

84
205



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

Facultad de Química

**“ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS DE LOS
TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUA-
LES QUE SE HAN UTILIZADO EN
MEXICO, DE 1982 A LA FECHA”**

**Trabajo Monográfico de
Actualización**

**Que para obtener el título de :
QUIMICA FARMACEUTICA
BIOLOGA**

**P r e s e n t a :
MARIA HERLINDA MACIEL GONZALEZ**



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

México, D. F.

1993.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

Disposiciones legales.....	1
Características de aguas residuales.....	17
Tratamiento de aguas residuales.....	35
Control físico, químico y microbiológico.....	71
Factores que intervienen en la construcción de una planta de tratamiento.....	118
Conclusiones.....	133
Bibliografía.....	138

DISPOSICIONES LEGALES

El agua como elemento condicionante de vida es un factor importante en el asentamiento de pueblos, alrededor de ríos, lagos o mares se propicia con esto el crecimiento de las poblaciones, con la consecuente aparición de mercados en primer término y posteriormente la industria (9).

Las corrientes de agua desde el principio garantizaban el consumo de la población en calidad y cantidad y a la vez servía de vehículo para transportar los residuos de toda índole vertidos por sus habitantes. Por lo tanto no es un hecho nuevo la contaminación de las aguas, pero lo que sí resulta notable es la diferencia en cuanto a las cantidades vertidas y a la calidad de los residuos vertidos llegando a constituir en la actualidad un serio problema en todos los países del mundo, así pues se ha establecido a través de normas, que la industria química lleve a cabo el tratamiento de las aguas de desecho antes de vertirlos a los cuerpos receptores (9).

La contaminación consiste en la incorporación de gérmenes patógenos, materia orgánica, materia en suspensión, grasas y petróleo, ácidos y bases, sales, elementos tóxicos y elevación de la temperatura, como características más representativas (9).

Los efectos originados por la contaminación inciden sobre la salud física y social y a la vez sobre la economía de un país.

Cuáles son estos perjuicios ?

1.- Los recursos de agua en un país no son ilimitados y como las necesidades van creciendo de acuerdo a su desarrollo de población e industrial, se plantea el problema de su escasez, por la contaminación creciente en los vertidos.

2.- El empleo de una agua contaminada para usos doméstico o riego puede producir daños que afectan a la salud pública dando origen a enfermedades, muchas de ellas con carácter de epidemia, motivadas por la presencia de gérmenes o elementos tóxicos, debido a esto se producen gastos por enfermedades hídricas, con la consecuente disminución de la productividad y pudiendo llegar la muerte.

3.- Es necesario igualmente tener en cuenta la repercusión social de la contaminación de las aguas. Un río o una zona costera contaminados no pueden cumplir su misión de zona de recreo y esparcimiento, para la práctica de deportes náuticos o pesca; esto trae repercusión sobre el valor de los terrenos, así como la pérdida de ingresos y divisas por la probable disminución de visitantes ante el miedo de los efectos que pueden tener la contaminación.

4.- Los perjuicios originados en las especies piscícolas,

crustáceos y moluscos son importantísimos, ya que muchas de ellas desaparecen al disminuir la cantidad de oxígeno, por la temperatura de los vertidos que modifican igualmente su medio; algunas son destruidas por tóxicos, otras especies se desarrollan alimentándose en zona de aguas contaminadas convirtiéndose en vehículos de transmisión de bacterias y virus; también hay pérdida de las cosechas y disminución de la fertilidad del suelo agrícola.

La repercusión en la economía es también un factor importante, debido al control riguroso y tratamiento adecuado de las aguas contaminadas, ya que se realizan gastos importantes al efectuar estos procesos. Lo cierto es que nos encontramos en el momento actual con un problema candente al que se ha llegado por una serie de factores que afectan a la infraestructura del abastecimiento y saneamiento.

El gobierno mexicano a reglamentado la disposición de aguas residuales en los suelos. A continuación se establece los lineamientos técnicos y sanitarios a que debe sujetarse la práctica de vertidos de aguas residuales en suelos.

El agua, como recurso vital de la Nación Mexicana es claramente tratado en el artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que señala

"La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originalmente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ella a los particulares, constituyendo la propiedad privada". Además señala que: "La Nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de aprobación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana. En consecuencia, se dictaran las medidas necesarias para ordenar los asentamientos humanos y establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques, a efecto de ejecutar obras públicas y de planear y regular la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población; para el fraccionamiento de latifundios; para disponer, en los términos de la Ley Reglamentaria, la organización y explotación colectiva de los ejidos y comunidades; para el desarrollo de la pequeña propiedad agrícola en explotación para la creación de nuevos centros de población agrícola con tierras y aguas que les sean indispensables; para el fomento de la agricultura y para evitar la destrucción de los elementos naturales y los da-

nos que la propiedad pueda sufrir en perjuicio de la sociedad"... Por lo tanto, con fundamento en este artículo podran tomarse medidas para evitar la destrucción de los elementos naturales", como es la contaminación del suelo o del agua por la disposición inadecuada de las aguas residuales.

