biosólidos se pretendan aprovechar en terrenos con fines agrícolas, mejoramiento de suelos y restauración de paisajes, no se deben aplicar si los suelos están congelados; inundados; cubiertos por nieve o con pH de 5 o menor.

8. La calidad deber ser excelente, de clase A y el contenido de humedad debe ser del 70% o menor para aprovechar los biosólidos en jardines, macetas de casas de habitación, edificios públicos y privados, áreas verdes para recreación pública y privada con contacto directo humano, viveros y campos deportivos, camellones humanos y en vías de comunicación, panteones y bosques.

9. Establece los límites máximos permisibles de patógenos y parásitos para lodos y biosólidos (Anexo 3, Tabla 3).

10. Los lodos y biosólidos que den cumplimiento a esta norma, pueden ser almacenados hasta un periodo de 2 años y el predio en donde sean almacenados, debe de contar con un sistema de recolección de lixiviados. También se permitirá la mezcla de dos o mas lotes de lodos y biosólidos, siempre y cuando ninguno de estos este clasificado como residuo peligroso y mezcla resultante.

11. Esta norma establece el muestreo y el análisis para el generador de lodos y biosólidos y se deben de realizar muestreos y análisis conservando los registros por lo menos durante los últimos 5 años, y con una frecuencia de acuerdo al aprovechamiento y disposición final (Anexo 3, Tabla 4).

Para determinar el contenido constará de cuando menos 7 muestras simples y los resultados se informarán con la media geométrica y aritmética para coliformes fecales y Salmonella y para huevos de helminto respectivamente. Y para el contenido de metales pesados, constará de una muestra compuesta y se reportará para dos o más resultados la media aritmética. Y quedarán exentos de realizar el muestreo o el análisis, cuando por su procedencia o invariabilidad en el contenido de los lodos y biosólidos no concentra los contaminantes de exentar, por escrito y bajo protesta de decir verdad ante la CNA.

Normas oficiales mexicanas de la secretaría de salud.

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características microbiológicas, físicas y organolépticas, químicas y radioactivas, con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas hasta la entrega al consumidor por tales razones la secretaría de salud en coordinación con la CNA y otras entidades de gobierno han elaborado las siguientes Normas Oficiales Mexicanas (ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN MEXICO, 2004):

- **NOM-127-SSA1-1994 (Modificación).** Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles y tratamientos a que se debe someterse el agua para su potabilización. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 22 de noviembre del 2000 y entro en vigor el día 20 de febrero de 2001.
- **NOM-179-SSA1-1998.** Vigilancia y evaluación del control de la calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por los sistemas de abastecimiento público; publicada el 24 de septiembre de 2001. Entro en vigor el 24 de noviembre de 2001.
- **NOM-012-SSA1-1993.** Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados; publicada el 12 de agosto de 1994. Entro en vigor el 13 de agosto de 1994.
- **NOM-013-SSA1-1993.** Requisitos sanitarios que debe de cumplir la cisterna de un vehículo para el transporte y distribución de agua para uso y consumo humano. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 12 de agosto de 1994. Entro en vigor el 12 de agosto de 1994.
- **NOM-014-SSA1-1993.** Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento públicos y privados. Se publico en el Diario Oficial de la Federación el 12 de agosto de 1994. Entro en vigor el trece de agosto de 1994.

II. EXAMEN DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Este capítulo tiene el objetivo de dar a conocer algunos de los métodos utilizados en las pruebas de tratabilidad que permiten experimentalmente valorar los parámetros físicos, químicos y biológicos que adquiere el agua a través de sus diferentes usos, ya sea para removerlos o estabilizarlos y así poder determinar previamente si el proceso de tratamiento seleccionado es realmente el adecuado.

Cabe mencionar que no existe por parte de la Comisión Nacional del agua o de alguna otra institución, algún manual de pruebas de tratabilidad de aguas residuales, por lo que para el desarrollo de este capítulo se tomó como referencias las siguientes bibliografías; Análisis de Agua y Agua de Desecho (Secretaría de Recursos Hidráulicos), Métodos Normalizados (APHA, AWWA, WPCF), y las Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997, las cuales establecen los límites máximos permisibles de contaminantes.

De acuerdo con el capítulo 1, las Normas Oficiales Mexicanas consideran como contaminantes del agua residual: las grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, de nitritos y de nitratos), fósforo total, temperatura y pH. Consideran también como contaminantes patógenos y parasitarios los coliformes fecales y huevos de helminto, así como metales pesados y cianuros: al arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros; cada norma en sus condiciones particulares respectivamente.

También en el capítulo 1, se plasma la información general de los parámetros físicos, químicos y biológicos y solo en esta parte se describe el o los métodos y la forma de cuantificarlos; en caso particular en lo que se refiere a los metales pesados y cianuros se mencionan solamente las Normas Oficiales Mexicanas para su determinación.

De acuerdo a lo anterior, a continuación se describen los métodos para medir los parámetros en las pruebas de tratabilidad; para facilitar la información, considerando la bibliografía consultada y las Normas Mexicanas Oficiales se dividieron en físicos, químicos y biológicos.

Tabla II.1 Parámetros físicos

Los parámetros físicos, nos indican las operaciones físicas que se requieren en el tratamiento y el tipo de proceso que el tratamiento se requiere, ya sea químico biológico.

Parámetro	Método (s) aplicado (s)	Descripción	Forma de Cuantificar
Color	Comparación visual	Este método se puede realizar de dos formas, con soluciones coloridas concentradas o por discos de cristal de color; consiste en determinar el color del agua residual por comparación visual, con la solución colorida del platino-cobalto y la comparación se realiza con la muestra previamente centrifugada en caso necesario (esto es para remover la materia suspendida). Y con los discos de cristal de color se deben de calibrar previamente con la solución de platino-cobalto y la comparación se realiza sobreponiendo el disco de cristal sobre un tubo Nessler con agua destilada, contrastando con la muestra original. Siendo la causa principal de interferencias la turbiedad con que se presente el agua residual, la cual produce un color aparente más alto que el color verdadero.	<i>Comparación visual</i>
Olor	Umbral de olor	Es aplicable a una gama de muestras que incluye desde aguas naturales casi inodoras a residuos industriales con cifras de umbral del orden de varios miles; estas muestras muy olorosas no presentan dificultades específicas, puesto que su concentración se reduce proporcionalmente antes de ser sometidas a observación; consiste en determinar el umbral de olor mediante la dilución de una muestra con agua inodora hasta eliminar totalmente el olor perceptible; no existe una concentración absoluta de este olor umbral debido a la variación inherente de la capacidad olfatoria individual, además las respuestas varían en función de las características y de la concentración del estímulo oloroso; se recomienda para resultados que tienen que representar al conjunto de la población o si se desea una gran precisión, un número no menor de cinco personas para medir el umbral del olor.	<p>Número de umbral de olor</p> $NUO = A + B$ <p>Donde: <i>A = ml de la muestra</i> <i>B = ml de agua inodora</i></p>

En el caso del olor las pruebas sensoriales son útiles para indagar la calidad de las aguas tratadas y no tratadas; y para controlar el olor a lo largo de los procesos de tratamiento.

Continuación:

Parámetro	Método (s) aplicado (s)	Descripción	Forma de Cuantificar
Sólidos suspendidos totales o no filtrables (SST)	Por secado	Se basa en filtrar 50 ml de muestra a través de un crisol Gooch a peso constante con un filtro, los cuales se pesan antes del filtrado a través de la balanza analítica; el crisol se introduce en la estufa para secar a una temperatura de 105-103°C (durante una hora); se deja enfriar durante 30 minutos en un desecador, este último sirve para aislar la muestra y que no se contamine, sobre todo para que no se altere el resultado. Finalmente se pesa de nuevo para obtener los mg de residuo.	$\frac{mg}{l} \text{ de SST} = \frac{mg \text{ del residuo} \times 1000}{ml \text{ de muestra}}$
Sólidos disueltos totales o filtrables (SDT)	Por secado	Para determinar los sólidos disueltos totales, se utiliza 20 ml de la muestra del filtrado de sólidos suspendidos totales, se coloca en una cápsula a peso constante y se evapora parte del agua en baño maría hasta la sequedad; se introduce la cápsula en la estufa para secar a una temperatura de 180°C (durante una hora); se deja enfriar durante 20 minutos en un desecador, para posteriormente pesar.	$\text{Sólidos disueltos totales (SDT)} = \text{STT} - \text{SST}$
Sólidos sedimentables (SSe)	Cono de Imhoff	La prueba se efectúa ordinariamente en un cono de Imhoff, permitiendo una sedimentación, transcurridos 45 minutos se frota suavemente las paredes del cono con una varilla de vidrio; después de 15 minutos se hace la lectura en ml/l. Las muestras se deben ajustar casi a la temperatura ambiente, y deben llevarse a cabo en lugares en donde la luz directa del sol no interfiriera con la sedimentación normal de los sólidos.	$\text{Se miden a través de la graduación de los conos de Imhoff.}$
Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	Por calcinación	Se obtienen a partir de los sólidos suspendidos totales o no filtrantes; estos sólidos se calcinan con una temperatura de 600 a 550 ° C, por un tiempo de 15 a 20 minutos, se deja enfriar para poder pesar. Se tiene la consideración que los SSV son alrededor del 70 a 80 % de los SST.	$\frac{mg}{l} \text{ de SSV} = \frac{mg}{l} \text{ de SST} - \frac{mg}{l} \text{ de SSF}$
Sólidos disueltos volátiles (SDV)	Por calcinación	Para determinar los sólidos disueltos volátiles, se utiliza 20 ml de la muestra del filtrado de sólidos suspendidos totales, se coloca en una cápsula a peso constante y se evapora parte del agua en baño maría hasta la sequedad; se introduce la cápsula en la estufa para secar a una temperatura de 180°C (durante una hora); se deja enfriar durante 20 minutos en un desecador, para posteriormente pesar.	$\text{Sólidos disueltos volátiles (SDV)} = \text{STV} - \text{SSV}$

Continuación:

Parámetro	Método (s) aplicado (s)	Descripción	Forma de Cuantificar
Temperatura	Termómetro Celsius de mercurio	Esté termómetro sirve para medir las temperaturas de aguas no profundas en laboratorio y en campo; deberá tener una escala con marcas cada 0.1 °C sobre el tubo capilar. Para evitar rupturas en el termómetro, cuando se trabaje en campo, se debe de utilizar un estuche metálico.	Se miden a través de la graduación del termómetro.
	Termómetro reversible	Sirve para medir temperaturas de aguas profundas requeridas para estudios limnológicos, antes de utilizarse esté termómetro en mediciones de campo se debe calibrar; a menudo está montado en el aparato de recogida de muestras, de modo que puede obtenerse simultáneamente una muestra de agua. Las lecturas de temperaturas se deben de efectuar sumergiendo en el agua el termómetro el tiempo suficiente para permitir un equilibrio total. Se corrige la lectura de los termómetros a través de una fórmula esto se debe por los cambios debidos a diferencias entre, temperaturas en la reversión y temperatura en el momento de que se hace la lectura.	$\Delta T = \left[\frac{(T^1 - t)(T^1 + V_0)}{K} \right] X \left[1 + \frac{(T^1 - t)(T^1 + V_0)}{K} \right] + L$ <p>Donde: ΔT = corrección para sumar algebraicamente a la lectura no corregida. T^1 = lectura no corregida en la reversión. t = temperatura en que se lee el termómetro. V_0 = volumen de la ampollita final del capilar hasta graduación de 0°C. K = constante que depende de la expansión térmica relativa del mercurio y el vidrio (valor usual de $K = 6.100$). L = corrección del calibrado del termómetro dependiendo de T^1.</p>
Turbiedad	Nefelométrico	Se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas y la dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones, consiste en un nefelómetro en una fuente de luz para iluminar la muestra, y uno o más detectores fotoeléctricos con un dispositivo de lectura exterior para indicar la intensidad de la luz dispersada a 90° de la vía de luz incidente. Este método es más factible en comparación a los métodos visuales por su precisión y fácil aplicación a un amplio margen de turbideces. Cuando mayor es la intensidad de esta luz, más intensa es la turbidez.	$t = \frac{A x (B + C)}{C}$ <p>Unidades nefelométricas de turbidez (UNT)</p> <p>Donde: A = UNT encontradas en muestra diluida B = volumen (ml) de agua de dilución C = volumen (ml) de la muestra tomada para dilución</p>

Debido a la amplia variedad de materiales inorgánicos y orgánicos encontrados en los análisis para sólidos, las pruebas son de carácter empírico y relativamente simple para efectuarse. La naturaleza química y física del material en suspensión, el tamaño del poro del filtro, el área y espesor del borde del filtro, la cantidad y estado físico de los materiales depositados en él, son factores principales comprendidos. Por lo tanto, las determinaciones de sólidos no están sujetas a los criterios usuales de exactitud (Secretaría de Recursos Hidráulicos).

Tabla II.2 Parámetros químicos

Los parámetros químicos a comparación de los físicos, son más específicos y útiles para evaluar a las aguas residuales; se dividen en orgánicos e inorgánicos.

Parámetro	Método (s) aplicado (s)	Descripción	Forma de Cuantificar
Acidez	Por titulación	Dependiendo del pH que tenga la muestra se realizan titulaciones por <i>tratamiento con peróxido caliente</i> , hasta alcanzar un pH de 8.3; <i>por cambio de color</i> (dependiendo del indicador, el color del punto final varía); y <i>titulación potenciométrica</i> , hasta un pH de 9 y se confecciona una curva de titulación mediante punteado de los valores de pH observados vs mililitros acumulados del reactivo añadido.	$\frac{\text{mg de CaCO}_3}{l} = \frac{[(A \times B) - (C \times D)] \times 50,000}{\text{ml de muestra}}$ <p>Donde: <i>A = ml utilizados de NaOH titulador</i> <i>B = normalidad de NaOH</i> <i>C = ml utilizados de H₂SO₄</i> <i>D = normalidad de H₂SO₄</i></p>
Alcalinidad	Por titulación	Al igual que la acidez la alcalinidad se puede obtener por titulación: <i>por cambio de color</i> (de la misma forma que para la acidez); <i>curva de titulación potenciométrica</i> , hasta un pH de 4.5 o menor; <i>titulación potenciométrica</i> al pH preseleccionado; <i>titulación potenciométrica de alcalinidad baja</i> (para alcalinidades menores de 20 mg/l) titulando primeramente a un pH de 4.3 a 4.7, midiéndose el volumen y pH exacto, continuar y finalizar exactamente a un pH de 0.3 registrando el volumen.	<p>Titulación potenciométrica a pH de punto final</p> $\frac{\text{mg de CaCO}_3}{l} = \frac{A \times N \times 50,000}{\text{ml de muestra}}$ <p>Donde: <i>A = ml utilizados de ácido estándar</i> <i>N = normalidad del ácido estándar</i></p> <p>Titulación potenciométrica de alcalinidad baja</p> $\frac{\text{mg de CaCO}_3}{l} = \frac{(2b-C) \times N \times 50,000}{\text{ml de muestra}}$ <p>Donde: <i>B = ml titulante para primer pH registrado</i> <i>C = total ml de titulante para alcanzar un pH inferior de 0.3 unidades</i> <i>N = normalidad del ácido</i></p>
Cloruros (Cl ⁻)	Automatizado del ferrocianuro	Es aplicable en aguas potables, superficiales, salinas y en aguas residuales domésticas e industriales y puede variar la gama de concentraciones modificando los controles del colorímetro; este método consiste en que un ion tiocianato se libera del tiocianato mercuríco por formación de cloruro mercuríco soluble y en presencia de ion ferrico este se transforma a tiocianato ferrico muy colorido, cuya intensidad es proporcional a la concentración de cloruro.	<i>Se compara el resultado contra una curva patrón.</i>

Continuación:

Parámetro	Método (s) aplicado (s)	Descripción	Forma de Cuantificar
Cloruros (Cl ⁻)	Argentométrico	Este método es adecuado para aguas relativamente claras, cuando la porción titulada contenga de 0.15 a 10 mg de Cl ⁻ . Consiste en una solución neutra o ligeramente alcalina y el cromato potásico puede indicar el punto final de la titulación de cloruros con nitrato de plata, se precipita el cloruro de plata cuantitativamente antes de formarse el cromato de plata rojo.	$\frac{\text{mg Cl}^-}{\text{l}} = \frac{(A-B) \times N \times 35,450}{\text{ml de muestra}}$ <p>Donde: <i>A = ml valoración para la muestra</i> <i>B = ml valoración para el blanco</i> <i>C = normalidad de AgNO₃</i></p>
	Potenciométrico	Este método es adecuado para muestras turbias o coloreadas cuando el punto final podría ser difícil de observar; consiste en determinar el cloruro por titulación potenciométrica con solución de nitrato de plata y un sistema de electrodos de vidrio y plata-cloruro de plata; para las muestras muy contaminadas se debe de aplicar un tratamiento previo y si la contaminación es menor algunos contaminantes se pueden destruir con la adición de ácido nítrico.	$\frac{\text{mg Cl}^-}{\text{l}} = \frac{(A-B) \times N \times 35,450}{\text{ml de muestra}}$ <p>Donde: <i>A = ml del AgNO₃</i> <i>B = ml del blanco</i> <i>C = normalidad del titulante</i></p>
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	Incubación por diluciones (Winkler)	Este método consiste en realizar la técnica de diluciones; se divide en botellas de DBO determinando el oxígeno disuelto mediante el método volumétrico; las botellas deben de permanecer herméticamente selladas con un sello hidráulico, se incuban a una temperatura de 20°C durante un periodo de 5 días para obtener el oxígeno disuelto final por este método.	$DBO_5 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = \frac{D_1 - D_2}{P}$ <p>Donde: <i>D₁ = oxígeno disuelto de la muestra diluida inmediatamente después de la preparación</i> <i>D₂ = oxígeno disuelto de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20 °C</i> <i>P = fracción volumétrica de la muestra, expresada en decimales</i></p>
	Directo (Oxímetro)	Este método es de forma directa ya que las lecturas son a través de un Oxímetro (medidor de oxígeno); consiste en llenar una botella para DBO con cierto porcentaje de dilución de la muestra y aforando con una preparación de nutrientes; se obtiene la lectura del oxígeno inicial. Y para obtener el oxígeno final, la botella debe de permanecer herméticamente sellada con un sello hidráulico, y se incuba a una temperatura de 20°C durante un periodo de 5 días.	$DBO_5 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = \frac{D_1 - D_2}{\% \text{ Dilución}} \times 100$ <p>Donde: <i>D₁ = oxígeno disuelto de la muestra diluida inmediatamente después de la preparación</i> <i>D₂ = oxígeno disuelto de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20 °C</i> <i>% Dilución = porcentaje de dilución</i></p>

Continuación:

Parámetro	Método (s) aplicado (s)	Descripción	Forma de Cuantificar
Demanda química de oxígeno (DQO)	Dicromato de potasio	El método se basa fundamentalmente en reacciones de óxido-reducción; la mayor parte de la materia orgánica se oxida en presencia del dicromato de potasio en un medio ácido. El dicromato que no se reduce, se titula con sulfato ferroso amoniacal, así se determina la cantidad de dicromato consumido y la cantidad de materia orgánica oxidable se calcula en términos de oxígeno equivalente.	$DQO = \frac{(a-b) \times N \times (8000)}{\text{ml de muestra}}$ <p>Donde: <i>a</i> = ml de Fe (NH₄)₂ (SO₄)₂, requeridos para titular el blanco <i>b</i> = ml de Fe (NH₄)₂ (SO₄)₂, requeridos para titular la muestra <i>c</i> = normalidad del Fe (NH₄)₂ (SO₄)₂, (calculada)</p>
Fósforo	Por digestión	El fósforo se puede presentar en combinación con materia orgánica, para determinarlo existen tres métodos de digestión, los cuales consisten en oxidar la materia orgánica para liberar el fósforo como ortofosfato soluble. Estos métodos son: el de ácido perclórico el cual es el más drástico, lento y es recomendable para muestras particularmente difíciles como son los sedimentos; el del ácido nítrico es más recomendado para muchas muestras; y el más simple es la técnica de oxidación al persulfato .	$\frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{ de P} = \frac{\text{mg P} \times 1000}{\text{ml de muestra}}$
	Colorimétricos	Para la determinación de ortofosfatos la elección del método depende de la concentración de los mismos. Ácido vanadomolibdofosfórico , consiste en la formación de este ácido a través de una solución diluida de ortofosfato que en presencia del molibdato y vanadio se torna de color amarillo, la intensidad del color es proporcional a la concentración de fosfato; cloruro estanoso , es más sensible que el anterior consiste en la formación de un ácido (molibdofosfórico), que se reduce con cloruro estanoso a azul de molibdeno de color intenso.	<p>Ácido vanadomolibdofosfórico</p> $\frac{\text{mg P}}{\text{l}} = \frac{\text{mg P} (\text{en } 50 \text{ ml volumen final}) \times 1000}{\text{ml de muestra}}$ <p>Cloruro estanoso</p> $\frac{\text{mg P}}{\text{l}} = \frac{\text{mg P} (\text{en vol. final aprox. de } 104.5 \text{ ml}) \times 1000}{\text{ml muestra}}$

Continuación:

Parámetro	Método (s) aplicado (s)	Descripción	Forma de Cuantificar
Grasas y aceites	Partición – gravimetría	Este método es para muestras líquidas y por medio de un disolvente (triclorotrifluoroetano), el aceite o grasa disuelta o emulsionada es extraída por contacto; este tiene la capacidad de disolver también otras sustancias orgánicas. Algunas grasas y ácidos grasos especialmente saturados extraíbles, se oxidan con facilidad por lo que se deben de tener precauciones con respecto a la temperatura y desplazamiento de vapor del disolvente para reducir este efecto.	$\frac{\text{mg de aceite y grasa}}{l} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{ml de muestra}}$ <p>Donde: <i>A = la ganancia total de peso del matraz</i> <i>B = residuo calculado del blanco del disolvente</i></p>
	Partición - infrarrojo	Sirve para muestras líquidas, está diseñado para aquellas que contienen hidrocarburos volátiles que de otra forma se perderían en las operaciones de eliminación del disolvente del procedimiento gravimétrico (Partición – gravimetría). También pueden ser medidos con exactitud con este método, los destilados ligeros del petróleo con excepción de la gasolina. Se pueden determinar concentraciones tan pequeñas de aceite y grasa como 0.2 mg/l.	$\frac{\text{mg de aceite y grasa}}{l} = \frac{A \times 1000}{\text{ml de muestra}}$ <p>Donde: <i>A = mg de aceite y grasa en el extracto determinado a partir de la curva de calibración</i></p>
	Soxhlet	En este método el hexano toma un papel de solvente; las muestras se acidulan con ácido clorhídrico a un pH aproximado de 1.0 para liberar los ácidos grasos que se presentan principalmente en forma de jabones de calcio y de magnesio; que son insolubles en el solvente, separándose la grasa de la muestra líquida por filtración y se extrae en un aparato Soxhlet. El residuo remanente después de la evaporación del solvente se pesa para determinar el contenido de grasa de la muestra.	$\frac{\text{mg}}{l} \text{ de grasa total} = \frac{\text{mg de aumento de peso del matraz} \times 1000}{\text{ml de muestra}}$

Continuación:

Parámetro	Método (s) aplicado (s)	Descripción	Forma de Cuantificar
Nitrógeno amoniaco	Nessler	Se considera como una técnica colorimétrica manual, y se aplica en forma directa únicamente para aguas potables purificadas, agua natural y diluyentes residuales muy depurados, todos con poco color y concentraciones de NH ₃ -N superiores a 20 µg/l y en aguas residuales domésticas solamente cuando sean aceptables errores de 1 a 2 mg/l. La turbidez, el color y las sustancias precipitadas, como magnesio y calcio, interfieren y pueden eliminarse por destilación previa o menos satisfactoriamente por precipitación con sulfato de zinc y álcali.	$\frac{\text{mg NH}_3\text{-N}}{l (51 \text{ ml volumen final})} = \frac{A}{\text{ml muestra}} \times \frac{B}{C}$ <p>Donde: <i>A</i> = µg NH₃-N (51 ml volumen final) <i>B</i> = volumen total de destilado obtenido, ml, incluyendo el absorbente ácido <i>C</i> = volumen de destilado tomado para nesslerización, ml</p>
	Sal de fenol	Este método también se considera como una técnica colorimétrica manual. Tiene una sensibilidad de 10 µg NH ₃ -N/l y es útil hasta 500 µg NH ₃ -N/l y en presencia de interferencias se debe de hacer una destilación previa en adsorbente de ácido sulfúrico. Consiste en una reacción de amoníaco, de hipoclorito y fenol, la cual es catalizada por una sal manganosa, y se forma un compuesto de azul intenso, la formación del color se completa a los 10 minutos y permanece estable durante 24 horas por lo menos.	$\frac{\text{mg NH}_3\text{-N}}{l (11.1 \text{ ml volumen final})} = \frac{A \times B}{C \times S} \times \frac{D}{E}$ <p>Donde: <i>A</i> = absorbancia de la muestra <i>B</i> = NH₃-N en el patrón, µg <i>C</i> = absorbancia del patrón <i>S</i> = volumen de muestra usado, ml <i>D</i> = volumen de destilado total obtenido, ml, incluyendo el absorbente ácido, agente neutralizante y agua exenta de amoníaco añadida <i>E</i> = volumen de destilado usado para desarrollo del color, ml</p>
	Titulométrico	Este método sólo se utiliza en muestras que se hayan sometido a una destilación previa, el volumen de la muestra en ml es en base al nitrógeno amoniacal de la muestra en mg/l. Consiste en determinar el amoníaco en muestras líquidas y de fango o sedimento.	<p style="text-align: center;">Muestras líquidas</p> $\frac{\text{mg NH}_3\text{-N}}{l} = \frac{(A-B) \times 280}{\text{ml muestra}}$ <p style="text-align: center;">Muestras de fango o sedimento</p> $\frac{\text{mg NH}_3\text{-N}}{\text{kg}} = \frac{(A-B) \times 280}{\text{g peso seco muestra}}$ <p>Donde: <i>A</i> = volumen de H₂SO₄ titulado para la muestra, ml <i>B</i> = volumen de H₂SO₄ titulado para el blanco, ml</p>

Continuación:

Parámetro	Método (s) aplicado (s)	Descripción	Forma de Cuantificar
Nitrógeno amoníaco	Electrodo selectivo de amoníaco	Este método es aplicable a la determinación de 0.03 a 1,400 mg de NH ₃ -N/l, en aguas residuales domésticas e industriales y en agua potable y de superficie. Consiste en una membrana hidrófoba permeable al gas para separar la solución de muestra de una solución interna del electrodo de cloruro de amonio, convirtiendo el amonio disuelto en ácido y al difundirse a través de la membrana cambia el pH de la solución interna, que es apreciado por un electrodo de pH, el nivel fijo de cloruro en la solución interna se detecta por un electrodo selectivo de ion de cloruro, que sirve de electrodo de referencia. Las determinaciones se hacen con un medidor de pH.	$\frac{\text{mg NH}_3\text{-N}}{l} = A \times B \times \left[\frac{101 + C}{101} \right]$ <p>Donde: <i>A</i> = factor de dilución <i>B</i> = concentración de NH₃-N, mg/l, a partir de la curva de calibrado <i>C</i> = volumen añadido de NaOH 10N por encima de 1 ml, ml</p>
	Automatizado de sal de fenol	Con este método se puede determinar el nitrógeno amoniacal en agua potable, superficial y salina, así como en las aguas residuales domésticas e industriales en un rango de 0.02 a 2.0 mg/l; cuando las concentraciones son muy altas se deben diluir las muestras. Este método consiste en que el fenol alcalino y el hipoclorito reaccionan con amoníaco para formar azul de indofenol que es proporcional a la concentración de amoníaco.	<i>Se compara el resultado contra una curva patrón.</i>
Nitrógeno nitrito	Colorimétrico	Este método es adecuado para concentraciones de 5 a 1,000 µg NO ₂ -N/l. Se determina el nitrito por la formación de un colorante azo púrpura rojizo, producido por el pH; si la muestra contiene sólidos suspendidos se deben eliminar a través de un filtro de membrana. Con este método también se pueden determinar concentraciones más altas de nitrito diluyendo las muestras.	<i>Se prepara curva patrón comparativa de la absorción de patrones vs concentración de nitritos y se calcula esta concentración directamente a partir de la curva.</i>
Nitrógeno nitrato	Espectrométrico ultravioleta selectivo	Este método se utiliza solamente para seleccionar muestras con bajo contenido en materia orgánica como: aguas naturales incontaminadas y suministros de agua potable. Esta técnica se basa en la luz ultravioleta (UV), y se puede medir rápidamente la concentración de nitratos por la absorción de UV; como la materia orgánica y los nitratos reflejan diferente lectura, se debe de corregir la lectura de la absorción de los nitratos. Por lo anterior este método no es muy recomendable pero es útil para controlar los niveles de nitrato en sistemas de agua con un tipo constante de materia orgánica.	<i>Se compara el resultado contra una curva patrón.</i>

Continuación:

Parámetro	Método (s) aplicado (s)	Descripción	Forma de Cuantificar
Nitrógeno nitrato	Electrodo de nitrato	Este método tiene un rango de aplicación de 0.14 a 1,400 mg NO ₃ -N/l; consiste en un electrodo de ion nitrato que es un sensor selectivo el cual desarrolla un potencial a través de una membrana delgada, porosa e inerte, que se mantiene en posición en un intercambiador iónico en un líquido inmisible con agua.	La concentración de nitrato se lee a partir de la curva de calibrado
	Automatizado de reducción de cadmio	Con este método se puede determinar el nitrato o nitrito, aislados o juntos, en agua potable, superficial, salina y en aguas residuales domésticas e industriales, en un rango de 0.5 a 10 mg N/l. La turbidez de la muestra puede interferir y se elimina por filtrado antes del análisis, también interferirá el color de la muestra con absorbancia en el rango fotométrico utilizado para el análisis.	Concentración del nitrato con la comparación de la curva patrón.
Nitrógeno orgánico	Macro-Kjeldahl	Se aplica a las muestras que contienen concentraciones bajas o altas de nitrógeno orgánico, pero requiere un volumen de muestra relativamente amplio para las concentraciones bajas; consiste en expulsar el agua para dejar que el ácido sulfúrico concentrado ataque a la materia orgánica, con la digestión se forma una gran cantidad de humos blancos por la ebullición del ácido sulfúrico; al deshidratarse este ácido la materia orgánica se vuelve negra y la oxidación del carbón provoca que se formen burbujas pequeñas. La destrucción de la materia orgánica es completa cuando la solución es incolora, se debe de continuar por lo menos 20 minutos la digestión para clasificar las muestras y así asegurar la destrucción completa de la materia orgánica.	$\frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{ de N orgánico} = \frac{(A-B) \times 280}{\text{ml de muestra}}$ <p>Donde: <i>A</i> = ml de H₂SO₄ gastados por la muestra <i>B</i> = ml de H₂SO₄ gastados por el testigo</p>
	Semi-micro-Kjeldahl	Este método se aplica a muestras con concentraciones elevadas de nitrógeno orgánico; el volumen de muestra se debe elegir con la finalidad de que contenga nitrógeno orgánico y amoniacal (nitrógeno Kjeldahl) en el rango de 0.2 a 2 mg; consiste en seleccionar un volumen de muestra, en donde se elimina el amoníaco, y si no es necesario eliminar el amoníaco dependiendo el caso, se debe digerir las muestras directamente. La destilación tras esta digestión directa proporciona la concentración de nitrógeno Kjeldahl, en lugar del nitrógeno orgánico, la determinación final de amoníaco se mide por nesslerización, titulación o el método de electrodo selectivo de amoníaco.	<p style="text-align: center;">Nesslerización</p> $\frac{\text{mg NH}_3\text{-N}}{\text{l (51 ml volumen final)}} = \frac{A}{\text{ml muestra}} \times \frac{B}{C}$ <p>Donde: <i>A</i> = µg NH₃-N (51 ml volumen final) <i>B</i> = volumen total de destilado obtenido, ml, incluyendo el absorbente ácido <i>C</i> = volumen de destilado tomado para nesslerización, ml</p>

Continuación:

Parámetro	Método (s) aplicado (s)	Descripción	Forma de Cuantificar
Oxígeno disuelto (OD)	Yodométrico	Este método es considerado como el procedimiento titulométrico más exacto y fiable para analizar el oxígeno disuelto. Consiste en la adición de solución de manganeso divalente, seguido de álcali fuerte en una muestra contenida en un frasco con tapón de vidrio; en donde el oxígeno disuelto oxida una cantidad de manganeso en presencia de iones yoduro, la liberación de yodo es equivalente al contenido original del oxígeno, el punto final se puede observar con un indicador de almidón.	<i>Por titulación.</i>
	Electrodo de membrana	Este método es excelente para analizar el oxígeno disuelto en aguas contaminadas, muy coloreadas y diluyentes residuales fuertes. Consiste en sistemas de electrodos recubiertos de membrana ya que el elemento sensor está protegido por una membrana plástica permeable al oxígeno, que sirve como barrera de difusión frente a las impurezas. Por ser totalmente sumergibles, son adecuados para análisis <i>in situ</i> , y su fácil transportación, mantenimiento y funcionamiento, los hacen especialmente convenientes para aplicaciones de campo.	<i>En forma directa a través del sensor.</i>
pH	Electrométrico	Consiste en medir la actividad de los iones hidrógeno por mediciones potenciométricas con un medidor de pH, que conste de un potenciómetro, un electrodo de vidrio, un electrodo de referencia y un dispositivo para compensar la temperatura; el circuito se completa a través del potenciómetro cuando los electrodos se sumergen en la solución de la muestra.	$pH_x = pH_B \pm \frac{F(E_x - E_s)}{2.303 RT}$ <p>Donde: P_{H_x} = pH de la muestra medido Potenciométricamente F = Faraday 9.649×10^4 coulombios/mol E_x = muestra fem, V E_s = tampón fem, V R = constante del gas, 8.314 julio/(mol °K) T = temperatura absoluta, °K</p>

Continuación:

Parámetro	Método (s) aplicado (s)	Descripción	Forma de Cuantificar
Sulfuros	Volumétrico (Yodométrico)	Es el método más exacto y adecuado para la determinación de sulfuros en concentraciones aproximadas de 1 mg/l; consiste en que los sulfuros son liberados de la muestra acidificada a través de un gas inerte y colectados en una solución de acetato de zinc; se adiciona un exceso de yodo a la suspensión de sulfuro de zinc que reacciona con el sulfuro, bajo condiciones ácidas. El tiosulfato es usado para medir el yodo que no reaccione, indicando así la cantidad de yodo consumido por el sulfuro.	$\frac{mg}{l} S = \frac{(ml \text{ Yodo} - ml \text{ de } Na_2S_2O_3) \times 400}{ml \text{ de muestra}}$
Surfactantes	Por cancelación	Consiste en hacer pasar una corriente de nitrógeno por una columna que contenga la muestra y una capa de acetato de etilo por encima. El surfactante es absorbido en la interfase agua-gas de las burbujas y es transportado a la capa de acetato de etilo; el disolvente se separa, deshidrata y evapora, dejando el surfactante como un residuo adecuado para el análisis. Existen dos procedimientos para cuantificar el residuo de surfactante: surfactantes aniónicos como SAAM , estos surfactantes se encuentran dentro de las sustancias que muestran actividad al azul de metileno, el sulfonato de aquilbenceno lineal (SAL) es el surfactante aniónico más utilizado y se emplea para estandarizar el método; los resultados suelen expresarse por peso y se utiliza una curva de calibración (absorbancia frente a los microgramos de SAL tomados, especificando el peso molecular de SAL utilizado); y surfactantes no iónicos como SATC , los surfactantes no iónicos son activos a tiocianato de cobalto (SATC) dando un producto que contiene cobalto extraíble en un líquido orgánico en el cual se puede medir, para este procedimiento también se utiliza una curva de calibración (absorbancia frente a miligramos de no iónico de referencia).	<p>Surfactantes aniónicos como SAAM</p> <p>Léanse los microgramos de SAL aparente (mol peso) que corresponden a la absorbancia medida</p> $mg \frac{SAAM}{l} = \frac{\mu g \text{ SAL aparente}}{ml \text{ de muestra original}}$ <p>Surfactantes no iónicos como SATC</p> <p>En la curva de calibración léanse los miligramos del surfactante no iónico de referencia que correspondan a la absorbancia medida</p> $mg \frac{SATC}{l} = \frac{mg \text{ no iónico aparente}}{l \text{ muestra}}$

Los sulfuros en concentraciones de pocas décimas o cientos de mg/l causan un olor desagradable a huevos podridos. La eliminación del olor por sulfuros se lleva a cabo por medio de un tratamiento de aereación o cloración, son causantes también de corrosión en alcantarillas de concreto producida indirectamente por el desprendimiento de H₂S de aguas residuales industriales y domésticas. Altas concentraciones de sulfuros solubles (mayor de 100 mg/l), producen efectos tóxicos en procesos de tratamiento anaerobio.

El método yodométrico que sirve para analizar el oxígeno disuelto ofrece varias modificaciones, para reducir el efecto de interferencias. Entre los procedimientos más comúnmente utilizados, se encuentra la modificación de azida, la de permanganato, la floculación de alumbre y la floculación del sulfato de cobre-ácido sulfámico.

Tabla II.3 Parámetros biológicos

Los parámetros biológicos, a comparación de los físicos y los químicos, nos ayudan a los análisis bacteriológicos.

Parámetro	Método (s) aplicado (s)	Descripción	Forma de Cuantificar
Estreptococos fecales	Número más probable	Esta técnica nos sirve para la determinación de los estreptococos fecales y consiste en una prueba presuntiva y una confirmativa ; se basa en preparar diluciones de la muestra, inoculando con un medio (caldo-azida-dextrosa) e incubando a una temperatura de 35°C durante 24 y 48 hrs. Si no existe la presencia de sedimento o turbiedad después de la incubación se considera la prueba negativa y si es lo contrario se procede a la prueba confirmativa que consiste en transferir 3 azadas de los tubos positivos de la prueba presuntiva con un medio de azida violeta de etilo (AVE) e incubando a una temperatura de 35°C por 48 hrs. se obtiene un sedimento o turbiedad violeta se hace un frotis y se tiñe empleando la técnica de Gram y a través de un microscopio se observan las familias de cocos Gram.	<i>Comparativo con las tablas para coliformes.</i>
Grupo Coliforme	Tubos múltiples de fermentación	Esta técnica nos sirve para la determinación del grupo Coliforme y consiste en una prueba presuntiva, una confirmativa y una complementaria ; se basa en preparar diluciones de la muestra, inoculando con un medio (caldo lauril, sulfato de sodio) e incubando a una temperatura de 35°C durante 48 hrs. Si no existe la aparición de gas después de la incubación se considera la prueba negativa y si es lo contrario se procede a la prueba confirmativa que consiste en dos partes: la primera en tomar de los tubos que salieron positivos una pequeña muestra y transferirla a otro tubo en un medio (caldo bilis-lactosa-verde brillante) incubando a una temperatura de 35°C por 48 hrs. y en la segunda es sembrar una cantidad de muestra sobre cajas Petri, incubando a 35°C por 24 hrs. Si existe la aparición de gas o de colonias típicas del grupo Coliformes respectivamente se considera la prueba positiva y se procede a la última prueba que es la complementaria; se basa en sembrar y en incubar a una temperatura de 35°C durante 24 y 48 hrs. con un medio diferente dependiendo si son los tubos o en las cajas Petri, observando la presencia o ausencia de gas y se procede a tomar un poco de cultivo y se hace una coloración empleando la técnica Gram para observar por último la presencia de las bacterias Gram - Negativas.	<i>Aparición de bacterias Gram-Negativas.</i>

Continuación:

Parámetro	Método (s) aplicado (s)	Descripción	Forma de Cuantificar
Grupo Coliforme	Filtros de membrana	Es otra técnica que nos sirve para la determinación del grupo Coliforme (fecales y totales); consiste en colocar un disco filtrable estéril en un aparato de filtración, en el cual se coloca también una membrana (con unas pinzas para no contaminarla), se toma una muestra de menos de 100 ml en el caso de agua residual (los resultados se deben de expresar con 100 ml) agitándola y filtrándola sobre la membrana, posteriormente se quita y se coloca sobre una almohadilla absorbente que previamente se ha saturado con medio de cultivo (MF-ENDO), dentro de una caja Petri se encuba a una temperatura de 35°C durante 24 horas, esto permitirá que se desarrollen colonias en cualquier lugar donde hayan quedado bacterias atrapadas durante el proceso de filtrado, transcurrido el tiempo se efectúa el recuento de las colonias de organismos coliformes los cuales se caracterizan por un brillo metálico.	<i>En forma visual en recuento de colonias</i>
Residuos tóxicos agudos	Bioensayos (Ensayo biológico)	Esté método nos ayuda en el estudio de los materiales tóxicos; consiste en adoptar procedimientos de prueba que se ajusten a las condiciones locales empleando variedades de peces del área y otros animales acuáticos; y en obtener agua experimental del agua receptora, manteniendo las concentraciones necesarias de oxígeno disuelto por dos métodos: 1) por aereación en los recipientes de prueba ó 2) por la renovación de la solución de prueba a intervalos adecuados de tiempo, para adoptar alguno de estos dos métodos dependen de factores como: la volatilidad, inestabilidad, la posible desintoxicación del residuo que se prueba, condiciones de exposición como son la temperatura y los cambios de pH a diferentes concentraciones de los desechos. La población de prueba generalmente tiene un número de 10 peces menores de 3 pulgadas; se debe de suministrar la suficiente agua experimental para asegurar que exista 1 litro de fluido para no más de 2 g de peso de peces y los periodos de prueba son en general de 24 a 48 horas, pero frecuentemente duran hasta 96 horas.	<p style="text-align: center;">Limite medio de tolerancia</p> $\log TLM = \log c_2 + \frac{p_2 - 50}{p_2 - p_1} [\log c_1 - \log c_2]$ <p>Donde: <i>T_{Lm}</i> = concentración del residuo en un diluyente adecuado (agua experimental) en la que han sobrevivido el 50% de los organismos de prueba durante un tiempo especificado. <i>c</i> = concentración del residuo como porcentaje en volumen <i>p</i> = porcentaje de sobrevivencia de los organismos de prueba para un determinado periodo de prueba y los subíndices numéricos están relacionados a las observaciones que se encuentren más próximas a la sobrevivencia mediana (del 50%).</p>

Continuación:

Parámetro	Método (s) aplicado (s)	Descripción	Forma de Cuantificar
Huevos de Helminto	Técnica para la determinación y cuantificación de huevos de Helminto	<p>Esta técnica utiliza la combinación de los principios del método difásico y el de flotación, obteniendo un rendimiento del 90%, a partir de muestras artificiales contaminadas con huevos de helminto de áscaris; por lo que se basa en un concentrado y centrifugado de la muestra a través de la sedimentación y aspirado del sobrenadante. Consiste en preparar recipientes de 8 litros, desinfectándolos con cloro, enjuagándolos con agua destilada y agua potable a chorro, se toman 5 litros de la muestra y se dejan sedimentar (la sedimentación es 3 horas o toda la noche), posteriormente se aspira por vacío el sobrenadante sin agitar el sedimento, filtrándose este sobre un tamiz de 160 mm, recibiendo el filtrado en los mismos recipientes de 8 litros, por segunda ocasión se sedimenta y se aspira el sobrenadante al máximo, depositando el sedimento en una botella de centrifugada a 250 ml, e incluyendo de 2 a 3 enjuagues del recipiente de 8 litros, se centrifuga (400 g por 3 minutos), inclinando el sobrenadante por vacío (asegurándose de que exista la pastilla), y resuspendiendo la pastilla en 150 ml de ZnSO₄ con una densidad de 1.3, homogeneizando también la pastilla con un agitador automático o aplicador de madera, se centrifuga por segunda ocasión recuperándose el sobrenadante vertiéndolo en un frasco de 2 litros y diluyendo cuando menos en un litro de agua destilada, por última vez se sedimenta y se vuelve a aspirar al máximo vertiendo el líquido resultante en 2 tubos de centrifugada de 50 ml, lavando de 2 a 3 veces con agua destilada el recipiente de 2 litros, se vuelve a centrifugar por tercera vez (el centrifugado cambia de 480 g por 3 minutos), se reagrupan las pastillas en un tubo de 50 ml y se centrifuga (480 g por minuto), resuspendiendo la pastilla en 15 ml de alcohol-ácido y 10 ml de éter etílico, agitando suavemente y abriendo de vez en cuando los tubos para dejar escapar el gas. Por última vez de centrifuga (660 g por 3 minutos) y se aspira al máximo para dejar menos de 1 ml de líquido, homogeneizando la pastilla para proceder a cuantificar, por último se distribuye todo el sedimento en una celda de Sedwich-Rafter o bien en una cámara de conteo de Doncaster y realizando un barrido total al microscopio.</p>	<p>1. Para determinar los rpm de la centrifugada utilizada, la fórmula es:</p> $rpm = \sqrt{\frac{Kg}{r}}$ <p>Donde: <i>g</i>: fuerza relativa de centrifugación <i>K</i>: constante cuyo valor es 89,456 <i>r</i>: radio de la centrifugada en cm</p> <p>la fórmula para calcular <i>g</i> es:</p> $g = \frac{r(rpm)^2}{K}$ <p>2. Para expresar los resultados en números de huevecillos por litro, es importante tomar en cuenta volumen y tipo de la muestra analizada.</p>

Los metales pesados y cianuros se pueden determinar con las siguientes Normas Oficiales Mexicanas (NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-002-SEMARNAT-1996):

Tabla II.4 Metales pesados y cianuros

Parámetro	Método (s) aplicado (s)	Norma Mexicana Oficial
Determinación de Metales	Espectrofotométrico de absorción	Norma Mexicana NMX-AA-051
Arsénico	Espectrofotométrico	Norma Mexicana NMX-AA-046
Cadmio	Ditizona	Norma Mexicana NMX-AA-060
Cianuro	Colorimétrico y Titulométrico	Norma Mexicana NMX-AA-058
Cobre	Neocuproína	Norma Mexicana NMX-AA-066
Mercurio	Ditizona	Norma Mexicana NMX-AA-064
Plomo	Ditizona	Norma Mexicana NMX-AA-057
Zinc	Colorimétricos de la ditizona I, ditizona II y espectrofotometría de absorción atómica	Norma Mexicana NMX-AA-078

Los parámetros físicos, son adoptados en su mayor parte de acuerdo al contenido total de sólidos en sus diferentes variantes como materiales flotantes, productos disueltos y sustancias coloidales, ya que considerando el tamaño de las partículas estos parámetro prácticamente indican las operaciones físicas requeridas por el tratamiento, y con respecto a la materia orgánica coloidal y disuelta estos determinan, su composición y el tipo de proceso que el tratamiento que se requiere en las aguas residuales.

Los parámetros químicos y biológicos son más específicos a comparación de los físicos, y por consiguiente son más útiles para evaluar las condiciones en que se encuentran las aguas residuales.

III. PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO PARA EL DESARROLLO DE LAS PRUEBAS DE TRATABILIDAD.

Para la realización de una prueba es aconsejable seguir una serie de pasos para garantizar un correcto desarrollo, disminuyendo los errores y así obtener resultados más confiables.

Estos pasos van desde el inicio de la prueba, hasta la correcta lectura de los resultados, así como un control del registro de los mismos para su posterior interpretación. Una parte importante es el muestreo, por que desde este paso se puede modificar una muestra y por lo tanto la prueba.

Para llevar a cabo el control de un proceso es necesario establecer parámetros físicos químicos y bacteriológicos para poder realizar comparaciones de los resultados durante el análisis, lo cual permite detectar errores que pueden ser bastante significativos y que son fácilmente identificables al compararlos con las referencias de nuestros parámetros previamente establecidos.

Es muy importante contar con las condiciones óptimas en el laboratorio para elaborar una prueba, tanto de instalaciones como de equipo y material tal como se muestra en la Foto III.1.



Foto III.1 Laboratorio.

III.1 Metodología.

Dentro de una metodología a seguir se pueden mencionar los siguientes pasos:

- a) Selección de un proceso o un modelo para la realización de la prueba.
- b) Verificar la existencia del equipo y material.
- c) Calibración del equipo.
- d) Montaje del equipo.
- e) Muestreo.
- f) Desarrollo de la prueba.
- g) Control de mediciones.
- h) Análisis de resultados.
- i) Realización de un reporte.

a) Selección de un proceso o modelo para la realización de la prueba.

En las pruebas de tratabilidad de agua residual se pueden elegir entre varios procesos así como entre varios modelos que se pueden utilizar en el laboratorio. Esta elección dependerá de los parámetros de interés, de la eficiencia que ofrece cada proceso o modelo, las condiciones del laboratorio en cuanto a disponibilidad de equipo y tiempos.

Es importante conocer las ventajas y desventajas del modelo seleccionado, para lograr la mayor eficiencia y continuidad en el desarrollo de las pruebas; por ejemplo la mayor desventaja que presentan los reactores a escala (véase Foto III.2); es que son difíciles de estabilizar por lo que se tienen que hacer simulaciones de su funcionamiento.



Foto III.2 Modelo a escala.

b) Verificar la existencia del equipo y material.

Una vez realizada la selección de un proceso o modelo es necesario tener la seguridad de que el laboratorio dispone de todo lo necesario para poder realizar la prueba (véase Foto III.3); esto incluye instalaciones, el equipo diverso que se requiera para la prueba (véase Foto III.4); en caso de no disponer con algún equipo verificar si el laboratorio cuenta con relaciones con otros laboratorios de tal forma que alguno pueda prestar el equipo faltante.



Foto III.3 Instalaciones adecuadas.

También se debe de contar con material de cristalería, equipo, accesorios diversos, etc, considerando como:

- **Equipo.** Dentro de éste se considera la balanza analítica, con la que se pueden pesar los reactivos y cualquier otro material sólido. La estufa se utiliza para incrementar temperaturas, por ejemplo para la determinación de sólidos. Otros como; el medidor de pH, la bomba de vacío, la mufla, el oxímetro, la incubadora, aparato de reflujo, etc.



Foto III.4 Equipo de laboratorio.

- **Material.** Es necesario contar con toda la cristalería por utilizar; desde probetas, pipetas, matraces (de bola, Erlenmeyer, Quitazato, etc.), vasos de precipitado, botellas para DBO, desecador, agitadores, buretas, etc. Al realizar una práctica se puede requerir una gran variedad de material, además de un cantidad considerable de alguno de ellos (véase Foto III.5).



Foto III.5 Material de cristalería.

- **Reactivos.** Los reactivos deben de estar etiquetados, en recipientes apropiados, protegidos del polvo, de la humedad y considerando la incompatibilidad de algunos al contacto con otros (véase Foto III.6).



Foto III.6 Reactivos.

En cuanto a los reactivos a utilizar también se debe conocer con cuales cuenta el laboratorio y si es que se pueden utilizar para la prueba, si es que se puede disponer de ellos, es indispensable saber que cantidades existen de cada uno, de tal forma que sean suficientes para la realización de la prueba; en el caso de que no se puedan utilizar los reactivos del laboratorio o que no exista alguno de los que se necesitan, se pueden obtener por medio del mismo laboratorio a través de sus proveedores.

- **Accesorios diversos.** Es necesario contar con elementos adicionales de apoyo como son: soporte universal, embudos, diversos tipos de pinzas, pizetas, espátulas de acero inoxidable y plástico, crisoles, etc.

- **Condiciones de laboratorio.** Son muy importantes para el desarrollo de la prueba, debe haber disponibilidad de espacios como: estantes (véase Foto III.7); mesas de laboratorio, tarjas para el lavado de cristalería, material (véase Foto III.8), etc; también de instalaciones eléctricas, de agua, de aire comprimido, etc. Además debe de contar con las instalaciones y equipo especial para casos de emergencia.



Foto III.7 Disponibilidad de estantes.



Foto III.8 Tarja.

- **Agua destilada:** El agua destilada es importante para la preparación de soluciones, ya que se encuentra exenta de bióxido de carbono, amoníaco, cloro residual y cloruros los cuales podrían alterar los resultados obtenidos en el laboratorio. Es necesario saber que cantidades se utilizaran y con cuanta se dispone para prever alguna insuficiencia tal como se muestra en la Foto III.9.



Foto III.9 Agua destilada.

c) Calibración del equipo

Una parte muy importante en la preparación de una prueba es la calibración del equipo a utilizar ya que en gran medida la exactitud de las lecturas dependerá de una correcta calibración de cada equipo, ya sea por medio de las indicaciones existentes en manuales o por instrucciones del personal encargado del laboratorio.



Foto III.10 Balanza analítica.

d) Montaje del equipo

El siguiente paso es el montaje del equipo; en ello se debe tener cuidado para que el equipo trabaje tal como se espera y necesita, para lo cual también se debe apoyar en los manuales del equipo o de las indicaciones del personal del laboratorio.

Durante el montaje ya sea con el apoyo de manuales o del personal del laboratorio, es indispensable aclarar cualquier duda de su funcionamiento, ya que es muy importante tener pleno conocimiento de la forma de operar del equipo.

e) Muestreo

En el muestreo también existen varias recomendaciones para conservar el estado de las muestras lo menos alteradas posibles, estas van desde utilizar recipientes específicos, tomar la muestra sin que se de la entrada de burbujas que alteren el oxígeno contenido en el agua de interés, la transportación de las muestras, entre otras.

Las recomendaciones para un muestreo tienen como finalidad principal mantener las características de la muestra lo más fiel posible a las características contenidas en el punto de muestreo.

f) Desarrollo de la prueba

Esto se realiza al haber completado los pasos anteriores; el desarrollo de la prueba será en los tiempos y con el equipo que se requiera de acuerdo a la selección del proceso y modelo para la prueba, manteniendo una continuidad durante la prueba, asegurándose del correcto funcionamiento del equipo, del constante suministro de las muestras, tener listos los reactivos necesarios, mantener las temperaturas exactas, dar los tiempos necesarios, etc.

g) Control de mediciones

El control de mediciones tiene que ver con el registro de las lecturas y mediciones. Para llevar un buen control, es recomendable hacer uso de formatos, ya sean los que se manejan en el laboratorio o tablas específicamente diseñadas para la prueba que se esté realizando (véase Tabla III.1 y Tabla III.2); esto con el fin de garantizar un orden y una correcta recopilación de la información obtenida durante la prueba, con lo que se facilite su posterior manejo; además de estas se recomienda manejar una bitácora o un cuaderno de notas para hacer registros o comentarios que al final o incluso durante la prueba misma pueden ser de utilidad.

DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)				
MUESTRA	LECTURA ENTRADA	DQO (mg/l)	LECTURA SALIDA	DQO (mg/l)
BLANCO	-	-	-	-
DILUIDA	-	-	-	-
DILUIDA	-	-	-	-
CONCENTRADA	-	-	-	-
CONCENTRADA	-	-	-	-

Tabla III.1 Tabla tipo para registros de DQO.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO ₅)								
NUM. DE BOTELLA	TEMP. °C	OXIGENO DISUELTO INICIAL 0.1 mg/l	OXIGENO DISUELTO FINAL 0.1 mg/l	DBO 0.1 mg/l	TEMP. °C	OXIGENO DISUELTO INICIAL 0.01 mg/l	OXIGENO DISUELTO FINAL 0.01 mg/l	DBO ₅ 0.01 mg/l
ENTRADAS								
1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-
PROMEDIO				-				-
SALIDAS								
1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-
PROMEDIO				-				-

Tabla III.2 Tabla tipo para registros de DBO₅.

h) Análisis de resultados

Al concluir el desarrollo de la prueba se procede al análisis de los resultados, este paso resulta mucho más fácil y rápido si se realizó un buen control durante la prueba; este puede ser algo tan simple como la comparación de los resultados con los parámetros ya conocidos o ser sólo el primer paso para el cálculo de otros valores de interés; en cualquiera de los casos, es muy importante haber realizado una prueba de calidad para poder tener plena confianza en los resultados, siendo estos el final de la prueba o para poder iniciar otro proceso.

i) Realización de un reporte

Este paso procede cuando se da por concluido el análisis de los resultados, ya sea de los datos directos de la prueba o de un posterior resultado por el proceso de los mismos.

IV. APLICACIÓN EN LABORATORIO DE UNA PRUEBA DE TRATABILIDAD DE AGUAS RESIDUALES.

Para el desarrollo de la prueba, se requirió un modelo a escala de un reactor de mezcla completa con recirculación de lodos, construido con material de acrílico (véase Foto IV.1), el cual cuenta para su funcionamiento: de un tubo que está conectado a un difusor, que permite el ingreso del aire en la cámara de aireación para la recirculación de los lodos; un deflector ajustable que sirve para la separación de las cámaras de aireación y de sedimentación, dos tubos conductores de alimentación que van del agua residual al reactor, y un vertedor por donde se produce el efluente (véase Figura IV.1).

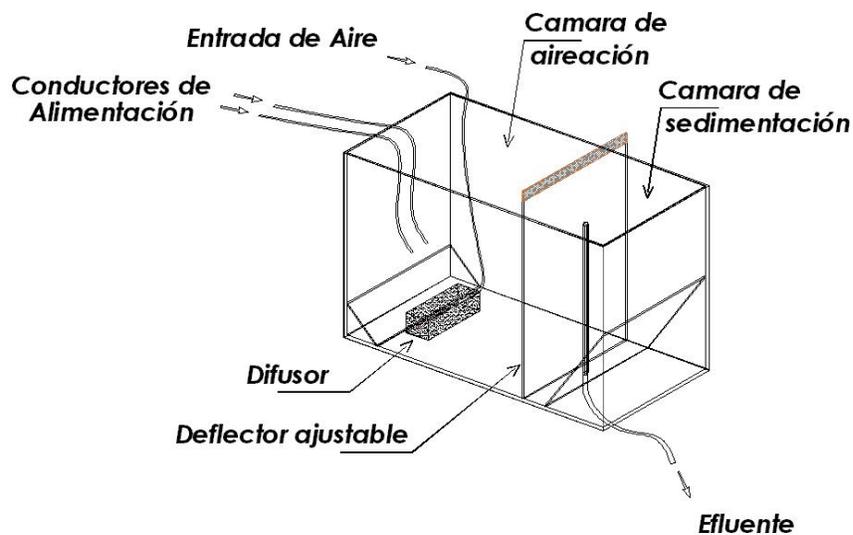


Figura IV.1 Componentes del reactor.



Foto IV.1 Reactor de acrílico a escala.

- Las dimensiones generales del reactor son:

Alto : 29.3 cm

Ancho: 18 cm

Largo: 47.8 cm

- Área de la base del reactor:

$$\text{Área} = 0.478 (0.18) = \underline{\underline{0.08604 \text{ m}^2}}$$

- Volumen total del reactor:

$$V_{\text{tot}} = 0.478 (0.18) \times (0.293) = 0.0252 \text{ m}^3 = \underline{\underline{25.21 \text{ lt}}} \quad \text{VOLUMEN TOTAL SIN CONSIDERAR HUECOS}$$

Calculo de los volúmenes de los huecos del reactor:

$$A_{H1} = \frac{0.04 (0.042)}{2} = 0.00084 \text{ m}^2 ; \quad V_{H1} = 0.00084 (0.18) = \underline{\underline{0.0001512 \text{ m}^3}}$$

$$A_{H2} = \frac{0.085 (0.14)}{2} = 0.00595 \text{ m}^2 ; \quad V_{H2} = 0.00595 (0.18) = \underline{\underline{0.001071 \text{ m}^3}}$$

$$V_{H1} + V_{H2} = 0.0001512 \text{ m}^3 + 0.001071 \text{ m}^3 = \underline{\underline{0.001222 \text{ m}^3}} \quad \text{VOLUMEN DE LOS HUECOS}$$

$$V_{\text{sin huecos}} = 0.0252 - 0.001222 = 0.23978 \text{ m}^3 = 23.9778 \text{ lt} \sim \underline{\underline{24 \text{ litros}}} \quad \text{CAPACIDAD TOTAL DEL REACTOR.}$$

En la siguiente Figura IV.2, se indican las dimensiones del reactor.

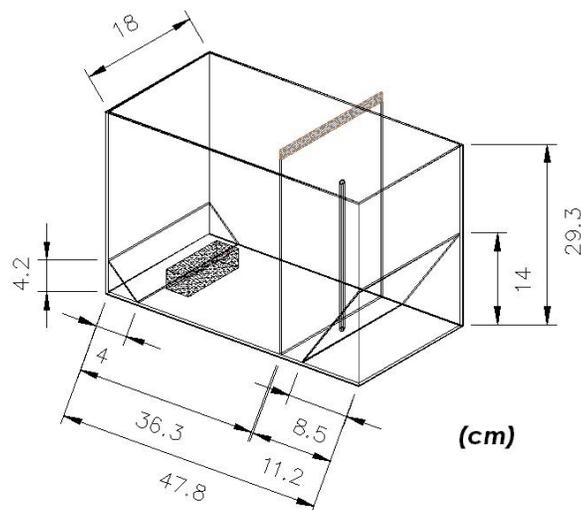


Figura IV.2 Dimensiones generales del reactor.

- **Volumen de operación del reactor:**

El reactor se tuvo que estabilizar previamente simulando su operación, para determinar su volumen en base a un tiempo de retención seleccionado de acuerdo a los parámetros de diseño para los procesos de lodos activados y con los que se obtuvo un gasto. Este gasto se obtuvo por medio de una bomba peristáltica con doble cabezal, ajustando su velocidad de operación mediante aforos (el arreglo final se muestra en la Foto IV.2).

Al estar el reactor estable se tomó una altura de los lodos de 18.38 cm, para sacar el volumen en que se trabajaría (véase Figura IV.3).

$$V_{\text{operación}} = 0.478 (0.18) \times (0.1838) = 0.0146 \text{ m}^3 = \mathbf{14.6 \text{ lt}}$$

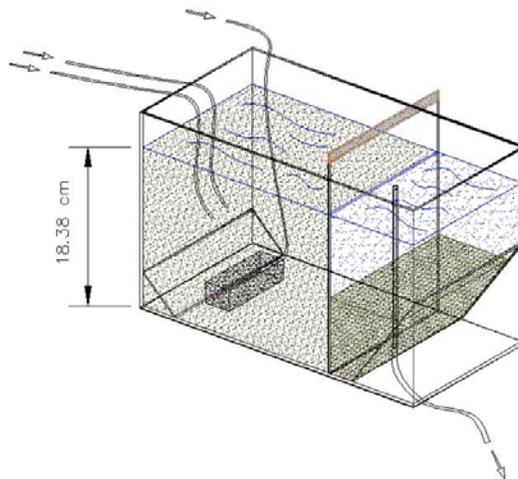


Figura IV.3 Nivel del agua en operación.



Foto IV.2 Volumen de operación del reactor.

De acuerdo a lo anterior, para la operación del reactor se agregó un volumen de 14.6 litros de lodos, inyectando aire para la recirculación de los mismos, se alimentó al reactor las 24 horas al día a través de los dos tubos conductores de alimentación que estaban conectados a una bomba peristáltica de doble cabezal que trabajó con un gasto $Q = 30 \text{ ml/min}$ con la que se extraía el agua residual de un bote con capacidad de 50 litros (véase Foto IV.3).

Parte de la estabilización del reactor fue ajustar el deflector para regular el flujo de agua residual y así permitir la sedimentación de los lodos.

- Cálculo del gasto con el que operó la bomba peristáltica:

$$Q = \frac{14.6}{8} \cdot 1.825 \text{ lt/hr} = \mathbf{43.8 \text{ lt/24 hrs}}$$

30.5 ml/min ~ **30 ml/min**

GASTO DE LA BOMBA PERISTALTICA .



Foto IV.3 Funcionamiento del reactor.

IV.1 Descripción de las pruebas.

El agua residual que se utilizó fue del influente de la Planta de tratamiento de Ciudad Universitaria, la cual fue analizada en el laboratorio del Departamento de Ingeniería Ambiental de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, simulando el proceso de lodos activados. Al utilizar este proceso, se ejecutaron pruebas de tratabilidad tipo Batch teniendo como finalidad obtener valores de los parámetros que reflejan la concentración y condición del agua residual, las pruebas abarcaron las fases básicas, aireación y sedimentación (véase Foto IV.4). En lo que respecta a los lodos y agua residual que se utilizaron en el laboratorio se tomaron del cárcamo de lodos y del canal de entrada de la planta.

Para llevar el control del proceso fue necesario identificar parámetros físicos y químicos para su análisis, que permitieran definir el comportamiento de las aguas residuales domésticas durante un periodo de ensayo de 15 días, con la finalidad de generar información respecto al grado de contaminación del agua. Los parámetros seleccionados para el influente y efluente fueron:

1. Temperatura.
2. Sólidos sedimentables (S_{Se}).
3. Sólidos suspendidos totales o no filtrables (S_{ST}).
4. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
5. Demanda química de oxígeno (DQO).
6. pH.