La fracción XVII del artículo 73, confiere al Congreso de la Unión la facultad de expedir las leyes sobre el uso y aprovechamiento de las aguas de jurisdicción federal y el artículo 89, fracción 1, establece como facultad del Presidente de la República la de "Promulgar y ejecutar las leyes que expida el Congreso de la Unión, proveyendo en la esfera administrativa a su exacta observancia".

El marco constitucional da pauta para ampliar mediante disposiciones reglamentarias, las normas generales que establecen en esta materia. Para este efecto han sido expedidas diversas disposiciones de carácter jurídico que reglamentan el uso, aprovechamiento y explotación de las aguas propiedad de la Nación y la protección del ambiente. De las disposiciones de interés esta la Ley Federal de Aguas, la Ley Federal de Protección al Ambiente y la Ley General de Salud.

En 1926 fue promulgada la Ley de Irrigación con Aguas Federales. A esta siguieron gran cantidad de leyes y reglamentos que normaron diversos aspectos del manejo y control del agua. Dada la diversidad de ordenamientos legales que privan en la materia, el 30 de Diciembre de 1971 se expidió la Ley Federal de Aguas. Esta Ley reglamenta las disposiciones, en materia de aguas, del los párrafos quinto y sexto del artículo 27 de la Constitución Política y tiene por objeto regular la explotación, uso y aprovechamiento de las aguas, propiedad de la Nación; declarado en su artículo 2°. de utilidad pública, entre otro, lo siguientes:

- las obras de riego, drenaje, desagüe, control de avenidas y defensa contra inundaciones de poblaciones y de terrenos agrícolas;
- los estudios y trabajos de obras hidráulicas;
- las obras de infiltración para conservar y reabastecer mantos acuíferos;
- las obras y servicios de agua potable y alcantarillado;
- la adquisición de obras hidráulicas de propiedad privada, cuando sea necesario incorporarlas a un sistema general hidráulico establecido o por establecer;
- la prevención y el control de la contaminación de las aguas cualquiera que sea su régimen legal, en los términos de la Ley Federal de Protección al Ambiente y demás disposiciones aplicables;
- la adquisición de los bienes que se requieran para la

construcción, rehabilitación, mejoramiento, operación, conservación y desarrollo de las obras hidráulicas y demás instalaciones conexas a que se refiere esta Ley, así como la construcción de vías de comunicación necesarias para su desarrollo y explotación.

En su artículo 16 se establece que compete al Ejecutivo Federal "suspender todos aquellos aprovechamientos, obras y actividades que dañen los recursos hidráulicos nacionales o afecten el equilibrio ecológico de una región"... y en su artículo 17 establece que a la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos compete la facultad de regular la explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales y las condiciones en que se hayan de arrojar en las redes colectoras, cuencas, cauces, vasos y demás depósitos y corrientes de agua, así como infiltración, procurando evitar, en todo caso, la contaminación que ponga en peligro los sistemas ecológicos (28).

En el artículo 111 se indica: La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos podrá realizar obras de infiltración para abastecer los acuíferos. Los organismos públicos o los particulares podrán realizar estas obras mediante permiso que les otorgue la Secretaría, previa aprobación de los proyectos que, que en todos los casos, deberán de contener medidas para evitar la contaminación de acuífero (28).

En el año de 1971 se expidió la Ley Federal para prevenir y controlar la Contaminación Ambiental, en la que se incluyeron apartados referentes a al prevención y control de la contaminación de aguas y suelos. El 30 de Diciembre de 1981 se expidió la Ley Federal de Protección al ambiente, la cual abrogó la Ley anterior. En 1983 se reformaron, adicionaron y derogaron diversas disposiciones de esta ley (28).

En su artículo 3'., indica "Serán motivo de prevención y control por parte del Ejecutivo Federal, los contaminantes y sus causas, cualesquiera que sea su procedencia y origen, que en forma directa dañen o degraden los ecosistemas, los recursos o bienes de la Nación, o la salud de la población, o el paisaje" (28).

La aplicación de esta ley compete al Ejecutivo Federal por conducto de la Secretaria de Desarrollo Social. Esta ley regula en su capítulo tercero, la protección de las aguas.

En el artículo 21 se menciona: "Se prohíbe descargar sin un previo tratamiento, en las redes colectoras, ríos, cuencas, cauces, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua o infiltrar en terrenos, aguas residuales que contengan contaminantes, desechos, material radioactivo o cualquier otra sustancia dañina a la salud

de las personas, a la flora, a la fauna, o ha los bienes. La Secretaría de Desarrollo Social, en coordinación con las de Agricultura y Recursos Hidráulicos y Salud dictara las normas para el uso o aprovechamiento de las aguas residuales y la primera fijara las condiciones de vertimiento en las redes colectoras, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, así como para infiltrarlas en terrenos, de conformidad con la reglamentación correspondiente. Así mismo se prohíbe el almacenamiento de aguas residuales que no se ajusten a las disposiciones y especificaciones que al efecto determine la Secretaría de Desarrollo Social de acuerdo al reglamento respectivo" (28).

Artículo 22.- Las aguas residuales provenientes de uso públicos, domésticos, industriales o agropecuarios que se descarguen en los sistemas de alcantarillado de las poblaciones o en las cuencas, ríos, cauces, vasos y demás depósitos o corrientes, así como los que por cualquier medio se infiltren en el subsuelo y, en general las que se derramen en los suelos, deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir:

- I. Contaminación de los cuerpos receptores;
- II. Interferencias en los procesos de depuración de las aguas;
- III. Trastornos, impedimentos o alteraciones en los co-

rectos aprovechamientos, o en el funcionamiento adecuado de los sistemas de alcantarillado.

Para descargar aguas residuales, deberán construirse las obras e instalaciones de tratamiento que sean necesarias a juicio de la Secretaría de Desarrollo Social, en coordinación con las de Salud, de Agricultura y Recursos Hidráulicos, de Energía y Minas e Industria Paraestatal y de Comercio y Fomento Industrial, entre otras, dentro del campo de sus respectivas competencias. En su caso el Ejecutivo Federal podrá celebrar acuerdos en la materia con los gobiernos estatales y municipales (28).

La Ley establece claramente la prohibición de infiltrar en terrenos agua que contenga contaminantes, excepto en las condiciones que fije la Secretaría de Desarrollo Social, de conformidad con la reglamentación correspondiente (artículo 21) y enfatiza que las aguas residuales que se infiltren en el subsuelo y, en general las que se derramen en los suelos, deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir: la contaminación de los cuerpos receptores y daños en los mantos acuíferos (artículo 28).

Por otro lado, en el artículo 34 se indica "Queda prohibido descargar, depositar o infiltrar contaminantes en los suelos sin el cumplimiento de las normas reglamen-

tarias y los lineamientos técnicos correspondientes que para tal efecto se expidan..." y el artículo 36 "Los residuos sólidos o cualquier otro tipo de contaminantes... que se acumulen o puedan acumular y por consiguiente se depositen o infiltren en el suelo o subsuelo, deberán contar con previo tratamiento a efecto de reunir las condiciones necesarias para prevenir y evitar:

- I. La contaminación del suelo;
- II. Las alteraciones nocivas en el proceso biológico de los suelos;
- III. Las modificaciones, trastornos o alteraciones en el aprovechamiento, uso o explotación del suelo; y
- IV. La contaminación de los ríos, cuencas, cauces, lagos, embalses, aguas marinas, mantos acuíferos, aguas subterráneas y otros cuerpos de agua..."

Estos dos artículos refuerzan la base legal para el establecimiento de Reglamentos o lineamientos técnicos que regulen la disposición de aguas residuales al suelo.

De la Ley de Aguas Nacionales en su capítulo único, artículo 85 "Es de interés público la promoción y ejecución de las medidas y acciones necesarias para proteger la calidad del agua, en los términos de la ley y en su artículo 87 "La Comisión" determinará los parámetros que deberán cumplir las descargas, la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de aguas nacionales y las

cargas de contaminantes que éstos pueden recibir, así como las metas de calidad y los plazos para alcanzarlas, mediante la expedición de Declaratorias de Clasificación de los Cuerpos de Agua Nacionales, las cuales se publicarán en el Diario Oficial de la Federación, lo mismo que sus modificaciones, para su observancia (3).