Estas pruebas se realizaron en tres semanas y el periodo comprendido fue del 29 de Abril al 16 de Mayo de 2003, por cada semana se muestreo de dos a tres días.



Foto IV.4 Funciones básicas, aireación y sedimentación.

IV.1.1 Descripción de la prueba. Temperatura.

El concepto de temperatura se refiere a la propiedad termodinámica que determina la existencia o inexistencia de equilibrio térmico entre dos o más sistemas. Esta propiedad influye notablemente en las características físicas y bioquímicas de los cuerpos contenidos en el agua. Es por esto que es importante su determinación en cualquier intento de evaluar la calidad de las aguas.

La determinación de la temperatura se mide en forma directa, se tomó por medio de un termómetro, tanto del influente y del efluente del reactor (véase Foto IV.5).

Equipo y Material

Termómetro, con escala a cada 0.1 °C sobre el tubo capilar.

Procedimiento.

- I. Se coloca el termómetro en la muestra representativa que se tomó del reactor del influente y efluente.

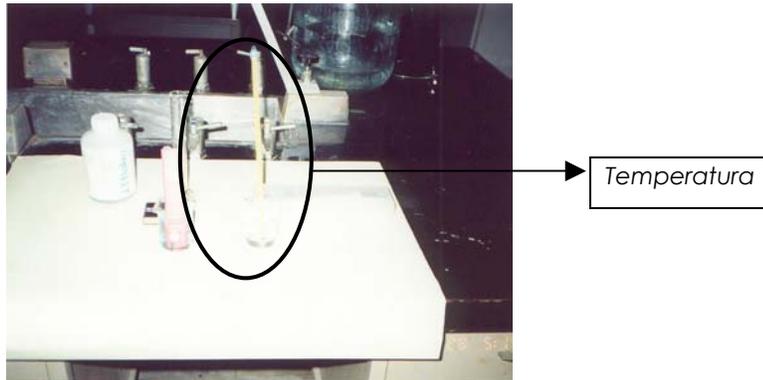


Foto IV.5 Termómetro en la muestra.

- II. La temperatura se tomó diariamente, durante el periodo de realización de las pruebas de laboratorio (véase Foto IV.6).



Foto IV.6 Lectura de las temperaturas.

IV.1.2 Descripción de la prueba. Sólidos Sedimentables (S_{Se}).

Para determinar el parámetro de los sólidos sedimentables del agua residual, el método que se utilizó fue el de los conos Imhoff, el cual consiste en llenar los conos de un litro de capacidad tanto del influente y del efluente, esperando primero un tiempo de 45 minutos permitiendo que se sedimenten los sólidos para si frotar las paredes suavemente; y después transcurrido un segundo tiempo de 15 minutos se mide en forma directa la cantidad de los mismos, apoyándose a través de la graduación de los conos.

Equipo y Material

2 conos Imhoff

Soporte para conos Imhoff

Agitador

Procedimiento.

- I. Se llenó cada uno de los conos con el agua residual del influente del reactor, no considerando el efluente por la escasa presencia de sólidos. Antes de tomar el agua residual para los conos se agitaba para tomar una muestra representativa de sólidos sedimentables del agua que se estaba analizando; esperando un primer tiempo de 45 minutos, permitiendo la sedimentación de los sólidos en el fondo de los conos (véase Foto IV.7).

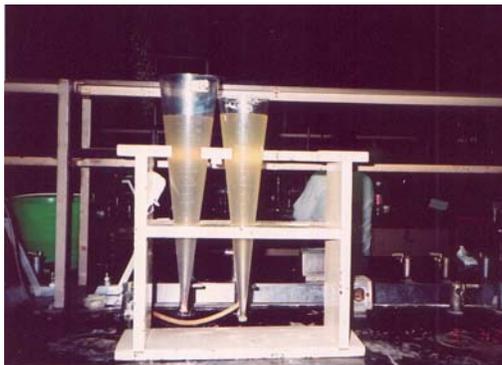


Foto IV.7 Sedimentación de los sólidos en los conos Imhoff.

- II. Después de haber transcurrido los primeros 45 minutos, se frotaron las paredes suavemente de los conos con un agitador de vidrio durante 2 a 3 minutos, para desprender los sólidos sedimentables adheridos.

- III. Se dejó transcurrir 15 minutos después de haber hecho lo anterior; se midió en forma directa los sólidos sedimentables a través de la graduación que tienen los conos Imhoff como se muestra en la Foto IV.8.

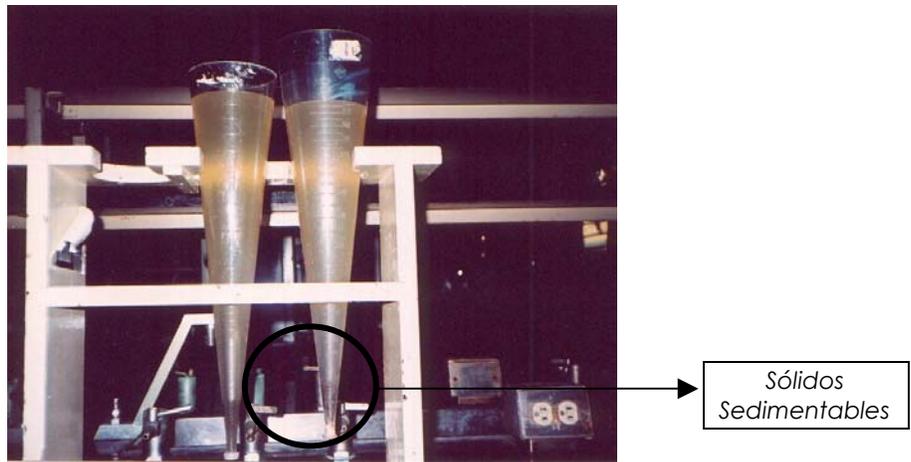


Foto IV.8 Lectura de los sólidos sedimentables.

IV.1.3 Descripción de la prueba. Sólidos Suspendidos o no Filtrables (SST).

La determinación de sólidos suspendidos o no filtrables es extremadamente valiosa en los análisis de aguas residuales. Es uno de los parámetros usados para valorar la concentración de sólidos de las aguas residuales domésticas.

El método que se utiliza para la determinación de los sólidos suspendidos, se basa en pesar un crisol Gooch con un filtro en una balanza analítica y en el cual se filtró 50 ml de agua residual tanto del influente y del efluente, posteriormente se ponen en la mufla con una temperatura de 103 – 105 °C durante una hora y después de haberse enfriado, se pesa de nuevo en la balanza para obtener los miligramos del residuo.

Equipo y Material

Mufla	Bomba de vacío
Estufa	Matraz quitazato
Balanza analítica	Pizeta
Desecador	Agua destilada
Crisoles Gooch	Probetas de 50 ml
Filtros	Vasos de precipitados 100 ml
Pinzas para crisoles Gooch y filtros	Alargadera

Procedimiento

- I. Para conseguir un peso constante de los crisoles Gooch, se colocaron dentro de la mufla a una temperatura de 800 a 900 °C durante tres horas (véase Foto IV.9); después se pasaron a la estufa a una temperatura de 120 °C por una hora para bajar la misma.

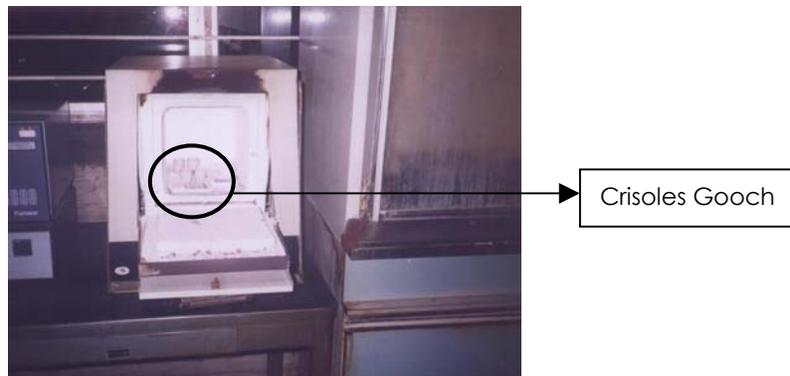


Foto IV.9 Obtención del peso constante de los crisoles Gooch.

- II. Los crisoles Gooch se colocaron en un desecador para que bajara totalmente la temperatura y para que no se contaminaran (véase Foto IV.10).



Foto IV.10 Desecador con crisoles Gooch.

- III. Los filtros se colocaron en cada uno de los crisoles Gooch y se pesaron por medio de la balanza analítica. Los filtros y los crisoles Gooch deben de manipularse con pinzas para no contaminarlos (véase Foto IV.11).



Foto IV.11 Peso de los crisoles Gooch con el filtro.

- IV. En la bomba de vacío, se conectó un matraz quitazato, en este se colocó una alargadera y dentro de ella el crisol Gooch con el filtro, de la forma en que se muestra en la Foto IV.12, por medio de una pizeta se mojaba un poco el filtro con agua destilada, con la finalidad de que se adhiriera el filtro en el crisol Gooch, evitando así que se filtren sólidos por los bordes al pasar el agua residual muestra.



Foto IV.12 Equipo para obtener los sólidos.

- V. Se tomaron 5 muestras tanto del influente y efluente, de 25 ml los cuales se filtraron a través del crisol Gooch con el filtro y la bomba de vacío provocaba la succión dejando en el filtro los sólidos suspendidos o no filtrables (véase Foto IV.3).



Foto IV.13 Obtención de los sólidos suspendidos.

- VI. Por medio de las pinzas se tomaron los crisoles Gooch y se colocaron en la estufa para secarlos a una temperatura a 103-105 °C por una hora (véase Foto IV.14).



Foto IV.14 Sólidos colocados en la estufa a una temperatura de 103-105 °C.

- VII. Después de haber transcurrido una hora, los crisoles Gooch se trasladaron al desecador con las pinzas para evitar que se contaminaran, y que en este descendieran su temperatura (véase Foto IV.15).



Foto IV.15 Crisoles Gooch en desecadores para no contaminarlos.

- VIII. Después de haberse enfriado, los crisoles Gooch, se pesaron de nuevo a través de la balanza analítica para obtener el peso de los residuos del influente y del efluente (véase Foto IV.16).



Foto IV.16 Peso de los sólidos.

- IX. Por último para obtener los sólidos suspendidos totales o no filtrables de las muestras, se obtienen a través de la siguiente fórmula. Los cálculos se reflejan en el capítulo 5 de resultados.

$$\frac{mg \text{ de SST}}{l} = \frac{mg \text{ de muestra} \times 1000}{ml \text{ de muestra}}$$

IV.1.4 Descripción de la prueba. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

La DBO se utiliza para determinar la contaminación de desechos domésticos e industriales en términos del oxígeno disuelto; y se utiliza también para evaluar la capacidad de purificación de un cuerpo receptor o la eficiencia de una planta de tratamiento.

En esta prueba se determinó el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto final; este último se obtuvo después de un período de incubación de 5 días naturales; el método para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno, consiste en llenar una botella para DBO con 6 ml de agua de la muestra y aforando con una preparación de nutrientes hasta los 300 ml; dicha botella debe permanecer herméticamente sellada y se incuba a una temperatura de 20 °C durante el periodo de incubación. Otro de los métodos utilizados para obtener el oxígeno disuelto es el método de Winkler, sin embargo en este trabajo se realizó con un equipo de medición directa, Oxímetro.

Equipo y Material

Vasos de precipitado de 100 ml
Pipetas volumétricas de 4 ml y 2 ml
Botellas para DBO de 300 ml
Matraz de bola de 100 ml
Incubadora
Oxímetro
Plástico adherible
Garrafón con agua destilada
Pizeta
Balanza analítica

Reactivos

Sulfato de magnesio
Cloruro de calcio
Cloruro férrico
Fosfato de potasio (Dibásico)
Fosfato de potasio (Monobásico)
Fosfato de sodio (Dibásico)
Cloruro de amonio

Procedimiento.**I. Elaboración de nutrientes.**

Se prepararon cuatro nutrientes para la prueba de la demanda bioquímica de oxígeno; los cuales se realizaron diluyendo los reactivos, las cantidades de cada uno de ellos se obtuvo empleando la balanza analítica (véase Foto IV.17), en agua destilada previamente aireada con las siguientes cantidades:

- I.1** Sulfato de magnesio: se preparó con 2.25 gr y se aforó en un matraz de bola a 100 ml.
- I.2** Cloruro de calcio: se preparó con 2.75 gr y se aforó en un matraz de bola a 100 ml.
- I.3** Cloruro férrico: se preparó con 0.025 gr y se aforó en un matraz de bola a 100 ml.
- I.4** Y el cuarto nutriente se compone de: fosfato de potasio (Dibásico), fosfato de potasio (Monobásico), fosfato de sodio (Dibásico) y cloruro de amonio, se preparó con 2.175 gr, 0.85 gr, 3.34 gr y 0.177 gr respectivamente y se aforó todo en un matraz de bola a 100 ml de agua destilada.



Foto IV.17 Peso de los reactivos.

- II. Se agregó una cantidad proporcional de los cuatro nutrientes al agua destilada, antes de agregarlos el agua estuvo aireándose por más de 2 hr (véase Foto IV.18).



Foto IV.18 Nutrientes.

- III. Utilizando pipetas volumétricas de 2 ml y 4 ml se maneja el 2% (6 ml de agua residual) de dilución del agua residual por cada botella de 300 ml y se aforó, evitando que al agregarle los nutrientes entraran burbujas de aire que alteraran el contenido de oxígeno en cada una de las muestras. Se prepararon 5 botellas del influente y 5 del efluente del reactor (véase Foto IV.19).

La dilución es necesaria para conducir la demanda de oxígeno y proporcionar un balance adecuado.



Foto IV.19 Llenado de las botellas con el agua destilada con nutrientes.

- IV. Una vez llenadas las botellas del influente y efluente se procedió a medir el oxígeno disuelto inicial (véase Foto IV.20), utilizando el Oxímetro; el cual cuenta con dos escalas de 1 o 2 decimales de precisión.



Foto IV.20 Lecturas del oxígeno disuelto inicial.

- V. Después de haber tomado las lecturas iniciales del oxígeno disuelto, y para poner las botellas de DBO en incubación, fue necesario colocar un sello, al cual se le conoce como **SELLO HIDRÁULICO**, que consiste en llenar la botella al borde, colocando su tapa y procurando no derramar, sellando por medio de una cubierta de plástico, la que se adhiere a la botella evitando la pérdida de la cantidad de muestra colocada durante el periodo de incubación. Se incubaron las 10 botellas a 20 °C de temperatura, por el periodo de cinco días naturales (véase Foto IV.21), procurando que el sello hidráulico permaneciera por el periodo indicado y a la temperatura especificada.



Foto IV.21 Incubación.

- VI. Después de haber terminado el periodo de cinco días naturales de incubación se tomaron las lecturas del oxígeno disuelto final del influente y efluente en las dos escalas disponibles (véase Foto IV.22).



Foto IV.22 Lecturas del oxígeno disuelto final.

- VII. Por último para obtener los valores de la DBO_5 de las muestras, se obtienen a través de la siguiente fórmula. Los cálculos se reflejan en el capítulo 5 de resultados.

$$DBO_5 \text{ mg/l} = \frac{D_1 - D_2}{\% \text{ dilución}} \times 100$$

Donde:

D_1 = Oxígeno disuelto de la muestra diluida inmediatamente después de la preparación, mg/l.

D_2 = Oxígeno disuelto de la muestra diluida inmediatamente después de 5 días de incubación a 20 °C, mg/l.

IV.1.5 Descripción de la prueba. Demanda Química de Oxígeno (DQO).

La demanda química de oxígeno es otro parámetro importante y rápido para determinar el grado de contaminación. Su mayor ventaja es la rapidez con que se efectúa, ya que se necesitan 3 horas como máximo para su valoración, en lugar de los 5 días naturales que se requiere para medir la demanda bioquímica de oxígeno.

El método se basa fundamentalmente en reacciones de óxido-reducción ya que la mayor parte de la materia orgánica se oxida en presencia del dicromato de potasio en medio ácido. El dicromato que no se reduce, se titula con sulfato ferroso amoniacal, así se determina la cantidad de dicromato consumido; y la cantidad de materia orgánica oxidable, se calculó en términos de oxígeno equivalente.

Equipo y Material

Vasos de precipitado de 100 ml
Probetas de 50 y 10 ml
10 Matraz de boca esmerilada de 250 ml
Aparato de reflujo
Balanza analítica
Parrilla de calentamiento
Soporte universal
Bureta
Matraz Erlenmeyer
Pipetas
Perlas de ebullición

Reactivos

Sulfato de mercurio
Dicromato de potasio
Ácido sulfúrico
Sulfato de plata
Sulfato ferroso amoniacal
Indicador ferroín

Procedimiento.**I. Elaboración de reactivos:**

- I.1 Solución estándar de dicromato de potasio 0.025 N:** se preparó con 6.1295 gr y se aforó en un matraz de bola a 500 ml. El dicromato de potasio se colocó en la estufa por dos horas a una temperatura de 103 °C para quitarle el agua.
- I.2 Solución estándar de sulfato ferroso amoniacal 0.25 N:** se preparó con 49 gr y se aforó en un matraz de bola a 100 ml y se agregó 10 ml de ácido sulfúrico y se aforó a 500 ml. Para la preparación de esta solución primero se mezcló el reactivo con el agua y al último el ácido sulfúrico.
- I.3 Solución de indicador ferroín:** se preparó con 1.485 gr de fenantrolina monohidratada, 6.95 gr de sulfato ferroso amoniacal y se aforó con un matraz de bola a 100 ml.
- I.4 Solución de ácido sulfúrico y sulfato de plata:** se preparó con un litro de ácido sulfúrico y se agregó 11 gr de sulfato de plata. Esta solución se dejó reposar por dos días en los cuales el sulfato se diluyó completamente.

Los reactivos se pesaron utilizando la balanza analítica (véase Foto IV.23).



Foto IV. 23 Peso de los reactivos.

II. Valoración del sulfato ferroso amoniacal.

- II.1 Se tomó 5 ml de dicromato de potasio y se diluyó con 45 ml de agua destilada en un matraz Erlenmeyer.
- II.2 Se añadió 15 ml de ácido sulfúrico concentrado y después de enfriamiento a temperatura ambiente se agregó de 2 a 3 gotas del indicador ferroín (véase Foto IV.24).
- II.3 Por último se tituló con sulfato ferroso amoniacal y se calculó la normalidad con la siguiente ecuación.

$$\frac{VK_2Cr_2O_7NK_2Cr_2O_7}{V(Fe(NH_4)_2(SO_4)_2)} = N(Fe(NH_4)_2(SO_4)_2)$$



Foto IV.24 Valoración del sulfato ferroso amoniacal.

- III. Las muestras que se consideraron para la determinación de la DQO, del influente y efluente fueron las siguientes:
- III.1 **Muestras concentradas:** Se preparó con 20 ml de agua residual y se agregó 5 ml de dicromato de potasio en un matraz de boca esmerilada de 250 ml.
- III.2 **Muestras diluidas:** Se preparó con 2 ml de agua residual y se aforo a 18 ml para obtener 20 ml de muestra diluida y se agregó 5 ml de dicromato de potasio en un matraz de boca esmerilada de 250 ml.
- III.3 **Blanco:** Se preparó con 20 ml de agua destilada y se agregó 5 ml de dicromato de potasio en un matraz de boca esmerilada de 250 ml.
- IV. Se elaboró 4 muestras del influente y efluente por cada uno respectivamente, por lo que fueron 10 en total considerando 2 concentradas, 2 diluidas y 1 blanco (véase Foto IV.25).

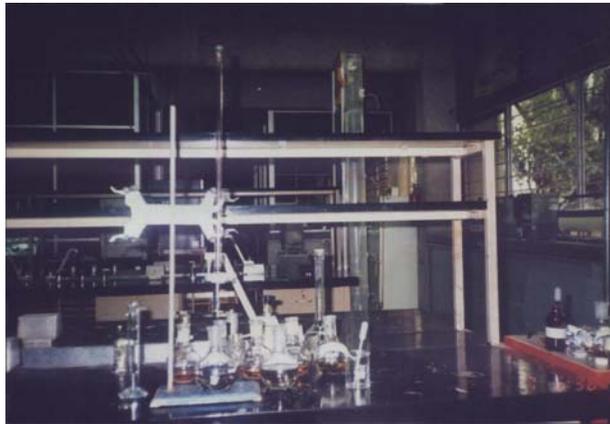


Foto IV.25 Muestras concentradas, diluidas y blanco.

- V. A cada muestra se agregó 0.4 gr de sulfato de mercurio (HgSO_4), para eliminar la interferencia de cloruros.
- VI. Se agregó también en cada una de las muestras perlas de ebullición para el control de la misma.
- VII. Con una pipeta se adicionó 30 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) con sulfato de plata (Ag_2SO_4), este último funciona como un catalizador.
- VIII. Se colocaron las 10 muestras en el aparato de reflujo en el cual a través de los matraces circula el agua de enfriamiento (véase Foto IV.26).



Foto IV.26 Muestras colocadas en el aparato de reflujo.

- IX. La parrilla de calentamiento se conecta y se deja reflujo durante 2 horas a partir de que empieza la ebullición (véase Foto IV.27).



Foto IV.27 Muestras en ebullición.

- X. Después de las 2 horas se retiró cada una de las muestras y se enfrió en baño de agua hasta temperatura ambiente.
- XI. Se agregaron 2 gotas de indicador ferroín, para poder titular las muestras (véase Foto IV.28).



Foto IV.28 Indicador ferroín.

- XII. Se tituló el exceso de $K_2Cr_2O_7$ con sulfato ferroso amoniacal 0.025 N (véase Foto IV.29).



Foto IV.29 Titulación de las muestras.

- XIII. El punto final de la reacción se obtuvo cuando el indicador se tornó café. La secuencia de colores en el matraz fue (véase Foto IV.30):

Anaranjado - Verde – Azul - Café

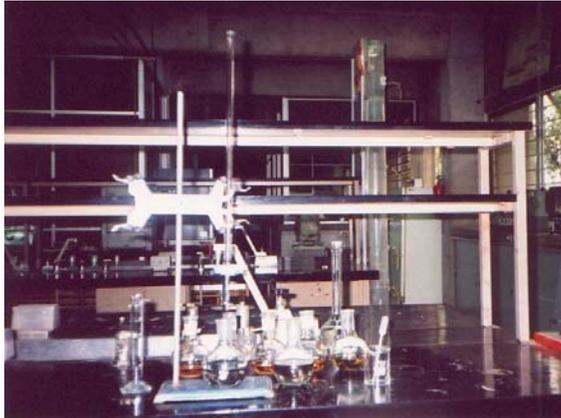


Foto IV.30 Secuencia del color de las reacciones.

- XIV. Por último para obtener los valores de la DQO, de las muestras se obtienen a través de la siguiente fórmula. Los cálculos se reflejan en el capítulo 5 de resultados.

$$DQO \text{ mg / l} = \frac{(a - b) N (8000)}{\text{ml de muestra}}$$

Donde:

a = ml de $Fe (NH_4)_2 (SO_4)_2$, requeridos para titular el blanco.
b = ml de $Fe (NH_4)_2 (SO_4)_2$, requeridos para titular la muestra.
N = Normalidad del $Fe (NH_4)_2 (SO_4)_2$, (calculada).

IV.1.6 Descripción de la prueba. pH.

En el tratamiento de aguas residuales y desechos industriales en el que se emplean procesos biológicos, el pH debe ser controlado dentro de un ámbito favorable a los microorganismos. Tanto un pH elevado como bajo puede ser perjudicial ocasionando la muerte de los peces y la esterilidad general en corrientes naturales, e inactivando los microorganismos esenciales en los procesos de tratamiento de aguas residuales. Los valores extremos de pH en aguas residuales se eliminan por neutralización.

El aparato que se utilizó fue un medidor de pH el cual se calibra con una solución buffer (véase Foto IV.31), para que después de haberse calibrado se pueda tomar las lecturas de pH del influente y efluente del reactor.

Equipo y Material

Potenciómetro

Reactivos

Solución Buffer para calibrar

Procedimiento.

- I. Se calibró el potenciómetro con una de las soluciones buffer, la solución que se utilizó fue la de pH 8 considerando que entraba en el rango del pH de las aguas residuales domésticas.



Foto IV.31 Calibración del medidor de pH con solución Buffer.

- II. Después de haber calibrado el potenciómetro se sumerge por un minuto en las muestras para medir en forma directa el pH del influente y efluente (véase Foto IV.32).

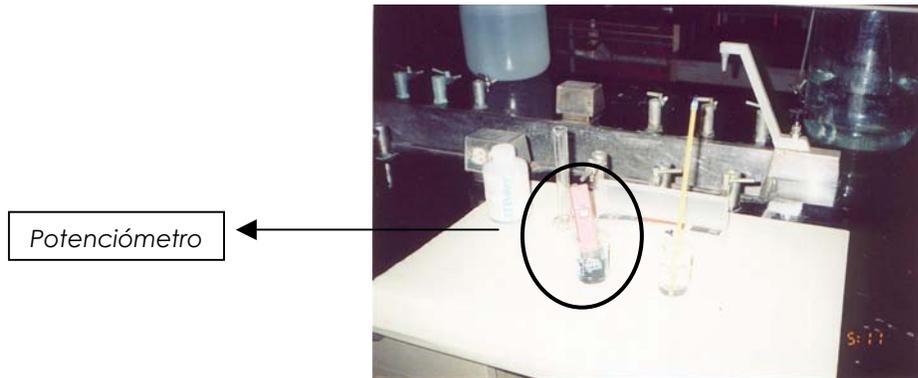


Foto IV.32 Lectura del pH.

V. RESULTADOS.

Para la correcta utilización de cualquier información obtenida de forma práctica, la manera en que se realiza el registro de la misma es muy importante. Por tal motivo, durante el desarrollo de la prueba de laboratorio, se hizo un ordenamiento de los datos obtenidos por medio de tablas, los cuales se utilizaron para llevar un control de las lecturas realizadas durante la prueba, con lo que se facilitó el manejo de la información y su presentación en este capítulo. La información se presenta agrupada por fecha de registro.

V.1 Ordenamiento de los resultados.

El agua residual utilizada durante la prueba contenía muy pocos sólidos sedimentables y a la salida del reactor la cantidad de sólidos era prácticamente nula, es por eso que solo se registraron en la entrada.

La aparición de valores tan altos en los registros obtenidos de la demanda química de oxígeno, en comparación con los valores promedio, se puede presentar cuando en el proceso de obtención las muestras, éstas reaccionan antes de tiempo, o incluso cuando el material no se encuentra limpio.

Por el tiempo requerido para la obtención de la DBO_5 y por el tiempo disponible en el laboratorio para la realización de las pruebas, no fue posible tener un registro de DBO_5 en cada una de las fechas que aquí se presentan.

Tablas V.1 Reporte de lecturas. Martes 29 de Abril 2003.

TEMPERATURA	
ENTRADA 22 °C	SALIDA 21 °C

pH	
ENTRADA 8.2	SALIDA 8.1

SÓLIDOS SEDIMENTABLES (S _{Se})	CONO 1 (ml)	CONO 2 (ml)	PROMEDIO
ENTRADA	2.5	3	2.75

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES O NO FILTRABLES (SST)				
NUMERO DE CRISOL	W1	W2	W3	SST
ENTRADAS				
1	16.2128	16.216	0.0031	*0.155
2	23.5313	23.534	0.0028	0.140
3	16.2801	16.283	0.0026	0.130
4	23.0518	23.054	0.0025	0.125
5	18.9971	19.000	0.0028	0.140
PROMEDIO				0.134
SALIDAS				
1	15.6525	15.654	0.0013	0.065
2	17.2986	17.300	0.0012	0.060
3	23.7229	23.724	0.0011	0.055
4	16.8073	16.809	0.0015	0.075
5	16.5396	16.542	0.0021	*0.105
PROMEDIO				0.064

* Valores fuera del rango, no se consideran en el promedio.

W1= Peso del crisol y filtro

W3 = W2 - W1

W2= W1 + sólidos del agua residual

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)				
MUESTRA	LECTURA ENTRADA	DQO (mg/l)	LECTURA SALIDA	DQO (mg/l)
BLANCO	92.8	-	85.2	-
DILUIDA	80.6	131.76	83.8	15.12
DILUIDA	83.2	103.68	80.1	55.08
CONCENTRADA	79.8	140.40	82.1	33.48
CONCENTRADA	72.7	217.08	81.5	39.96

Tablas V.2 Reporte de lecturas. Miércoles 30 de Abril 2003.

TEMPERATURA	
ENTRADA 22 °C	SALIDA 21.5 °C

pH	
ENTRADA 8.3	SALIDA 8

SÓLIDOS SEDIMENTABLES (SSe)	CONO 1 (ml)	CONO 2 (ml)	PROMEDIO
ENTRADA	2	2.2	2.10

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES O NO FILTRABLES (SSt)				
NUMERO DE CRISOL	W1	W2	W3	SST
ENTRADAS				
1	15.5045	15.508	0.0032	0.160
2	27.8732	27.876	0.0028	0.140
3	22.9704	22.973	0.0026	0.130
4	24.6540	24.657	0.0027	0.135
5	26.2545	26.258	0.0038	*0.190
PROMEDIO				0.141
SALIDAS				
1	21.6945	21.6953	0.0008	0.04
2	17.0228	17.0237	0.0009	0.045
3	23.7283	23.7287	0.0004	0.02
4	17.1296	17.1301	0.0005	0.025
5	9.543	9.5438	0.0008	0.04
PROMEDIO				0.031

*Valores fuera del rango, no se consideran en el promedio.

W1= Peso del crisol y filtro

W3 = W2 - W1

W2= W1 + sólidos del agua residual

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)				
MUESTRA	LECTURA ENTRADA	DQO (mg/l)	LECTURA SALIDA	DQO (mg/l)
BLANCO	96.9	-	82	-
DILUIDA	91.6	572.40	72.4	-
DILUIDA	95	205.20	71.5	-
CONCENTRADA	94.3	280.80	79.8	237.60
CONCENTRADA	94.7	237.60	80.2	194.40

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅)								
NUM. DE BOTELLA	TEMP. °C	OXÍGENO DISUELTOS INICIAL 0.1 mg/l	OXÍGENO DISUELTOS FINAL 0.1 mg/l	DBO 0.1 mg/l	TEMP. °C	OXÍGENO DISUELTOS INICIAL 0.01 mg/l	OXÍGENO DISUELTOS FINAL 0.01 mg/l	DBO ₅ 0.01 mg/l
ENTRADAS								
1	22.7	3.6	0.9	135	22.5	3.54	0.91	131.5
2	22.6	3.6	0.9	135	22.3	3.56	0.96	130
3	22.5	3.6	0.3	165	22.3	3.59	0.33	163
4	22.5	3.5	0.4	155	22.4	3.49	0.45	152
5	23.2	3.6	0.5	155	22.5	3.59	0.56	151.5
PROMEDIO				149				145.6
SALIDAS								
1	22.7	3.4	1.7	85	22.6	3.43	1.69	87
2	22.5	3.3	1.9	70	22.3	3.27	1.88	69.5
3	22.6	3.5	1.3	110	22.7	3.45	1.33	106
4	22.7	3.5	1.4	105	22.5	3.48	1.42	103
5	22.8	3.2	1.8	70	22.4	3.19	1.85	67
PROMEDIO				88				86.5

Tabla V.3 Reporte de lecturas. Viernes 2 de Mayo 2003.

TEMPERATURA	
ENTRADA 21 °C	SALIDA 21 °C

pH	
ENTRADA 8	SALIDA 8.1

SÓLIDOS SEDIMENTABLES (S _{Se})	CONO 1 (ml)	CONO 2 (ml)	PROMEDIO
ENTRADA	2	2.3	2.15

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES O NO FILTRABLES (SST)				
NUMERO DE CRISOL	W1	W2	W3	SST
ENTRADAS				
1	27.870	27.8710	0.0011	0.055
2	26.250	26.2517	0.0016	0.080
3	23.725	23.7285	0.0040	0.200
4	16.211	16.2116	0.0010	0.050
5	18.994	18.9986	0.0046	*0.230
PROMEDIO				0.096
SALIDAS				
1	22.662	22.6619	0.0004	0.020
2	13.289	13.2891	0.0005	0.025
3	21.623	21.6260	0.0030	*0.150
4	15.605	15.6056	0.0003	0.015
5	18.530	18.5320	0.0024	0.120
PROMEDIO				0.045

*Valores fuera del rango, no se consideran en el promedio.

W1= Peso del crisol y filtro

W3 = W2 - W1

W2= W1 + sólidos del agua residual

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅)								
NUM. DE BOTELLA	TEMP. °C	OXÍGENO DISUELTO INICIAL 0.1 mg/l	OXÍGENO DISUELTO FINAL 0.1 mg/l	DBO 0.1 mg/l	TEMP. °C	OXÍGENO DISUELTO INICIAL 0.01 mg/l	OXÍGENO DISUELTO FINAL 0.01 mg/l	DBO ₅ 0.01 mg/l
ENTRADAS								
1	22.4	3.3	1.1	110	23.1	3.38	1.13	112.5
2	22	3.1	1.2	95	23	3.11	1.23	94
3	22.3	3.2	1.3	95	22.8	3.17	1.28	94.5
4	22.1	3.7	1.8	95	22.9	3.69	1.79	95
5	22.3	3.3	1.4	95	23	3.26	1.43	91.5
PROMEDIO				98				97.5
SALIDAS								
1	21.9	3.1	1.7	70	22.8	3.11	1.72	69.5
2	22.9	3.2	1.5	85	22.8	3.19	1.53	83
3	21.9	3.6	1.3	115	23.2	3.59	1.31	114
4	22.3	3.4	1.8	80	22.9	3.45	1.86	79.5
5	22.6	3.3	1.7	80	22.9	3.34	1.75	79.5
PROMEDIO				86				85.1

Tabla V.4 Reporte de lecturas. Miércoles 7 de Mayo 2003.

TEMPERATURA	
ENTRADA 23 °C	SALIDA 23 °C

pH	
ENTRADA 8.2	SALIDA 8.1

SÓLIDOS SEDIMENTABLES (Sse)	CONO 1 (ml)	CONO 2 (ml)	PROMEDIO
ENTRADA	1.5	2	1.75

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES O NO FILTRABLES (SST)				
NUMERO DE CRISOL	W1	W2	W3	SST
ENTRADAS				
1	27.4821	27.483	0.0010	0.050
2	16.8403	16.841	0.0005	0.025
3	25.1426	25.144	0.0010	0.050
4	16.3026	16.304	0.0009	0.045
5	18.9992	19.000	0.0007	0.035
PROMEDIO				0.041
SALIDAS				
1	23.5318	23.533	0.0012	*0.06
2	15.1433	15.1439	0.0006	0.03
3	15.642	15.6425	0.0005	0.025
4	23.0529	23.0538	0.0009	0.045
5	17.3014	17.3019	0.0005	0.025
PROMEDIO				0.031

*Valor fuera del rango, no se considera en el promedio.

W1= Peso del crisol y filtro

W3 = W2 - W1

W2= W1 + sólidos del agua residual

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)				
MUESTRA	LECTURA ENTRADA	DQO (mg/l)	LECTURA SALIDA	DQO (mg/l)
BLANCO	112	-	89	-
DILUIDA	59	572.40	84	54.00
DILUIDA	86.2	278.64	84	54.00
CONCENTRADA	65.2	505.44	85.1	42.12
CONCENTRADA	97.5	156.60	88	10.80

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅)								
NUM. DE BOTELLA	TEMP. °C	OXÍGENO DISUELTO INICIAL 0.1 mg/l	OXÍGENO DISUELTO FINAL 0.1 mg/l	DBO 0.1 mg/l	TEMP. °C	OXÍGENO DISUELTO INICIAL 0.01 mg/l	OXÍGENO DISUELTO FINAL 0.01 mg/l	DBO ₅ 0.01 mg/l
ENTRADAS								
1	23.7	3.3	1.2	105	22.5	3.28	1.17	105.5
2	23.6	3.5	2.1	70	22.4	3.49	2.17	66
3	23.5	3	1.3	85	22.5	2.99	1.28	85.5
4	23.5	3.3	1.8	75	22.3	3.35	1.79	78
5	23.7	3.1	1.1	100	22.5	3.15	1.08	103.5
PROMEDIO				87				87.7
SALIDAS								
1	23.7	3.4	2.2	60	22.3	3.43	2.23	60
2	23.5	3.3	2.7	30	22.5	3.27	2.74	26.5
3	23.6	3.4	2.8	30	22.6	3.41	2.83	29
4	23.7	3.3	2.3	50	22.5	3.27	2.28	49.5
5	23.8	3.2	2.1	55	22.7	3.25	2.13	56
PROMEDIO				45				44.2

Tabla V. 5 Reporte de lecturas. Jueves 8 de Mayo 2003.

TEMPERATURA	
ENTRADA 23 °C	SALIDA 24 °C

pH	
ENTRADA 8.4	SALIDA 8.3

SÓLIDOS SEDIMENTABLES (S _{Se})	CONO 1 (ml)	CONO 2 (ml)	PROMEDIO
ENTRADA	4.5	1.6	3.05

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES O NO FILTRABLES (SST)				
NUMERO DE CRISOL	W1	W2	W3	SST
ENTRADAS				
1	17.1315	17.138	0.0063	0.315
2	17.0256	17.032	0.0061	0.305
3	16.5405	16.547	0.0067	0.335
4	24.6535	24.655	0.0014	*0.070
5	21.6983	21.703	0.0043	0.215
PROMEDIO				0.292
SALIDAS				
1	16.2156	16.2165	0.0009	0.045
2	15.6549	15.6552	0.0003	0.015
3	23.7307	23.7312	0.0005	0.025
4	27.8741	27.8753	0.0012	0.06
5	28.8774	28.8797	0.0023	*0.115
PROMEDIO				0.036

*Valores fuera del rango, no se consideran en el promedio.

W1= Peso del crisol y filtro

W3 = W2 - W1

W2= W1 + sólidos del agua residual

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)				
MUESTRA	LECTURA ENTRADA	DQO (mg/l)	LECTURA SALIDA	DQO (mg/l)
BLANCO	98.9	-	84.3	-
DILUIDA	79.4	210.60	83.7	64.80
DILUIDA	78.8	217.08	82.5	194.40
CONCENTRADA	84.1	159.84	83.9	43.20
CONCENTRADA	87.7	120.96	84.1	21.60

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅)								
NUM. DE BOTELLA	TEMP. °C	OXÍGENO DISUELTO INICIAL 0.1 mg/l	OXÍGENO DISUELTO FINAL 0.1 mg/l	DBO 0.1 mg/l	TEMP. °C	OXÍGENO DISUELTO INICIAL 0.01 mg/l	OXÍGENO DISUELTO FINAL 0.01 mg/l	DBO ₅ 0.01 mg/l
ENTRADAS								
1	23.1	3.4	0.4	150	21.9	3.36	0.43	146.5
2	23.2	3.4	0.8	130	22.8	3.43	0.87	128
3	23.1	3.5	0.7	140	21.8	3.48	0.77	135.5
4	22.8	3.4	0.4	150	21.8	3.46	0.46	150
5	23.2	3.2	0.5	135	21.8	3.23	0.58	132.5
PROMEDIO				141				138.5
SALIDAS								
1	22.9	3.4	1.6	90	21.7	3.45	1.65	90
2	23.1	3.5	1.8	85	21.9	3.49	1.81	84
3	23.2	3.4	1.6	90	21.7	3.43	1.64	89.5
4	23	3.4	1.7	85	21.8	3.38	1.72	83
5	23.2	3.3	1.7	80	21.9	3.31	1.68	81.5
PROMEDIO				86				85.6

Tabla V.6 Reporte de lecturas. Viernes 9 de Mayo 2003.

TEMPERATURA	
ENTRADA 22 °C	SALIDA 23 °C

pH	
ENTRADA 8.1	SALIDA 8.1

SÓLIDOS SEDIMENTABLES (S _{Se})	CONO 1 (ml)	CONO 2 (ml)	PROMEDIO
ENTRADA	1.5	0.5	1.0

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES O NO FILTRABLES (SST)				
NUMERO DE CRISOL	W1	W2	W3	SST
ENTRADAS				
1	16.8372	16.841	0.0039	0.195
2	27.4778	27.481	0.0033	0.165
3	17.9455	17.950	0.0044	0.220
4	28.8714	28.881	0.0097	*0.485
5	15.1387	15.143	0.0040	0.200
PROMEDIO				0.195
SALIDAS				
1	27.8699	27.871	0.0011	0.055
2	26.2501	26.2518	0.0017	*0.085
3	23.7245	23.7256	0.0011	0.055
4	16.2106	16.2115	0.0009	0.045
5	18.994	18.9945	0.0005	0.025
PROMEDIO				0.045

*Valores fuera del rango, no se consideran en el promedio.

W1= Peso del crisol y filtro

W3 = W2 - W1

W2= W1 + sólidos del agua residual

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)				
MUESTRA	LECTURA ENTRADA	DQO (mg/l)	LECTURA SALIDA	DQO (mg/l)
BLANCO	96.6	-	78.3	-
DILUIDA	88.2	90.72	77.1	-
DILUIDA	89.4	77.76	78.2	10.80
CONCENTRADA	95.8	8.64	77.8	54.00
CONCENTRADA	97.6	-	79.7	-

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅)								
NUM. DE BOTELLA	TEMP. °C	OXÍGENO DISUELTO INICIAL 0.1 mg/l	OXÍGENO DISUELTO FINAL 0.1 mg/l	DBO ₅ 0.1 mg/l	TEMP. °C	OXÍGENO DISUELTO INICIAL 0.01 mg/l	OXÍGENO DISUELTO FINAL 0.01 mg/l	DBO ₅ 0.01 mg/l
ENTRADAS								
1	21.4	3.6	0.6	150	22.7	3.55	0.63	146
2	22.1	3.5	0.8	135	21.6	3.48	0.84	132
3	22	3.4	0.7	135	23	3.35	0.72	131.5
4	22	3.4	0.6	140	22.8	3.42	0.69	136.5
5	21.9	3.5	0.6	145	22.8	3.53	0.66	143.5
PROMEDIO				141				137.9
SALIDAS								
1	22.2	3.7	1.9	90	22.7	3.67	1.88	89.5
2	21.4	3.6	1.6	100	22.6	3.62	1.67	97.5
3	21.3	3.5	1.8	85	22.7	3.56	1.86	85
4	22	3.4	1.9	75	22.9	3.35	1.89	73
5	21.9	3.5	1.7	90	22.7	3.48	1.76	86
PROMEDIO				88				86.2

Tabla V.7 Reporte de lecturas. Miércoles 13 de Mayo 2003.