Las personas físicas o morales requieren permiso de "La Comisión" para descargar en forma permanente, intermitente o fortuita, aguas residuales en cuerpos receptores... mencionado en artículo 88, en el caso de sobrepasarse en la descargas, la Ley Federal de Derechos en Materia de agua en el capítulo 14, artículo 276.- Están obligados a pagar el derecho por uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales, las personas físicas o morales que descarguen en forma permanente, intermitente o fortuita aguas residuales por arriba de las concentraciones permisibles conforme a la, normatividad vigente en ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, así como los que descarguen aguas residuales en los suelos o las infiltren en terrenos, que sean bienes nacionales.

El artículo 277 que "Para los efectos de la presente Ley se considera (11).

I.- Aguas residuales: Los líquidos de composición variada proveniente de los usos domésticos, incluyendo fraccionamiento, agropecuario, industrial, comercial, de servicios o de cualquier otro uso, que por este motivo haya sufrido degradación de su calidad original.

II.- Demanda bioquímica de oxígeno: Medida de control de la calidad del agua, que corresponde a la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de degradación oxidante fuerte en medio ácido, que conforme a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, antes de la descarga a un cuerpo receptor, debe ajustarse a los máximos permisibles contenidos en las normas técnicas ecológicas y condiciones particulares de descarga fijada por la autoridad competente, y que se miden conforme a las normas oficiales expedidas por la misma.

III.- Sólidos totales suspendidos: Medida de control de la calidad del agua, que corresponde al contenido de partículas orgánicas o inorgánicas suspendidas en el agua con un diámetro mayor de una micra, que pueden ser sedimentadas por acción de la gravedad, que conforme a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, antes de la descarga a un cuerpo receptor, deben ajustarse a los máximos permisibles contenidos en las normas técnicas ecológicas y condiciones particulares de

descargas fijadas por la autoridad competente, y que se miden conforme a las normas expedidas por la misma.

IV.- Descarga: La acción de verter aguas residuales a un cuerpo receptor, cuando dicho cuerpo es un bien del "dominio público de la Nación".

En el artículo 282 se menciona lo siguiente No estarán obligados al pago del derecho federal a que se refiere el presente capítulo:

I.- Los usuarios que cumplan con las normas técnicas ecológicas o las condiciones particulares de descarga a aguas residuales, en su caso, en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

II.- Los usuarios a quienes no se les haya fijado normas de concentración máxima permisible en su descarga, pero que la concentración promedio de demanda química de oxígeno en su descarga sea igual a inferior a 300 miligramos por litro y la concentración de sólidos suspendidos totales sea igual o inferior a 30 miligramos por litro.

Y por último se menciona lo que dice el artículo 286.- Los ingresos que se obtengan por los derechos a que

se refiere este capítulo, se destinarán a la Comisión Nacional del Agua, para cubrir los gastos de operación, conservación, mantenimiento, inversión y financiamiento de infraestructura hidráulica, hasta el monto que señale el presupuesto de egresos que le hubiere sido autorizado para el ejercicio.

La parte de los ingresos que exceda el límite señalado en este artículo no tendrá destino específico y se enterará a la Tesorería de la Federación a más tardar en el mes siguiente a aquél en que se obtuvo el ingreso.

CARACTERISTICAS DE AGUA DESCARADAS

Ya se ha mencionado que el agua constituye por si misma el hábitat natural de muchos y muy diversos nichos ecológicos de un valor incalculable para el hombre. Constituye también un elemento esencial para la vida misma, para la explotación de recursos naturales y para todas las actividades humanas.

Se sabe que el agua se presenta corrientemente, en las condiciones ambientales en los tres estados: gaseoso, líquido o sólido y su importancia fisicoquímica es tal que las temperaturas de transformación de un estado a otro han sido tomadas como puntos fijos. Es por lo tanto, un líquido con grandes características entre las cuales se encuentran como mas importantes:

- 1.- El valor máximo de su densidad la presenta el agua líquida a la temperatura de 3.98°C.
- 2.- Como consecuencia de lo anterior, sufre una expansión al solidificarse.
- 3.- Tiene una tensión superficial muy elevada.
- 4.- Calor específico alto.
- 5.- Un gran calor latente de fusión.
- 6.- Conductividad térmica elevada.
- 7.- Fuerte poder ionizante y corriente dieléctrica elevada.
- 8.- Gran poder disolvente.

9.- Propiedades de combinación.

10.-Propiedades oxidantes y reductores (17).

El agua es vital para el metabolismo de los seres vivos, como agente físico y fisicoquímico está estrechamente ligado al de las sales minerales, que condiciona la mineralización del organismo.

En efecto los seres vivientes no consumen agua químicamente pura, ya que de lo que se dispone es de agua natural, la cual es una solución de numerosas sustancias más o menos concentradas en el agua. Estas aportan propiedades particulares, tanto favorables como desfavorables.