TEMPERATURA		pH	
ENTRADA 21 °C	SALIDA 21 °C	ENTRADA 8.2	SALIDA 8.1

SÓLIDOS SEDIMENTABLES (S _{Se})	CONO 1 (ml)	CONO 2 (ml)	PROMEDIO
ENTRADA	1.5	1.9	1.70

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES O NO FILTRABLES (SST)				
NUMERO DE CRISOL	W1	W2	W3	SST
ENTRADAS				
1	27.8698	27.874	0.0042	0.210
2	18.9994	19.006	0.0065	0.325
3	21.6971	21.700	0.0024	0.120
4	23.0531	23.056	0.0025	0.125
5	23.7292	23.731	0.0019	*0.095
PROMEDIO				0.195
SALIDAS				
1	16.8399	16.8403	0.0004	0.02
2	23.5327	23.5342	0.0015	0.075
3	26.2558	26.2588	0.003	*0.150
4	17.301	17.3019	0.0009	0.045
5	15.6544	15.6559	0.0015	0.075
PROMEDIO				0.054

*Valores fuera del rango, no se consideraron en el promedio.

W1= Peso del crisol y filtro

W3 = W2 - W1

W2= W1 + sólidos del agua residual

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)				
MUESTRA	LECTURA ENTRADA	DQO (mg/l)	LECTURA SALIDA	DQO (mg/l)
BLANCO	115.2	-	97.8	-
DILUIDA	94.6	222.48	99.4	-
DILUIDA	101.6	146.88	92.6	56.16
CONCENTRADA	96.8	198.72	90.4	79.92
CONCENTRADA	92.3	247.32	84	149.04

Tabla V.8 Reporte de lecturas. Jueves 14 de Mayo 2003.

TEMPERATURA	
ENTRADA 23 °C	SALIDA 22 °C

pH	
ENTRADA 8.3	SALIDA 8

SÓLIDOS SEDIMENTABLES (S _{Se})	CONO 1 (ml)	CONO 2 (ml)	PROMEDIO
ENTRADA	5.2	4.8	5.0

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES O NO FILTRABLES (SST)				
NUMERO DE CRISOL	W1	W2	W3	SST
ENTRADAS				
1	16.7647	16.765	0.0007	0.035
2	16.2162	16.219	0.0025	0.125
3	24.6553	24.657	0.0014	0.070
4	17.9402	17.949	0.0092	*0.460
5	16.5402	16.543	0.0025	0.125
PROMEDIO				0.089
SALIDAS				
1	23.7243	23.7244	1E-04	0.005
2	21.9484	21.9485	1E-04	0.005
3	17.024	17.0244	0.0004	*0.020
4	16.2832	16.2833	1E-04	0.005
5	15.6428	15.6431	0.0003	0.015
PROMEDIO				0.008

*Valores fuera del rango, no se consideran en el promedio.

W1= Peso del crisol y filtro

W3 = W2 - W1

W2= W1 + sólidos del agua residual

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)				
MUESTRA	LECTURA ENTRADA	DQO (mg/l)	LECTURA SALIDA	DQO (mg/l)
BLANCO	72.9	-	68	-
DILUIDA	67.4	59.40	63.4	49.68
DILUIDA	68.1	51.84	67.4	6.48
CONCENTRADA	67.7	56.16	63.3	50.76
CONCENTRADA	66.3	71.28	66.71	13.93

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅)								
NUM. DE BOTELLA	TEMP. °C	OXÍGENO DISUELTO INICIAL 0.1 mg/l	OXÍGENO DISUELTO FINAL 0.1 mg/l	DBO ₅ 0.1 mg/l	TEMP. °C	OXÍGENO DISUELTO INICIAL 0.01 mg/l	OXÍGENO DISUELTO FINAL 0.01 mg/l	DBO ₅ 0.01 mg/l
ENTRADAS								
1	21.5	3.6	0.9	135	21.4	3.57	0.97	130
2	22.1	3.4	0.9	125	21.9	3.42	0.96	123
3	22	3.3	0.8	125	21.5	3.33	0.78	127.5
4	21.9	3.5	0.9	130	21	3.48	0.86	131
5	21.8	3.4	0.7	135	21.7	3.47	0.69	139
PROMEDIO				130				130.1
SALIDAS								
1	21.5	3.5	1.4	105	21.6	3.52	1.47	102.5
2	21.7	3.4	1.4	100	21.6	3.45	1.43	101
3	21.3	3.6	1.5	105	21.5	3.59	1.51	104
4	21.4	3.5	1.2	115	20.9	3.55	1.27	114
5	21.5	3.6	1.5	105	21.5	3.58	1.53	102.5
PROMEDIO				106				104.8

Tablas V.9 Reporte de lecturas. Viernes 16 de Mayo 2003.

TEMPERATURA	
ENTRADA 23 °C	SALIDA 22 °C

pH	
ENTRADA 8.1	SALIDA 8.1

SÓLIDOS SEDIMENTABLES (S _{Se})	CONO 1 (ml)	CONO 2 (ml)	PROMEDIO
ENTRADA	0.5	0.5	0.5

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES O NO FILTRABLES (SST)				
NUMERO DE CRISOL	W1	W2	W3	SST
ENTRADAS				
1	22.971	22.9749	0.0035	0.175
2	16.810	16.8128	0.0028	0.140
3	17.131	17.1328	0.0023	0.115
4	9.546	9.5467	0.0007	0.035
5	28.878	28.8818	0.0043	*0.215
PROMEDIO				0.116
SALIDAS				
1	25.1421	25.1428	0.0007	0.035
2	9.0153	9.0178	0.0025	*0.125
3	15.5059	15.5078	0.0019	0.095
4	16.3012	16.3036	0.0024	0.12
5	15.1436	15.145	0.0014	0.07
PROMEDIO				0.080

*Valores fuera del rango, no se consideran en el promedio.

W1= Peso del crisol y filtro

W3 = W2 - W1

W2= W1 + sólidos del agua residual

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)				
MUESTRA	LECTURA ENTRADA	DQO (mg/l)	LECTURA SALIDA	DQO (mg/l)
BLANCO	71	-	60	-
DILUIDA	68	32.40	58	21.60
DILUIDA	69.3	18.36	58.7	14.04
CONCENTRADA	67.5	37.80	59.4	6.48
CONCENTRADA	67.8	34.56	58.9	11.88

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅)								
NUM. DE BOTELLA	TEMP. °C	OXÍGENO DISUELTO INICIAL 0.1 mg/l	OXÍGENO DISUELTO FINAL 0.1 mg/l	DBO ₅ 0.1 mg/l	TEMP. °C	OXÍGENO DISUELTO INICIAL 0.01 mg/l	OXÍGENO DISUELTO FINAL 0.01 mg/l	DBO ₅ 0.01 mg/l
ENTRADAS								
1	21.3	3.5	0.7	140	22.6	3.55	0.53	151
2	21.9	3.4	0.8	130	21.7	3.48	0.84	132
3	21.8	3.5	0.6	145	23	3.45	0.72	136.5
4	21.9	3.5	0.7	140	22.7	3.43	0.69	137
5	21.7	3.4	0.6	140	22.9	3.45	0.66	139.5
PROMEDIO				139				139.2
SALIDAS								
1	22.4	3.6	1.7	95	22.7	3.57	1.78	89.5
2	21.4	3.7	1.9	90	22.9	3.72	1.92	90
3	21.5	3.4	1.8	80	22.7	3.46	1.83	81.5
4	22	3.5	1.6	95	22.6	3.53	1.64	94.5
5	21.6	3.6	1.9	85	22.7	3.68	1.93	87.5
PROMEDIO				89				88.6

Finalmente se presenta una tabla resumen de la información obtenida.

Tabla V.10 Tabla resumen de los valores obtenidos.

FECHA	TIEMPO Hr		TEMPERATURA °C	pH	DQO mg/l	*DBO ₅ mg/l	*SSe ml/l	*SST mg/l
29/04/03	16:00 A 20:30	E	22	8.2	D 131.76 D 103.68 C 140.40 C 217.08	-	2.75	0.134
		S	21	8.1	D 15.12 D 55.08 C 33.48 C 39.96	-	/	0.064
30/04/03	16:00 A 20:30	E	22	8.3	D 572.40 D 205.20 C 280.80 C 237.60	145.60	2.10	0.141
		S	21.5	8.0	D - D - C 237.60 C 194.40	86.50	/	0.031
02/05/03	16:00 A 20:30	E	21	8.0	D - D - C - C -	97.50	2.15	0.096
		S	21	8.1	D - D - C - C -	81.50	/	0.045
07/05/03	16:00 A 20:30	E	23	8.2	D 572.40 D 278.64 C 505.44 C 156.60	87.70	1.75	0.041
		S	23	8.1	D 54.00 D 54.00 C 42.12 C 10.80	44.20	/	0.031
08/05/03	16:00 A 20:30	E	23	8.4	D 210.60 D 217.08 C 159.84 C 120.96	138.50	3.05	0.292
		S	24	8.3	D 64.80 D 194.40 C 43.20 C 21.60	85.60	/	0.036
09/05/03	16:00 A 20:30	E	22	8.1	D 90.72 D 77.76 C 8.64 C -	137.90	1.0	0.195
		S	23	8.1	D 10.80 D 54.00 C - C -	86.20	/	0.045

*Valores Promedio

Continuación:

FECHA	TIEMPO hr		TEMPERATURA °C	pH	DQO mg/l	*DBO5 mg/l	*SSe ml	*SST mg SST/l
13/05/03	16:00 A 20:30	E	21	8.2	D 222.48 D 146.88 C 198.72 C 247.32	-	1.70	0.195
		S	21	8.1	D - D 56.16 C 79.92 C 149.04	-	/	0.054
14/05/03	16:00 A 20:30	E	23	8.3	D 59.40 D 51.84 C 56.16 C 71.28	130.10	5.0	0.089
		S	22	8.0	D 49.68 D 6.48 C 50.76 C 13.93	104.80	/	0.008
16/05/03	16:00 A 20:30	E	23	8.1	D 32.40 D 18.36 C 37.80 C 34.56	139.20	0.5	0.116
		S	22	8.1	D 21.60 D 14.04 C 6.48 C 11.88	88.60	/	0.080

*Valores Promedio

Para los valores de DQO, las letras D y C representan si las muestras fueron diluidas o concentradas.

Los sólidos sedimentables, solo se tomaron a la entrada.

V.2 Análisis estadístico y evaluación de resultados.

Con la información obtenida de las pruebas de laboratorio, se realizó un comparativo de acuerdo a lineamientos establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas y en bibliografía sobre el tema.

Dentro de las normas NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-002-SEMARNAT-1996, en las cuales se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes, tanto en descargas residuales en aguas y bienes nacionales como en descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal respectivamente, están marcados los rangos para los parámetros de pH, SSe, SST y DBO₅:

NOM-001-SEMARNAT-1996:

- **USO PUBLICO URBANO**(Descarga en Ríos)

pH	5 – 10	
SSe	2 (ml/l)	Promedio Diario
SST	125 (mg/l)	Promedio Diario
DBO₅	150 (mg/l)	Promedio Diario

- **USO PUBLICO URBANO**(Descarga a Embalses Naturales y Artificiales)

pH	5 –10	
SSe	2 (ml/l)	Promedio Diario
SST	60 (mg/l)	Promedio Diario
DBO₅	60 (mg/l)	Promedio Diario

NOM-002-SEMARNAT-1996:

Esta norma habla solo del potencial de Hidrógeno, en cuanto a los demás parámetros se menciona que se tome en cuenta los rangos marcados en la norma NOM-001- SEMARNAT -1996.

pH	5.5 - 10
-----------	----------

RESULTADO DE PARAMETROS MEDIDOS EN PTARCU :

	Afluente	Efluente
pH	7-9	7-8
SST (mg/l)	120-150	15-20
DQO (mg/l)	150-250	25-40
DBO₅ (mg/l)	80-120	10-20

Del cuadro 2.3 Características Promedio de Aguas Residuales Municipales por Tamaño de Población (López Ruiz, 2000), se marcan valores promedio para los parámetros SSe y DQO:

Número de Habitantes	DQO(mg/l)	SSe(ml/l)
2,500 - 10,000	698	9
10,000 - 20,000	719	5
20,000 - 50,000	609	8
50,000 - 100,000	430	3
Promedio	614	6

Realizando un comparativo de los rangos mencionados con la información obtenida por la prueba de laboratorio se pueden hacer las siguientes observaciones:

- El pH de las muestras en promedio es de 8.15, el cual esta dentro del rango marcado por la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, y comparando con los valores de la planta de tratamiento, el pH es ligeramente alto.
- Los sólidos suspendidos totales son mínimos a la entrada, lo que provoca que en la salida sean prácticamente nulos, esto hace que sean incomparables con los rangos de la norma NOM-001-SEMARNAT-1996. En cuanto a los valores obtenidos por la planta de tratamiento, se puede notar que esta no se encontraba operando de forma regular, por que los sólidos que se obtenían de las muestras eran prácticamente nulos.
- Los valores de la demanda bioquímica de oxígeno son mayores tanto al promedio de las normas como al rango marcado en los resultados de la planta de tratamiento, lo cual se debe en gran parte por el tipo de proceso que se simulo en el laboratorio, lo que significaría hacer ajustes en el modelo o seleccionar uno diferente.
- En cuanto a los sólidos sedimentables, no se pueden comparar con el rango marcado en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, por que esta se refiere a valores para descarga y los sólidos obtenidos fueron a la entrada, resultando muy bajos, lo que provoco que en la salida prácticamente no existieran sólidos.
- Por último la demanda química de oxígeno también son menores a los valores promedio indicados en la bibliografía.

En general los valores obtenidos en el laboratorio resultaron ser menores a los valores marcados en las normas y en la bibliografía, lo cual podría deberse a varios factores tales como el tipo de muestreo ya que de este dependerá la cantidad de materia en la muestra, la época en que se realizaron los muestreos por que de acuerdo a la época en que se hagan las pruebas las condiciones de las muestras cambiaran, incluso factores como el que sea la misma persona la que realice el muestreo, en caso en que sean varias tener la seguridad de que conocen la forma en que se tiene que realizar.

En el siguiente punto se procesara la información obtenida en el laboratorio aplicándola a la obtención de unos coeficientes, los valores de esta aplicación pueden ayudar a la evaluación de los resultados.

V.3 Interpretación de resultados

La interpretación de los resultados se realizó con la obtención de valores de K y Ks (coeficientes cinéticos) tomando como base un ejemplo del libro Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse (METCALF & EDDY), en el cual se muestra como se obtienen, haciendo uso de los resultados de la prueba hecha en laboratorio. Para este ejemplo se consideraron los valores de la segunda semana de muestreo del 7 al 9 de mayo.

El primer paso es ordenar en una tabla los datos requeridos para los cálculos:

DBO ₅ Entrada	DBO ₅ Salida	Xe mg SSte/L	Xs mg SSTs/L	$\theta = \theta_c$ d	X SSV=0.8*SST
105.5	60.0	50.0	60	0.277778	48
66.0	26.5	25.0	30	0.277778	24
85.5	29.0	50.0	25	0.666667	20
78.0	49.5	45.0	45	0.333333	36
103.5	56.0	35.0	25	0.466667	20
146.5	90.0	31.5	45	0.233333	36
128.0	84.0	30.5	15	0.677778	12
135.5	89.5	33.5	25	0.446667	20
150.0	83.0	70.0	60	0.388889	48
132.5	81.5	21.5	115	0.062319	92
146.0	89.5	19.5	55	0.118182	44
132.0	97.5	16.5	85	0.064706	68
131.5	85.0	22.0	55	0.133333	44
136.5	73.0	48.5	45	0.359259	36
143.5	86.0	20.0	25	0.266667	20

Tabla V.11 Datos obtenidos

Para la obtención de θc se requiere los valores de Q y V, también los SST de entrada y de salida, a continuación se ejemplifica como se obtuvieron estos valores:

$$Q = 43.8 \text{ lt/d}$$

$$V = 14.6 \text{ lt}$$

$$\theta c = \frac{Vx}{Qx} = \frac{14.6(50)}{43.8(60)} = \mathbf{0.27778}$$

En cuanto a los SSV, se considero un 80% de los SST de la salida.

Para iniciar los cálculos necesarios, es recomendable manejar los datos en una tabla como la siguiente:

Tabla V.13 Datos obtenidos

DBO _{5e} - DBO _{5s}	θX	$1/\theta c$	$\frac{\theta X}{(DBO_{5e} - DBO_{5s})}$
45.5	13.3333	0.01667	0.293040
39.5	6.6667	0.03774	0.168776
56.5	13.3333	0.03448	0.235988
28.5	12.0	0.02020	0.421053
47.5	9.3333	0.01786	0.196491
56.5	8.4	0.01111	0.148673
44.0	8.1333	0.01190	0.184848
46.0	8.9333	0.01117	0.194203
67.0	18.6667	0.01205	0.278607
51.0	5.7333	0.01227	0.112418
56.5	5.2	0.01117	0.092035
34.5	4.4	0.01026	0.127536
46.5	5.8667	0.01176	0.126165
63.5	12.9333	0.01370	0.203675
57.5	5.3333	0.01163	0.092754

Con la información resultante, se genera la siguiente gráfica:

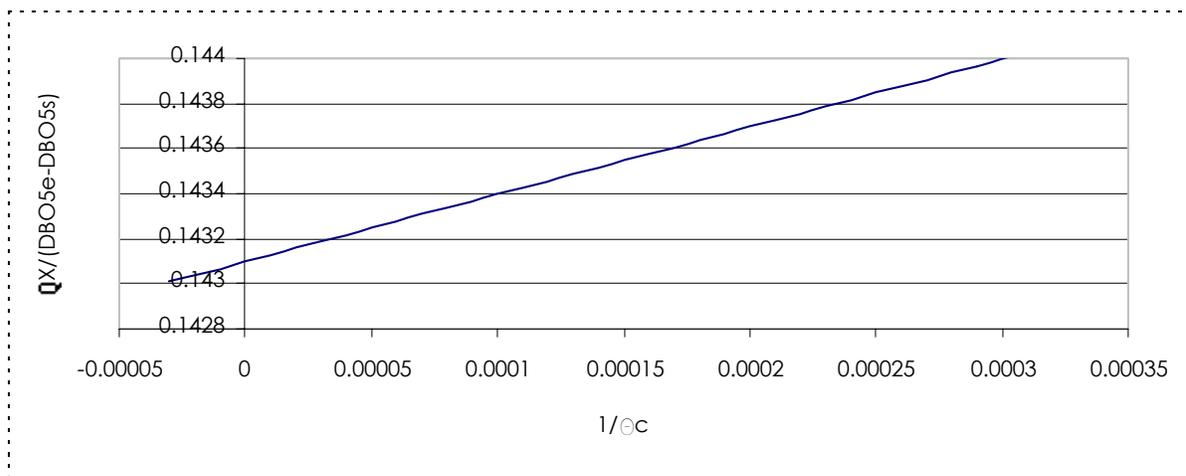


Gráfico V.1 $\theta X / (DBO_{5e} - DBO_{5s})$ vs $1/\theta c$

De la gráfica se obtienen los datos de pendiente y ordenada al origen:

$$m = 2.991271934 \quad b = 0.143098308$$

Con estos valores se determina el primer coeficiente (K):

$$\frac{1}{K} = 0.14309831 \quad K = 6.9882 \text{ d}^{-1}$$

K

Teniendo el valor de K, se obtiene Ks:

$$K_s = 2.99127193 \quad K_s = 20.9036 \text{ mg/L DBO}_5$$

K

De la tabla 9.7 Coeficientes cinéticos típicos para el proceso de fangos activados (METCALF & EDDY), se tienen los siguientes intervalos:

K (d⁻¹)	2 - 10
Ks (mg/L DBO₅)	25 - 100

Comparando los resultados con el intervalo de la tabla se nota claramente que son valores muy coherentes.

La obtención de estos coeficientes demuestran que los valores obtenidos en el laboratorio son correctos.

V.4 Conclusiones de la prueba

De la información obtenida por la realización de la prueba, de su análisis y de la interpretación se presentan las siguientes conclusiones:

Se logró tener un conocimiento mucho mas amplio de las condiciones necesarias para realizar una prueba, además de haber aprendido sobre el funcionamiento de una amplia gama de equipo de laboratorio.

Específicamente sobre el resultado de la prueba, realizando un análisis de todo el desarrollo de la misma, se tienen las siguientes conclusiones sobre los resultados:

1. El muestreo que se realizó fue simple, en gran parte es por esto que la materia contenida en las muestras no fue representativa de la que se produce en Ciudad Universitaria, fue por este motivo que las lecturas de sólidos fueron tan pequeñas, esto se notaba con solo ver el agua, ya que no mostraba la turbiedad típica de un agua residual, tampoco el olor resultaba ser tan fuerte.
2. En la temporada en que se realizó la prueba, se presentaron fuertes lluvias, lo cual hizo que se alteraran las condiciones del agua residual; esto claramente se reflejó en los resultados obtenidos y esperados de acuerdo a la información consultada durante la prueba.
3. Otro factor muy importante para haber obtenido resultados distantes a los esperados, en cuanto al haber tenido valores bajos, es que la Planta de Tratamiento de Ciudad Universitaria se encontraba en un proceso de retrolavado por lo que no estaba operando como normalmente lo hace; esto modificó las condiciones del agua residual que se muestreo.
4. Por último es importante mencionar que el muestreo se realizó durante las tardes pero no se hizo en una hora pico en cuanto a generación de agua residual, lo que explica la prácticamente nula presencia de sólidos orgánicos e inorgánicos.

Con estas conclusiones se nota la importancia de llevar un cuidado integral al momento de realizar una prueba de laboratorio, ya que cada paso forma parte de un todo y descuidar algún punto de la práctica se refleja en el producto final.

VI.1 CONCLUSIONES.

En lo teórico:

Un factor importante e indiscutible para el ser humano es el agua por lo mismo se debe de tener un amplio conocimiento no solo de las fuentes de abastecimiento, en donde se obtiene este esencial líquido, sino también de las fuentes de contaminación de la misma.