Usos del agua:

DOMESTICA: Bebida, usos domésticos, higiene personal, higiene de la vivienda, vehículo para eliminar residuos varios, etc.

COMERCIAL: Higiene, vías de comunicación, etc.

INDUSTRIAL: Fuentes de energía, incorporada a diversos productos manufacturados, como elemento auxiliar de fabricación, como refrigerante y transportadoras de calor y para fines generales.

AGRICOLA: Riegos, lavado de terrenos, etc.

PUBLICICO: Demanda de incendios, higiene de poblaciones (17).

Las descargas de desecho en el medio ambiente pueden impartir al agua propiedades distintas de las naturales de muy diversas maneras, cualquiera que sea la naturaleza de los desechos, al ser vertidos en el agua en ella o en su receptáculo ciertos cambios favorables o desfavorables proporcionales a la cantidad de los materiales descargados. La presencia en el agua de materiales persistentes o no persistentes pueden hacer que se alteren sus características hasta el grado de hacerla inútil para un servicio determinado y es entonces cuando debe considerarse que esta agua está contaminada.

La cantidad de contaminantes adicionados a un cuerpo de agua, es función lineal del uso que cubrió el agua al ser utilizada, es decir, urbana agrícola o industrial, siendo las de tipo urbano e industrial las que producen aguas residuales con mayor cantidad de contaminantes, ya que más del 60% de la población habita en zonas urbanas.

La calidad del agua proveniente de la industria está en función de los artículos producidos y del proceso empleado para fabricarlos.

El abastecimiento de agua en el valle de México es el siguiente:

a) Para uso Urbano (doméstico, comercio y servicios privados): 48.9 m /s, que proporciona el gobierno del Departamento del D.F. en un 34%, del gobierno del estado de México en 21% y la CNA, a través de la gerencia de aguas del Valle de México en 45%.

b) Para uso Agrícola: 8.7 m /s de escurrimientos superficiales y de agua subterránea extraída del acuífero del Valle de México.

c) Para uso Industrial (industria y uso municipal): 11.2 m /s, procedentes también del acuífero del Valle de México. Se entiende por usos municipales al agua que se destina para el riego de zonas verdes y cementerios, regulación de vasos, agua para actividades recreativas sin contacto primario directo, agua contra incendio y en general actividades que no contemplen consumo o contacto humano directo. Esto nos da un total de 68.8 m /s.

Para cubrir la demanda de los usos mencionados, se extrae agua del acuífero del Valle de México por lo que ocasiona una sobre explotación que es del orden de 140%. La sobre explotación produce efectos como: el abatimiento del nivel freático, hundimientos y agrietamientos del te-

rreno, fallas en las estructuras, deterioro de la calidad por contaminación geológica. Esto plantea la necesidad de disminuir la sobreexplotación del acuífero y promover el uso más eficiente del agua.

Por su procedencia las aguas de desecho o aguas residuales se pueden clasificar en: agrícolas, domésticas, industriales y pluviales.

d) Aguas Agrícolas: Las aguas de retorno de riego contienen sales, abonos, pesticidas y residuos de sustancias químicas. Las que proceden de usos pecuarios como limpieza establos, especialmente de ganado porcino, pueden aportar grandes cantidades de estiércol y orines.

e) Aguas Domésticas: Proviene de las viviendas, tienen alto contenido de excremento, basura, papeles, productos de limpieza, jabones, detergente, residuos de alimentos crudos y cocinados. Su color es gris y contiene gran diversidad de materiales flotantes. Químicamente poseen los compuestos complejos de nitrógeno de los excrementos humanos y de los fósforos de los detergentes, además de los que se hallan en la materia orgánica. Contienen gran cantidad de microorganismos, algunos de ellos patógenos. Tienen un bajo contenido de materia en suspensión.

f) Aguas Industriales: Proviene del enfriamiento, de lavados y de los procesos en las plantas industriales. Su contenido depende del tipo de industria y de los procesos que usan. Contienen químicos diversos; que pueden ser peligrosos por sus características corrosivas, explosivas, tóxicas, radioactivas, inflamables e infecciosas. Los residuos orgánicos de la industria papelera pueden ser iguales o más importantes que los de una comunidad media de habitantes.

Los principales contaminantes de la industria química: son los ácidos, residuos químicos orgánicos, fenoles, materiales tóxicos orgánicos, residuos químicos y elevación de la temperatura.

g) Aguas Pluviales: En el agua de lluvia que arrastra la suciedad que se encuentra a su paso. De allí la importancia de disponer en forma adecuada los desechos sólidos o basuras, pues sus elementos pueden ser arrastrados por los escurrimientos.

Los contaminantes más comunes en las aguas residuales industriales son:

a) Sólidos sedimentables totales y suspendidos totales producen los siguientes problemas: Dan mal aspecto al agua, causan turbidez que dificulta la entrada de la luz a capas inferiores. Si son más pesados que el agua se depo-

sitan en el fondo, cuando las corrientes son lentas o nulas ahogan la vida vegetal y animal del mismo, tapando los orificios o grietas que sirven de refugio a los peces o para desove de los mismos. Si estos depósitos son muy abundantes forman bancos que obstaculizan la navegación, llenan los cauces de los ríos propiciando las inundaciones o disminuyendo la capacidad de los lagos y presas. Si son mas ligeros, flotan, formando una nata que obstruye el paso de la luz y del oxígeno del aire. Los sólidos no disueltos pueden destruir los lugares de recreo, forma fango en las playas o llevando suciedad en la superficie. También se dificultan las tomas de agua, porque obstruyen los cedazos, o porque forman bancos de depósitos que obligan a establecer tomas mucho más adentro en grandes masas de agua. Los sólidos de origen orgánico son también consumidores de oxígeno, se pudren y producen mal olor. Cuando las aguas se utilizan para regar, los sólidos minerales inorgánicos u orgánicos se depositan en los terrenos y dependiendo de su naturaleza pueden volverla estéril poco a poco.

h) Las sustancias orgánicas disueltas ocasionan estos problemas: En presencia de materia orgánica los microorganismos se activan consumiendo esta y también el oxígeno del agua que requieren para vivir. Al acabarse el oxígeno, esos microorganismos perecen y se desarrollan otros que no requieren oxígeno (anaerobios). La descompo-

sición de la materia orgánica continua, con producción de ácido sulfhídrico; que le imparte el característico olor a podrido de las aguas contaminadas. La cantidad de materia orgánica se mide con un indicador denominado DBO (demanda bioquímica de oxígeno) que mide la cantidad de oxígeno necesaria para que los microorganismos descompongan la materia orgánica. Si hay sustancias orgánicas que no pueden consumir los microorganismos por falta de enzimas que las descompongan previamente, no biodegradables, se usa la DQO (demanda química de oxígeno). Es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente todas las sustancias orgánicas. Esta presencia de materia orgánica pueden afectar hasta aguas subterráneas, llevándoles microorganismos patógenos y comunicándoles mal sabor y olor.

i) Los detergentes: Facilitan la formación de espuma que se mantienen en la superficie e impiden el paso de la luz y del oxígeno y ocasionan problemas de disminución en la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Debido a la estructura ramificada de algunos de ellos se retrasa su degradabilidad implicando su toxicidad un peligro para la fauna y flora de los ríos.

d)pH: Los valores altos o bajos de pH, afectan la vida acuática, son los ácidos y bases presentes en las aguas de desecho los que alteran el pH y son altamente i-

rritantes para el organismo humano, principalmente para los ojos; son corrosivos, afectan tuberías, embarcaciones e instalaciones, y construcciones en contacto con el agua contaminada, principalmente los drenajes, dificultan o impiden la actividad de los microorganismos en los tratamientos como son los filtros percoladores y lodos activados, etc.

j) Oxígeno disuelto: El oxígeno disuelto no es contaminante pero su ausencia hace inadecuada el agua para la vida ya que: Los peces, las plantas y los microorganismos aerobios no pueden vivir en ausencia de oxígeno. La ausencia de oxígeno disuelto, favorece también el crecimiento de organismos anaerobios que producen la putrefacción de la materia orgánica y por lo tanto, los malos olores y sabores.

k) Bacterias coliformes totales: Se les denomina también bacilos entéricos, su origen es intestinal humano o animal, se considera que los coliformes fecales son más seguros como indicadores de contaminación fecal que los enterococos.

l) Los materiales sólidos disueltos. Estos son perjudiciales porque originan cambios en la presión osmótica deshidratando las células de los organismos vivos.

m) Los nutrientes: Estos compuestos propiamente son: nitrógeno, fósforo y potasio que favorecen el crecimiento excesivo de la flora acuática (algas) la cual al morir constituye un gran demandante de oxígeno.

n) Sustancias tóxicas: Este tipo de sustancias causan serios trastornos en los diferentes seres vivos, ejemplo: cianuros, cloruros, arsénico, etc.

o) Temperatura: Los cambios de temperatura modifican el equilibrio ecológico del cuerpo receptor y también disminuye la cantidad de oxígeno disuelto.