La demanda que existe actualmente de agua es por el constante crecimiento de la población y que en algunos lugares se acentúa más, por consiguiente la generación de aguas residuales va aumentando, siendo los centros urbanos y los complejos industriales los de mayor aportación de estas aguas.

Con la contaminación del agua se generan daños a cuencas hidrológicas, a diversos ecosistemas, a los cuerpos receptores como son el agua y el suelo, y en general al medio ambiente, y sobre todo y el más importante los efectos negativos a la salud humana a través de las enfermedades hídricas, como son el cólera, fiebre tifoidea, tuberculosis, entre otras y que desafortunadamente han ocasionado pérdidas humanas irreparables.

En lo que respecta a las enfermedades hídricas en su mayoría son tramitadas por origen intestinal, contaminación de los sistemas de abastecimiento, por retretes de fosas cerca de los pozos de agua o de acuíferos subterráneos, etc.

Al tener un abastecimiento de agua seguro y saneamiento adecuado se genera la prevención de la contaminación del agua, de los cuerpos receptores y sobre todo daños a la salud del ser humano.

Son importantes estudios previos como las pruebas de tratabilidad para aguas residuales, para la mejor selección del proceso de una planta de tratamiento y por consiguiente un mayor funcionamiento de la misma y así restaurar la calidad del agua.

Es importante conocer las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales para valorar el grado de contaminación, y así deducir los medios óptimos para reducir la cantidad y concentración de los elementos contaminantes presentes en el agua.

Entre las características de las aguas residuales, podemos mencionar las físicas como son: los sólidos, temperatura, olor, color, etc; las químicas se clasifican de dos formas inorgánicas (pH, gases, fosfato, etc.) y en orgánicas (DBO, BQO, grasas, etc.); y por último las biológicas que se encuentran las bacterias, hongos, algas, protozoarios, rotíferos, virus y crustáceos.

Entre los contaminantes de importancia para el tratamiento de las aguas residuales se consideran los siguientes: sólidos suspendidos, compuestos orgánicos biodegradables, microorganismos patógenos, nutrientes, compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y sólidos inorgánicos disueltos.

De acuerdo al uso que se le da al agua y el tipo de sistema para recogerla, se puede clasificar el agua residual en cuatro categorías, que son:

- 1) Agua residual doméstica o sanitaria.
- 2) Agua residual industrial.
- 3) Agua pluvial.
- 4) Infiltraciones y conexiones incontroladas.

La mayor cantidad de descargas de aguas residuales industriales son las que se generan en la Acuicultura, Azucarera y la Petrolera.

Entre los procesos mas importantes de las plantas de tratamiento en México se tienen: las Lagunas de Estabilización, Procesos de Lodos Activados, Tanques Imhoff, Tanque Séptico y Filtros Biológicos, siendo los dos primeros los procesos con mayor porcentaje de utilización para el tratamiento de las aguas residuales en nuestro país.

Seguir la normatividad establecida, nos ayuda a proteger y prevenir a la salud humana y los recursos naturales que existen en nuestro país.

En lo que respecta a las descargas de las aguas residuales, se establecen límites máximos permisibles en aguas y bienes nacionales y en sistemas de alcantarillado urbano o municipal, a través de las normas NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-002-SEMARNAT-1996.

También se establecen límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, a través de la norma NOM-003-SEMARNAT-1997.

Otra norma importante es NOM-004-SEMARNAT-2001, cuyo objetivo es la protección de la salud de la población y del medio ambiente, estableciendo límites máximos permisibles en lodos y biosólidos.

En lo práctico:

En lo que respecta a la parte práctica, se logró obtener un conocimiento más amplio de las condiciones necesarias para realizar pruebas de tratabilidad de las aguas residuales, así como el funcionamiento de los diferentes equipos, el uso de la cristalería, el manejo de los reactivos dentro de un laboratorio.

Con una adecuada metodología se consigue un mejor resultado dentro del laboratorio a través de: la selección adecuada de un proceso o un modelo para la realización de la prueba, verificación de la existencia del equipo, cristalería y reactivos necesarios, la calibración del equipo antes de ser utilizado, el montaje del equipo, muestreo adecuado, conocimiento general para desarrollo de la prueba, el control de mediciones, el análisis de resultados obtenidos y la realización del reporte final.

Un factor importante que existe en los modelos de reactores a escala, es la dificultad que existe para estabilizarlos, ya que el reactor que se utilizó para la parte práctica se llevo tiempo para poderlo estabilizar antes de iniciar las pruebas de tratabilidad en el laboratorio.

Dentro de las pruebas de tratabilidad desarrolladas, se detectaron factores importantes como son:

- 1) Tipo de muestreo, el que se realizó fue simple por lo que la muestra no fue representativa y por consiguiente las lecturas de los sólidos fueron pequeñas.
- 2) La temporada, la estación en que se realicen las pruebas es un factor importante, durante la realización de estas se presentaron fuertes lluvias lo que altero las condiciones generales del agua residual apreciándose en el análisis de los resultados.
- 3) El proceso de retrolavado de la Planta de Ciudad Universitaria, también fue otro factor importante para cambiar las características generales del agua residual .
- 4) La hora, en que se tomaron las muestras fue en turno vespertino a partir de las 16:00 hrs. por lo que no es igual tomar una muestra en hora pico como en turno matutino en que C.U. trabaja al 100%.

VI.2 RECOMENDACIONES.

En lo teórico:

Continuar a través de esta tesis, el estudio para ampliar la información de estas y otras pruebas de tratabilidad que se consideran dentro de las aguas residuales ó en su caso partir de esta tesis para el desarrollo del Manual de pruebas de tratabilidad en aguas residuales, ya que no se cuenta con ninguno actualmente.

Que se proponga como una asignatura optativa pruebas de tratabilidad para aquellos alumnos que estén interesados en ampliar sus conocimientos en el área de Ingeniería ambiental.

Difundir el laboratorio en el área de Ingeniería Ambiental ya que en forma práctica los alumnos se motivan y pueden ver la aplicación de los conocimientos a través de las prácticas en el laboratorio.

En lo práctico:

Se deben de tener precauciones dentro del laboratorio, como el manejo adecuado del ácido sulfúrico, para evitar quemaduras o que al preparar reactivos la solución brinque al entrar en contacto el ácido con el agua. Por lo que primero es el agua, después es el reactivo y al último al ácido.

Lavar adecuadamente el material de cristalería, ayuda a obtener mayores resultados, ya que en el desarrollo de la DQO se observó que reaccionaron antes de tiempo por la contaminación de la cristalería.

Las muestras se deben de analizar tan pronto sea posible, si no es posible se deben de mantener frías, para no cambiar las condiciones generales del agua residual.

La calibración correcta del equipo es importante, como la balanza analítica, por la importancia del peso adecuado y correcto de reactivos así como el de los sólidos, el Oxímetro para las lecturas de la DBO, el pHmetro con la solución buffer, etc.

La revisión constante del reactor a escala, es importante para que no deje de trabajar adecuadamente, la revisión constante de las DBO para procurar que el sello hidráulico permanezca por el periodo indicado a la temperatura especificada, etc.

Índice de Tablas, Figuras, Fotos, Diagramas y Grafico

		Páginas
Capítulo 1		
Antecedentes		
Tabla I.1	Volumen de descarga de aguas residuales industriales 2002.	6
Tabla I.2	Características de los diversos tipos de agua residual.	8
Tabla I.3	Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual.	9
Diagrama I.1	Composición de las aguas residuales domésticas.	10
Figura I.1	Algunos tipos de algas presentes en el agua contaminada.	16
Figura I.2	Mortalidad por enfermedades diarreicas en menores de 5 años por entidad federativa, 2000.	18
Tabla I.4	Número de casos y defunciones ocurridas en México por consecuencia del cólera.	19
Figura I.3	Mortalidad por enfermedades diarreicas en menores de 5 años a nivel nacional para el período (1990-2000).	21
Figura I.4	Principales procesos de tratamiento de aguas residuales.	27
Diagrama I.2	Procesos y sistemas para el tratamiento secundario.	29
Tabla I. 5	Tipos y aplicaciones de lagunas de estabilización de uso común.	31
Figura I.5	Laguna anaerobia (CNA).	32
Figura I.6	Laguna facultativa (CNA).	32
Figura I.7	Características esenciales de los lodos activados.	33
Figura I.8	Tanque Imhoff.	34
Figura I.9	Tanque séptico.	35
Figura I.10	Filtro Biológico.	36
Capítulo 2		
Examen de las aguas residuales		
Tabla II.1	Parámetros físicos	46
Tabla II.2	Parámetros químicos	49
Tabla II.3	Parámetros biológicos	58
Tabla II.4	Metales pesados y cianuros	61
Capítulo 3		
Procedimientos de laboratorio para el desarrollo de las pruebas de tratabilidad		
Foto III.1	Laboratorio.	62
Foto III.2	Modelo a escala.	63
Foto III.3	Instalaciones adecuadas.	64
Foto III.4	Equipo de laboratorio.	65
Foto III.5	Material de cristalería.	65
Foto III.6	Reactivos.	66
Foto III.7	Disponibilidad de estantes.	67
Foto III.8	Tarja.	67
Foto III.9	Agua destilada.	68
Foto III.10	Balanza analítica.	68
Tabla III.1	Tabla tipo para registros de DQO.	70
Tabla III.2	Tabla tipo para registro de DBO ₅ .	70

Capítulo 4
Aplicación en laboratorio de una prueba de tratabilidad de aguas residuales

Figura IV.1	Componentes del reactor.	72
Foto IV.1	Reactor de acrílico a escala.	72
Figura IV.2	Dimensiones generales del reactor.	73
Figura IV.3	Nivel de agua en operación.	74
Foto IV.2	Volumen de operación del reactor.	74
Foto IV.3	Funcionamiento del reactor.	75
Foto IV.4	Funciones básicas, aireación y sedimentación.	76
Foto IV.5	Termómetro en la muestra.	77
Foto IV.6	Lectura de las temperaturas.	78
Foto IV.7	Sedimentación de los sólidos en los conos Imhoff.	79
Foto IV.8	Lectura de los sólidos sedimentables.	80
Foto IV.9	Obtención del peso constante de los crisoles Gooch.	81
Foto IV.10	Desecador con crisoles Gooch.	82
Foto IV.11	Peso de los crisoles Gooch con el filtro.	82
Foto IV.12	Equipo para obtener los sólidos.	83
Foto IV.13	Obtención de los sólidos suspendidos.	83
Foto IV.14	Sólidos colocados en la estufa a una temperatura de 103-105°C.	84
Foto IV.15	Crisoles Gooch en desecadores para no contaminarlos.	84
Foto IV.16	Peso de los sólidos.	85
Foto IV.17	Peso de los reactivos.	87
Foto IV.18	Nutrientes.	88
Foto IV.19	Llenado de las botellas con el agua destilada con nutrientes.	88
Foto IV.20	Lecturas del oxígeno disuelto inicial.	89
Foto IV.21	Incubación.	89
Foto IV.22	Lecturas del oxígeno disuelto final.	90
Foto IV.23	Peso de los reactivos.	92
Foto IV.24	Valoración del sulfato ferroso amoniacal.	93
Foto IV.25	Muestras concentradas, diluidas y blanco.	94
Foto IV.26	Muestras colocadas en el aparato de reflujo.	95
Foto IV.27	Muestras en ebullición.	95
Foto IV.28	Indicador ferroín.	96
Foto IV.29	Titulación de las muestras.	96
Foto IV.30	Secuencia del color de las reacciones.	97
Foto IV.31	Calibración del medidor de pH con solución Buffer.	98
Foto IV.32	Lectura del pH.	99

		Páginas
Capítulo 5		
Resultados		
Tabla V.1	Reporte de lecturas. Martes 29 de abril 2003.	101
Tabla V.2	Reporte de lecturas. Miércoles 30 de Abril 2003.	102
Tabla V.3	Reporte de lecturas. Viernes 2 de Mayo 2003.	104
Tabla V.4	Reporte de lecturas. Miércoles 7 de Mayo 2003.	106
Tabla V. 5	Reporte de lecturas. Jueves 8 de Mayo 2003.	108
Tabla V.6	Reporte de lecturas. Viernes 9 de Mayo 2003.	110
Tabla V.7	Reporte de lecturas. Miércoles 13 de Mayo 2003.	112
Tabla V.8	Reporte de lecturas. Jueves 14 de Mayo 2003.	113
Tabla V.9	Reporte de lecturas. Viernes 16 de Mayo 2003.	115
Tabla V.10	Tabla resumen de los valores obtenidos.	117
Tabla V.11	Datos obtenidos.	121
Tabla V.12	Datos obtenidos.	122
Gráfico V.1	$\theta X(\text{DBO}_{5e}-\text{DBO}_{5s})$ vs $1/\theta c$	122

Anexo 1

Norma Mexicana NMX-AA-003-1980 Aguas Residuales .- Muestreo. Residual Waters.- Sampling.

PREFACIO

En la elaboración de esta Norma participaron los siguientes Organismos e Instituciones:

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS.-

DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA.

SECRETARIA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA.-

DEPARTAMENTO DE VIGILANCIA DE AGUAS RECEPTORAS.

CONFEDERACION DE CAMARAS INDUSTRIALES.-

DEPARTAMENTO TECNICO.

FERTILIZANTES MEXICANOS, S.A.-

SUBGERENCIA DE INVESTIGACION.

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.-

LABORATORIO.

LABORATORIOS NACIONALES DE FOMENTO INDUSTRIAL.-

DEPARTAMENTO DE CONTAMINACION.

INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL.-

DEPARTAMENTO TECNICO.- OFICINA FISICO-QUIMICA.

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta norma establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas, debiéndose observar las modalidades indicadas en las normas de métodos de prueba correspondientes.

2 DEFINICIONES

2.1 Agua residual

Es el líquido de composición variada proveniente de usos municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada y que por tal motivo haya sufrido degradación o alteración en su calidad original.

2.2 Canal abierto

Cualquier conducto en el cual el agua fluye presentando una superficie libre.

2.3 Colector

Es un conducto abierto o cerrado que recibe las aportaciones de agua de otros conductos.

2.4 Descarga

Es el conjunto de aguas residuales que se vierten o disponen en algún cuerpo receptor.

2.5 Muestra simple

Es aquella muestra individual tomada en un corto período de forma tal que el tiempo empleado en su extracción sea el transcurrido para obtener el volumen necesario.

2.6 Muestra compuesta

Es la que resulta del mezclado de varias muestras simples.

3 APARATOS Y EQUIPO

3.1 Recipientes para el transporte y conservación de las muestras.

Los recipientes para las muestras deben ser de materiales inertes al contenido de las aguas residuales. Se recomiendan los recipientes de polietileno o vidrio.

Las tapas deben proporcionar un cierre hermético en los recipientes y se recomienda que sean de material afín al del recipiente.

Se recomienda que los recipientes tengan una capacidad mínima de 2 dm³ (litros).

3.2 Muestreadores automáticos

Se permite su empleo siempre y cuando se operen de acuerdo con las instrucciones del fabricante del equipo muestreador dándoles el correcto y adecuado mantenimiento, asegurándose de obtener muestras representativas de las aguas residuales.

3.3 Válvulas y accesorios

Cada toma de muestreo debe tener una válvula de cierre que permita el paso libre de las aguas residuales y de los materiales que puedan contener y proporcionar el cierre hermético de la toma.

Esta válvula y los accesorios necesarios para su instalación, deben ser de materiales similares a los de las tomas y/o los conductos en que éstas se instalen.

3.4 Hielera o refrigerador

3.5 Material común de laboratorio

4 IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS

4.1 Se deben tomar las precauciones necesarias para que en cualquier momento sea posible identificar las muestras. Se deben emplear etiquetas pegadas o colgadas, o numerar los frascos anotándose la información en una hoja de registro. Estas etiquetas deben contener como mínimo la siguiente información.

- Identificación de la descarga.
- Número de muestra.
- Fecha y hora de muestreo.
- Punto de muestreo.
- Temperatura de la muestra.
- Profundidad de muestreo.
- Nombre y firma de la persona que efectúa el muestreo.

4.2 Hoja de registro

4.2.1 Se debe llevar una hoja de registro con la información que permita identificar el origen de la muestra y todos los datos que en un momento dado permitan repetir el muestreo.

4.2.2 Se recomienda que la hoja de registro contenga la siguiente información:

Los datos citados en el inciso 4.1.

Resultados de pruebas de campo practicadas en la descarga muestreada.

Cuando proceda, el gasto o flujo de la descarga de aguas residuales que se muestreo.

Descripción detallada del punto de muestreo de manera que cualquier persona pueda tomar otras muestras en el mismo lugar.

Descripción cualitativa del olor y el color de las aguas residuales muestreadas.

5 PROCEDIMIENTO

5.1 Cualquiera que sea el método de muestreo específico que se aplique a cada caso, debe cumplir los siguientes requisitos.

5.1.1 Las muestras deben ser representativas de las condiciones que existan en el punto y hora de muestreo y tener el volumen suficiente para efectuar en él las determinaciones correspondientes.

5.1.2 Las muestras deben representar lo mejor posible las características del efluente total que se descarga por el conducto que se muestrea.

5.1.3 Al efectuarse el muestreo, deben anotarse los datos según los incisos 4.1 y 4.2.2.

5.2 Muestreo en tomas

5.2.1 Se recomienda, se instalen tomas en conductos a presión o en conductos que permitan el fácil acceso para muestrear a cielo abierto con el objeto de caracterizar debidamente las aguas residuales. Las tomas deben tener un diámetro adecuado para muestrear correctamente las aguas residuales en función de los materiales que puedan contener, deben ser de la menor longitud posible, y procurar situarlas de tal manera que las muestras sean representativas de la descarga.

Se recomienda el uso de materiales similares a los del conducto, de acero al carbón o de acero inoxidable.

5.2.2 Se deja fluir un volumen aproximadamente igual a 10 veces el volumen de la muestra y a continuación se llena el recipiente de muestreo.

5.3 Muestreo en descargas libres

5.3.1 Cuando las aguas residuales fluyan libremente en forma de chorro, debe emplearse el siguiente procedimiento.

5.3.1.1 El recipiente muestreador se debe enjuagar repetidas veces antes de efectuar el muestreo.

5.3.1.2 Se introduce el recipiente muestreador en la descarga o de ser posible, se toma directamente la muestra en su recipiente.

5.3.1.3 La muestra se transfiere del recipiente muestreador al recipiente para la muestra cuidando de que ésta siga siendo representativa.

5.4 Muestreo en canales y colectores

5.4.1 Se recomienda tomar las muestras en el centro del canal o colector de preferencia en lugares donde el flujo sea turbulento a fin de asegurar un buen mezclado.

5.4.1.1 Si se va a evaluar contenido de grasas y aceites se deben tomar porciones, a diferentes profundidades, cuando no haya mucha turbulencia para asegurar una mayor representatividad.

5.4.2 El recipiente muestreador se debe enjuagar repetidas veces con el agua por muestrear antes de efectuar el muestreo.

5.4.3 El recipiente muestreador, atado con una cuerda y sostenido con la mano de preferencia enguantada, se introduce en el agua residual completamente y se extrae la muestra.

5.4.4 Si la muestra se transfiere de recipiente, se debe cuidar que ésta siga siendo representativa.

5.5 Cierre de los recipientes de muestreo

Las tapas o cierres de los recipientes deben fijarse de tal forma que se evite el derrame de la muestra.

5.6 Obtención de muestras compuestas

5.6.1 Se recomienda que las muestras sean compuestas (ver inciso 2.6), para que representen el promedio de las variaciones de los contaminantes. El procedimiento para la obtención de dichas muestras es el siguiente:

5.6.1.1 Las muestras compuestas se obtienen mezclando muestras simples en volúmenes proporcionales al gasto o flujo de descarga medido en el sitio y momento del muestreo.

5.6.1.2 El intervalo entre la toma de cada muestra simple para integrar la muestra compuesta, debe ser el suficiente para determinar la variación de los contaminantes del agua residual.

5.6.1.3 Las muestras compuestas se deben tomar de tal manera que cubran las variaciones de las descargas durante 24 horas como mínimo.

5.7 Preservación de las muestras

Solo se permite agregar a las muestras los preservativos indicados en las Normas de Métodos de Prueba.

5.8 Preservar la muestra durante el transporte por medio de un baño de hielo y conservar las muestras en refrigeración a una temperatura de 277K (4°C).

5.9 Se recomienda que el intervalo de tiempo entre la extracción de la muestra y su análisis sea el menor posible y que no exceda de tres días.

6 APENDICE

6.1 Observaciones

6.1.1 Es muy importante tomar las debidas precauciones de seguridad y de higiene en el muestreo en función del tipo de aguas residuales que estén muestreando.

7 BIBLIOGRAFIA

- 7.1** 1978.- Annual Book of ASTM Standards.- D 3370-76 "Standard Practices for Sampling Water.- Tomo 31.
- 7.2** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.- American Public Health Association, American Water Works Association y Water Pollution Control Federation.- 14 th, edition.
- 7.3** Gaging and Sampling Industrial Wastewaters.- J.G. Rabosky y Donald D. Horaido, Chemical Engineering/January s. 1973, Vol. 30 Número 1.
- 7.4** Reglamento para la Prevención y control de la Contaminación de Aguas.
- 7.5** NMX-R-050-1977 Norma Mexicana "Guía para la Redacción, Estructuración y Presentación de las Normas Mexicanas".
- 7.6** British Standard 1328-1969 "Methods of Sampling Water Used in Industry".

8 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

No concuerda con ninguna por no existir norma internacional sobre el tema.

México, D.F., Febrero 11, 1980

EL DIRECTOR GENERAL.