p) Color: Los componentes presentes en las aguas residuales absorben una cierta longitud de onda de luz y refleja las restantes, un hecho conocido para indicar la razón de color en los ríos. Interfiere en la transmisión de la luz solar en la corriente y por lo tanto disminuye la acción de la atmósfera.

q) Aceite: La contaminación por aceite es una consecuencia casi inevitable de la dependencia de una tecnología basada en el petróleo. El término aceite en el contexto ambiental se refiere no únicamente al petróleo crudo, sino también a los productos del petróleo refinado. Los problemas de contaminación por aceite deben ser pensados en términos de corto y largo plazo. Los efectos

a corto plazo son notorios y son los que reciben más publicidad, los efectos a largo plazo ocurren lentamente y son objeto de varios estudios. Los efectos a corto plazo se dividen en dos categorías:

1.- Aquellos causados por la película de aceite que tienen los siguientes efectos: Impiden el paso de la luz, retardando el proceso de fotosíntesis de las plantas marinas. Reducen la cantidad de oxígeno por el agua, ocasionando una disminución en el contenido del oxígeno disuelto en aguas contaminadas comparativamente con aguas limpias lo que originan la muerte de seres aerobios por asfixia. Dañan las aves marinas. Las aves son cubiertas por aceite provocando que su plumaje se compacte y les impide volar, por lo que no es posible que realicen sus inmigraciones y algunas mueran rápidamente.

2.- Aquellos que resultan de la toxicidad del aceite mismo.

r) Metales tóxicos: La contaminación del agua tiene muchas y variadas fuentes de origen por ejemplo: pesticidas, detergentes, aceites, etc. y recientemente los metales tóxicos han sido identificados como una nueva forma quizá la más peligrosa de todas. Aquí mencionamos algunos: el mercurio, el plomo, el cobre, el cobalto, el cromo, el hierro.

s) Pesticidas: Constituye una clase de compuestos químicos ahora reconocidos. Alguno de los cuales se les conoce por sus nombres comerciales tales como: DDT, Aldrina, Clordano, Dieldrina Heptacloro, Askareles, Endrin, Lindano, Metoxicloro, Toxafeno y Fosfatos orgánicos con carbamatos. Estos pesticidas fueron inicialmente celebrados como uno de los descubrimientos del siglo XX. Son fáciles de elaborar, baratos y constituyen venenos eficaces; sin embargo, estos compuestos clorados presentan los siguientes inconvenientes:

- 1.- Son venenos universales.
- 2.- Se degradan lentamente.
- 3.- Son solubles en grasas y por lo tanto en el organismo se depositan en ellas. (17).

t) Lixiviado. Otro de los principales problemas para el medio es la disposición de los desechos sólidos en cualquiera de sus formas. La lixiviación, se producen al colocar los residuos en el suelo, cuando de alguna manera entran en contacto con el agua. Los principales factores que producen los lixiviados son la eventual inundación de los residuos por aguas subterráneas y por la lluvia. Cuando esta última cae sobre la superficie del vertedero (lugar donde se depositan los residuos sólidos); este, cubierto o no, producirá un escurrimiento en proporción directa al volumen que se haya precipitado y su salida del vertedero dependerá del tipo de terreno, de las pen-

dientes que tenga y del tipo de vegetación que pudiera existir en el lugar (18).

De las 320 cuencas existentes en el país, 12 reciben el 54% de la carga orgánica desechada. Las ciudades que generan mayor descarga de aguas negras son la de México (45 m /s), Guadalajara (8.5 m /s) y Monterrey (9.6 m /s). De las 90 ciudades con mas de 40,000 habitantes, únicamente se ha otorgado certificado de calidad del agua potable a dos de ellas: México y Puerto Vallarta (30).

Las deficiencias de equipo sanitario y el inadecuado mantenimiento de sistemas de abastecimiento propicia que la potabilidad del agua disminuye un 50%. Las industrias que más contaminan los cuerpos de agua son la azucarera, celulosa y papel, petrolera petroquímica y química.

De las 320 cuencas hidrológicas con que cuenta México las siguientes son las que mayor problema de contaminación, a continuación se enlistan en orden decreciente:

- | | |
|-----------------|-----------------|
| 1.- Panuco. | 7.- Culiacan. |
| 2.- Lerma. | 8.- El Fuerte. |
| 3.- Balsas. | 9.- Coahuayana. |
| 4.- Río Blanco. | 10.- Nazas. |

5.- Guayalejo

11.- Conchos (30).