DR. ROMAN SERRA CASTAÑOS.

Fecha de aprobación y publicación: Marzo 25, 1980

Esta Norma cancela a la: NMX-AA-003-1975

Anexo 2

TECNICA PARA LA DETERMINACION Y CUANTIFICACION DE HUEVOS DE HELMINTO

1. OBJETIVO

Determinar y cuantificar huevos de helminto en lodos, afluentes y efluentes tratados.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

Es aplicable para la cuantificación de huevos de helminto en muestras de lodos, afluentes y efluentes de plantas de tratamiento.

3. DEFINICIONES

3.1 Helminto: término designado a un amplio grupo de organismos que incluye a todos los gusanos parásitos (de humanos, animales y vegetales) y de vida libre, con formas y tamaño variados.

3.2 Platyhelminetos: gusano dorsoventralmente aplanado, algunos de interés médico son: Taenia solium, Hymenolepis nana e H. diminuta, entre otros.

3.3 Nematelmintos: gusanos de cuerpo alargado y forma cilíndrica. Algunas especies enteroparásitas de humanos y animales son: Ascaris lumbricoides, Toxocara canis, Enterobius vermicularis y Trichuris trichiura, entre otros.

3.4 Método difásico: técnica de concentración que utiliza la combinación de dos reactivos no miscibles y donde las partículas (huevos, detritus), se orientan en función de su balance hidrofílico-lipofílico.

3.5 Método de flotación: técnica de concentración donde las partículas de interés permanecen en la superficie de soluciones cuya densidad es mayor. Por ejemplo la densidad de huevos de helminto se encuentra entre 1.05 a 1.18, mientras que los líquidos de flotación se sitúan entre 1.1 a 1.4.

4. FUNDAMENTO

Utiliza la combinación de los principios del método difásico y del método de flotación, obteniendo un rendimiento de un 90%, a partir de muestras artificiales contaminadas con huevos de helminto de Ascaris.

5. EQUIPO

Centrífuga: Con intervalos de operación de 1,000 a 2,500 revoluciones por minuto

- Periodos de operación de 1 a 3 minutos
- Temperatura de operación 20 a 28°C

Bomba de vacío: Adaptada para control de velocidad de succión 1/3 hp

Microscopio óptico: Con iluminación Köheler

- Aumentos de 10 a 100X; platina móvil; sistema de microfotografía

Agitador de tubos: Automático, adaptable con control de velocidad

Parrilla eléctrica: Con agitación

Hidrómetro: Con intervalo de medición de 1.1 a 1.4 g/cm³

Temperatura de operación: 0 a 4°C

6. REACTIVOS

- Sulfato de zinc heptahidratado
- Ácido sulfúrico
- Éter etílico
- Etanol
- Agua destilada
- Formaldehído

6.1 Solución de sulfato de zinc, gravedad específica de 1.3

- Fórmula
- Sulfato de zinc 800 g
- Agua destilada 1,000 ml

PREPARACION

Disolver 800 g de sulfato de zinc en 1,000 ml de agua destilada y agitar en la parrilla eléctrica hasta homogeneizar, medir la densidad con hidrómetro. Para lograr la densidad deseada agregar reactivo o agua, según sea el caso.

6.2 Solución de alcohol-ácido

- Fórmula
- Ácido sulfúrico 0.1 N 650 ml
- Etanol 350 ml

PREPARACION

Homogeneizar 650 ml del ácido sulfúrico al 0.1 N, con 350 ml del etanol para obtener un litro de la solución alcohol-ácida. Almacenarla en recipiente hermético.

7. MATERIAL

- Garrafones de 8 litros
- Tamiz de 160 μm (micras) de poro
- Probetas graduadas (1 litro y 50 ml)
- Gradillas para tubos de centrifuga de 50 ml
- Pipetas de 10 ml de plástico
- Aplicadores de madera
- Recipientes de plástico de 2 litros
- Guantes de plástico
- Vasos de precipitado de 1 litro
- Bulbo de goma
- Magneto
- Cámara de conteo Doncaster
- Celda Sedgwick-Rafter

8. CONDICIONES DE LA MUESTRA

1. Se transportarán al laboratorio en hieleras con bolsas refrigerantes o bolsas de hielo.
2. Los tiempos de conservación en refrigeración y transporte deben reducirse al mínimo.
3. Si no es posible refrigerar la muestra líquida, debe fijarse con 10 ml de formaldehído al 4% o procesarse dentro de las 48 horas de su toma.
4. Una muestra sólida debe refrigerarse y procesarse en el menor tiempo posible.

INTERFERENCIAS

La sobreposición de estructuras y/o del detritus no eliminado en el sedimento, puede dificultar su lectura, en especial cuando se trata de muestras de lodo. En tal caso, es importante dividir el volumen en alícuotas que se consideren adecuadas.

10. PRECAUCIONES

1. Durante el proceso de la muestra, el analista debe utilizar guantes de plástico para evitar riesgo de infección.
2. Lavar y desinfectar el área de trabajo, así como el material utilizado por el analista.

11. PROCEDIMIENTO

1. Muestreo

- a) Preparar recipientes de 8 litros, desinfectándolos con cloro, enjuagándolos con agua potable a chorro y con agua destilada.
- b) Tomar 5 litros de la muestra (ya sea del afluente o efluente).
- c) En el caso de que la muestra se trate de lodo, preparar en las mismas condiciones recipientes de plástico de 1 litro con boca ancha.
- d) Tomar X gramos de materia fresca (húmeda) que corresponda a 10 g de materia seca.

2. Concentrado y centrifugado de la muestra.

- a) La muestra se deja sedimentar durante 3 horas o toda la noche.
- b) El sobrenadante se aspira por vacío sin agitar el sedimento.
- c) Filtrar el sedimento sobre un tamiz de 160 μm (micras), enjuagando también el recipiente donde se encontraba originalmente la muestra y lavar en seguida con 5 litros de agua (potable o destilada).
- d) Recibir el filtrado en los mismos recipientes de 8 litros.
- e) En caso de tratarse de lodos, la muestra se filtrará y enjuagará en las mismas condiciones iniciando a partir del inciso c.
- f) Dejar sedimentar durante 3 horas o toda la noche.
- g) Aspirar el sobrenadante al máximo y depositar el sedimento en una botella de centrifuga de 250 ml, incluyendo de 2 a 3 enjuagues del recipiente de 8 litros.
- h) Centrifugar a 400 g por 3 minutos (1,400 - 2,000 rpm por 3 minutos, según la centrifuga).
- i) Decantar el sobrenadante por vacío (asegurarse de que exista la pastilla) y resuspender la pastilla en 150 ml de ZnSO_4 con una densidad de 1.3.
- j) Homogeneizar la pastilla con el agitador automático, o aplicador de madera.
- k) Centrifugar a 400 g por 3 minutos (1,400 - 2,000 rpm por 3 minutos).
- l) Recuperar el sobrenadante vertiéndolo en un frasco de 2 litros y diluir cuando menos en un litro de agua destilada.
- m) Dejar sedimentar 3 horas o toda la noche.
- n) Aspirar al máximo el sobrenadante por vacío y resuspender el sedimento agitando, verter el líquido resultante en 2 tubos de centrifuga de 50 ml y lavar de 2 a 3 veces con agua destilada el recipiente de 2 litros.
- o) Centrifugar a 480 g por 3 minutos (2,000 - 2,500 rpm por 3 minutos, según la centrifuga).
- p) Reagrupar las pastillas en un tubo de 50 ml y centrifugar a 480 g por minutos (2,000 - 2,500 rpm por 3 minutos).
- q) Resuspender la pastilla en 15 ml de solución de alcohol-ácido (H_2SO_4 0.1 N) + $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ a 33-35% y adicionar 10 ml de éter etílico.
- r) Agitar suavemente y abrir de vez en cuando los tubos para dejar escapar el gas (considerar que el éter es sumamente inflamable y tóxico).
- s) Centrifugar a 660 g por 3 minutos (2,500 - 3,000 rpm por 3 minutos, según la centrifuga).
- t) Aspirar al máximo el sobrenadante para dejar menos de 1 ml de líquido, homogeneizar la pastilla y proceder a cuantificar.

3. Identificación y cuantificación de la muestra.

- a) Distribuir todo el sedimento en una celda de Sedgwick-Rafter o bien en una cámara de conteo de Doncaster.
- b) Realizar un barrido total al microscopio.

12. CALCULOS

- 1. Para determinar las rpm de la centrifuga utilizada, la fórmula es:

$$\text{rpm} = \sqrt{\frac{kg}{r}}$$

Donde:

- g:** fuerza relativa de centrifugación
- K:** constante cuyo valor es 89,456
- r:** radio de la centrifuga (spindle to the centre of the bracker) en cm

La fórmula para calcular **g** es:

$$g = \frac{r(\text{rpm})^2}{K}$$

- 2. Para expresar los resultados en número de huevecillos por litro es importante tomar en cuenta el volumen y tipo de muestra analizada.

13. FORMATO

No aplica

14. BIBLIOGRAFÍA

- 1. APHA, AWWA, WPCF, 1992 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Ed., Washington. (Métodos normalizados para el análisis del agua y aguas residuales, 19ª. Edición E.U.A)
- 2. CETESB, São Paulo, 1989 Helminthos e Protozoarios Patogénicos Contagem de Ovos e Cistos en Amostras Ambientais.
- 3. Schwartzbrod, J., 1996 Traitement des Eaux Usees de Mexico en Vue d'une Reutilisation a des Fins Agricoles. Reunión de Expertos para el Análisis del Proyecto de Saneamiento del Valle de México. Instituto de Ingeniería UNAM, 86 p.

Anexo 3 (Nom-004-Semarnat-2001)**OPCIONES PARA LA REDUCCIÓN DE ATRACCIÓN DE VECTORES****Opción 1: Reducción del contenido de sólidos volátiles.**

Reducir a un 38% el contenido de sólidos volátiles en los biosólidos, mediante digestión aeróbica o anaeróbica.

Opción 2: Digestión adicional de los biosólidos digeridos anaeróbicamente.

En el caso de que no resulte factible reducir al 38% el contenido de sólidos volátiles mediante la Opción 1. Se deberá demostrar en una unidad a escala de laboratorio, que una porción de los biosólidos, que previamente fueron digeridos, con una digestión anaeróbica por 40 días adicionales, a una temperatura entre 30°C y 37°C, su reducción del contenido de sólidos volátiles es menor de 17%.

Opción 3: Digestión adicional de los biosólidos digeridos aeróbicamente.

Esta prueba solamente es aplicable a los biosólidos líquidos digeridos aeróbicamente. Se considera que los biosólidos digeridos aeróbicamente con 2% de sólidos o menos, han logrado la reducción de atracción de vectores si después de 30 días de digestión aeróbica en una prueba de laboratorio a 20°C, su reducción del contenido de sólidos volátiles es menor de 15%.

Opción 4: Tasa específica de adsorción de oxígeno (TEAO) para biosólidos digeridos aeróbicamente.

Esta prueba solamente es aplicable a los biosólidos líquidos digeridos aeróbicamente. Se demuestra si la TEAO de los biosólidos que son aplicados, determinada a 20 °C, es igual o menor de 1.5 mg de O₂/h/g de sólidos totales (peso seco).

Opción 5: Procesos aeróbicos a más de 40°C.

Aplica primordialmente a biosólidos composteados que contienen agentes abultadores orgánicos parcialmente descompuestos. Los biosólidos deben ser tratados aeróbicamente por 14 días o más, tiempo durante el cual la temperatura deberá rebasar siempre los 40°C y el promedio deberá ser mayor de 45 °C.

Opción 6: Adición de materia alcalina.

Adicionar suficiente materia alcalina para:

- Eleva el pH hasta por lo menos 12 unidades, a 25°C, y sin añadir más materia alcalina mantenerlo por 2 horas; y
- Mantener un pH de al menos 11.5 unidades, sin la adición de más materia alcalina durante otras 22 horas.

Opción 7: Reducción del contenido de humedad en biosólidos que no contienen sólidos sin estabilizar.

Incrementar el contenido de sólidos al 75% en los biosólidos, lo cual debe conseguirse removiéndoles agua y no mediante la dilución con sólidos inertes. Se debe prevenir que los biosólidos se manejen secos, incluyendo su almacenamiento antes de la aplicación.

Opción 8: Reducción del contenido de humedad en biosólidos que contienen sólidos no estabilizados.

Incrementar el contenido de sólidos al 90% en los biosólidos, lo cual debe conseguirse removiéndoles aguas y no mediante la dilución con sólidos inertes. Se debe prevenir que los biosólidos se manejen secos, incluyendo su almacenamiento antes de la aplicación.

Opción 9: Inyección de biosólidos al suelo.

Inyectar los biosólidos por debajo de la superficie del terreno, de tal manera que ninguna cantidad significativa esté presente sobre la superficie durante 1 hora después de la inyección y , si los biosólidos son clase A con respecto a patógenos, deben ser inyectados dentro de las 8 horas posteriores a su salida del proceso reductor de patógenos.

Opción 10: Incorporación de biosólidos al suelo.

Incorporar al suelo los biosólidos dentro de las 6 horas posteriores a su aplicación sobre el terreno. La incorporación se consigue arando o mediante algún otro método que mezcle los biosólidos con el suelo, y si los biosólidos son clase A con respecto a patógenos, el tiempo entre la aplicación y el procesado no debe exceder de 8 horas al igual que en el caso de la inyección.

Tabla 1. Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos.

Contaminante (determinación en forma total)	Excelente g/kg en base seca	Bueno g/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

Tabla 2. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en biosólidos.

	PATÓGENOS		PARASITOS
	Coliformes fecales	Salmonella sp	Huevos de helminto/g
CLASE	NMP/g en base seca	NMP/g en base Seca	En base Seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
B	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

Tabla 3. Límites máximos permisibles de patógenos y parásitos para lodos y biosólidos

PATOGENOS		PARASITOS
Coliformes Fecales NMP/g en base seca	Salmonella sp NMP/g en base seca	Huevos de helminto/g en base seca
Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

Tabla 4. Frecuencia de muestreo y análisis para lodos y biosólidos.

Aprovechamiento y disposición final	Frecuencia	Muestreo y Análisis
<ul style="list-style-type: none"> • Jardines y macetas de casas habitación y edificios públicos y privados, áreas verdes para recreación pública y privada con contacto directo humano, viveros y campos deportivos. • Camellones urbanos y en vías de comunicación, panteones y bosques. 	Semestral Bimestral	Metales pesados Patógenos y Parásitos
<ul style="list-style-type: none"> • Terrenos con fines agrícolas, restauración de suelos y de paisajes. 	Semestral Trimestral	Metales pesados Patógenos y parásitos
<ul style="list-style-type: none"> • Disposición final 	Trimestral	Patógenos y parásitos

Anexo 4 (Nom-001-Semarnat-1996)

Tabla 1

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BASICOS																						
PARAMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RIOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)			
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)					
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.		
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te	au- sen- te
Sólidos Sedimentables (m/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2	N.A.	N.A.
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125	N.A.	N.A.
Demanda Bioquímica de Oxígeno ⁵	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150	N.A.	N.A.
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

P.D. = Promedio Diario; P.M. = Promedio mensual;

N.A. = No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006

Tabla 2

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BASICOS																				
PARAMETRO S (*) (miligramos por litro)	RIOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)			
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.5	0.1	0.1	0.2
Cianuro	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.2
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(*) Medidos de manera total.

P.D. = Promedio Diario

P.M. = Promedio Mensual

N.A. = No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

Tabla 3

DESCARGAS MUNICIPALES	
FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	RANGO DE POBLACION
1 de enero de 2000	mayor de 50,000 habitantes
1 de enero de 2005	de 20,001 a 50,000 habitantes
1 de enero de 2010	de 2,501 a 20,000 habitantes

Tabla 4

DESCARGAS MUNICIPALES		
FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	CARGA CONTAMINANTE	
	DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENOS ₅ t/d (tonelada/día)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d toneladas/día
1 de enero de 2000	Mayor de 3.0	mayor de 3.0
1 de enero de 2005	de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0
1 de enero de 2010	Menor de 1.2	menor de 1.2

Tabla 5

DESCARGAS MUNICIPALES	
RANGO DE POBLACION	FECHA LIMITE PARA PRESENTAR PROGRAMA DE ACCIONES
mayor de 50,000 habitantes	30 de junio de 1997
de 20,001 a 50,000 habitantes	31 de diciembre de 1998
de 2,501 a 20,000 habitantes	31 de diciembre de 1999

Tabla 6

CARGA CONTAMINANTE DE LAS DESCARGAS NO MUNICIPALES	
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENOS Y/O SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES T/d (toneladas/día)	FECHA LIMITE PARA PRESENTAR PROGRAMA DE ACCIONES
mayor de 3.0	30 de junio de 1997
de 1.2 a 3.0	31 de diciembre de 1998
menor de 1.2	31 de diciembre de 1999

Tabla 7

RANGO DE POBLACION	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANALISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 50,000 habitantes	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 20,001 a 50,000 habitantes	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
de 2,501 a 20,000 habitantes	SEMESTRAL	ANUAL

Tabla 8

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENOS t/d (toneladas/día)	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANALISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 3.0	mayor de 3.0	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
menor de 1.2	menor de 1.2	SEMESTRAL	ANUAL

Anexo 5 (Nom-002-Semarnat-1996)

Tabla 1

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES			
PARAMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

Tabla 2

FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	RANGO DE POBLACION
1 de enero de 1999	mayor de 50,000 habitantes
1 de enero de 2004	de 20,001 a 50,000 habitantes
1 de enero de 2009	de 2,501 a 20,000 habitantes

Anexo 6 (Nom-003-Semarnat-1997)
Tabla1. Límites máximos permisibles de contaminantes.

TIPOS DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y aceites m/l	DBO ₅ mg/l	SST/mg/l
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≤ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	≤ 5	15	30	30

BIBLIOGRAFÍA

1. **FAIR GORDON, GEYER JOHN, OKUN DANIEL**, Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales, tomo Ingeniería sanitaria y de aguas residuales, 13ª reimpresión, Editorial Limusa.
2. **T.H.Y. TEBBUTT**, Fundamentos de control de calidad del agua, 1st Edición, Editorial Noriega.
3. **Secretaría de Recursos Hidráulicos**, Manual del curso de: Análisis de Agua y Aguas de Desecho, Volumen I, Subsecretaría de Planeación, Dirección General de Usos del Agua y prevención de la Contaminación, Centro de Investigación y Entretenimiento.
4. **APHA, AWWA, WPCF**, Métodos Normalizados, para el análisis de aguas potables y residuales, ediciones Díaz de Santos, S.A.
5. **ING. MSP. RAFAEL LOPEZ RUIZ**, Apuntes de tratamiento de Aguas Residuales, Facultad de Ingeniería.
6. **GEORGINA FERNÁNDEZ VILLAGOMEZ**, Manual de laboratorio de química de agua, Facultad de Ingeniería, División de estudios de posgrado.
7. **NOM-001-SEMARNAT-1996 (anterior NOM-001-ECOL-1996)**, Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas nacionales y bienes nacionales.
8. **NOM-002-SEMARNAT-1996 (anterior NOM-002-ECOL-1996)**, Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
9. **NOM-003-SEMARNAT –1997 (anterior NOM-003-ECOL-1997)**, Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.
10. **PROCEDIMIENTOS SIMPLIFICADOS PARA EL EXAMEN DE AGUAS**, Manual de laboratorio de la American Water Work Association INC, Organización Panamericana de la Salud, Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Publicación Científica No. 369. 1978.
11. **ING. MSP. RAFAEL LOPEZ RUIZ**, AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y BIOSOLIDOS, Elementos básicos, caracterización, tratamiento, reusos. Facultad de Ingeniería. Edición 2003.
12. **ENRIQUE CESAR VALDEZ-ALBA B. VAZQUEZ GONZALEZ**, Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de las Aguas Residuales. Facultad de Ingeniería. Edición 2002.
13. **J. GLYNN HENRY – GARY W. HEINKE**, Ingeniería Ambiental, Segunda Edición. Editorial Prentice Hall 1999.

REFERENCIAS

APHA, AWWA, WPCF, Métodos Normalizados, para el análisis de aguas potables y residuales, ediciones Díaz de Santos, S.A.

ENRIQUE CESAR VALDEZ-ALBA B. VAZQUEZ GONZALEZ, Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de las Aguas Residuales. Facultad de Ingeniería. Edición 2002.

FAIR GORDON, GEYER JOHN, OKUN DANIEL, Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales, tomo Ingeniería sanitaria y de aguas residuales, 13ª reimpresión, Editorial Limusa.

J. GLYNN HENRY – GARY W. HEINKE, Ingeniería Ambiental, Segunda Edición. Editorial Prentice Hall 1999.

ING. MSP. RAFAEL LOPEZ RUIZ, AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y BIOSOLIDOS, Elementos básicos, caracterización, tratamiento, reusos. Facultad de Ingeniería. Edición 2003.

Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse, 1991.

NOM-001-SEMARNAT-1996 (anterior NOM-001-ECOL-1996), Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas nacionales y bienes nacionales.

NOM-002-SEMARNAT-1996 (anterior NOM-002-ECOL-1996), Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Secretaría de Recursos Hidráulicos, Manual del curso de: Análisis de Agua y Aguas de Desecho, Volumen I, Subsecretaría de Planeación, Dirección General de Usos del Agua y prevención de la Contaminación, Centro de Investigación y Entrenamiento.

ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN MEXICO, 2004, Un producto del sistema unificado de información básica del agua (SUIBA), SEMARNAT y Comisión Nacional del Agua. Edición 2004.

ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN MEXICO, 2005 (SINTESIS), Un producto del sistema unificado de información básica del agua (SUIBA), SEMARNAT y Comisión Nacional del Agua. Edición 2005.