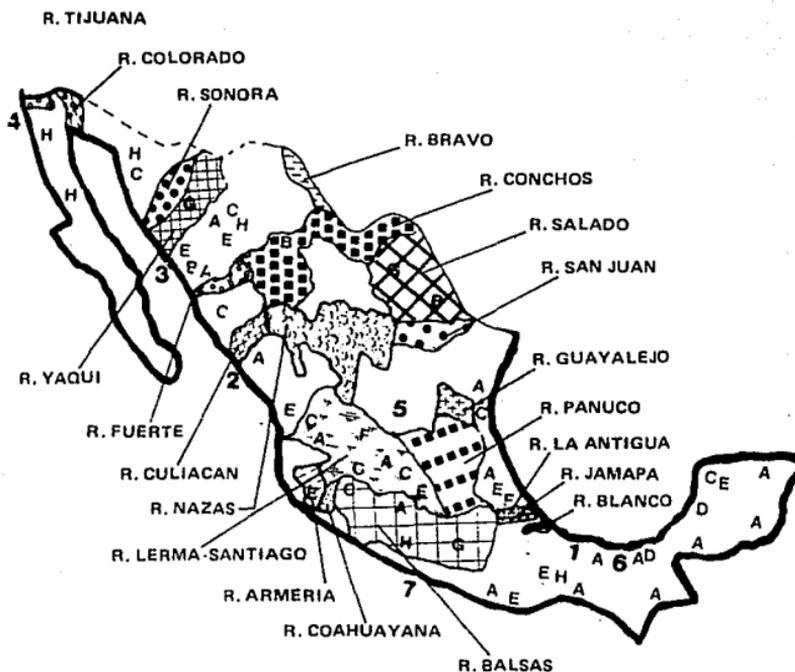
6.- San Juan.

La cuenca Lerma-Chapala-Santiago tiene el 2° lugar y es la que mayor atención requiere, ya que sus fuentes de contaminación se encuentran diseminadas a lo largo de la cuenca. Las descargas principales son de la población, industria azucarera, productos químicos, petróleo y petroquímicos, bebidas alcohólicas, productos lácteos y la industria textil.

El área mas industrializada es la del corredor Queretaro-Celaya-Salamanca-Irapuato. Las descargas se originan principalmente en industrias de refinación de petróleo, petroquímica, productos químicos, procesamiento y empaque de alimentos, elaboración de productos lácteos, elaboración azúcar y alcohol de caña, entre otras.

La cuenca del Panuco es la que mayor carga orgánica soporta, debido principalmente a la influencia del Distrito Federal, que aporta el 93% del total.

En el estado de Veracruz, el primer punto de contaminación lo constituyen las descargas municipales de las poblaciones ubicadas sobre o cerca de las riberas del Río Blanco. Las descargas de aguas residuales industriales provienen de la industria textil, de cervecera, de la



ZONAS CRITICAS

- 1) Coatzacoalcos, Ver.
- 2) Mazatlan, Sin.
- 3) Guaymas, Son.
- 4) Ensenada, B.C.
- 5) San Luis Potosí, S.L.P.
- 6) Villahermosa, Tab.
- 7) Acapulco, Gro.

GIROS PRIORITARIOS

- A) Industria Azucarera
- B) Química
- C) Celulosa y Papel
- D) Petróleo y petroquímica
- E) Bebidas
- F) Textiles
- G) Siderúrgica
- H) Alimenticia

CUENCAS PRIORITARIAS

[Pattern]	Lerma-Santiago
[Pattern]	Pánuco
[Pattern]	San Juan
[Pattern]	Balsas
[Pattern]	Blanco
[Pattern]	Culiacán
[Pattern]	Colorado
[Pattern]	Fuerte
[Pattern]	Nazas
[Pattern]	Jamapa
[Pattern]	La Antigua
[Pattern]	Sonora
[Pattern]	Guayalejo
[Pattern]	Yaqui
[Pattern]	Salado
[Pattern]	Conchos
[Pattern]	Armeria
[Pattern]	Coahuayana
[Pattern]	Tijuana
[Pattern]	Bravo

industria de la celulosa y papel y de la producción de café. En esta zona del país se tienen grandes problemas de contaminación de sustancias tóxicas, sobre todo de origen químico o petroquímico, a lo largo de la corriente hasta las lagunas de Alvarado.

En la cuenca de los ríos Zahuapan y Atoyac, en los estados de Tlaxcala y Puebla, se tienen problemas sobre todo en el tramo inicial del río Zahuapan, producido principalmente por las aguas residuales de fábricas de celulosa y papel, textiles, productos lácteos y productos químicos.

La contaminación de la cuenca del río Guayalejo, así como la del río Culiacan, debe principalmente a la industria azucarera. La cuenca del río San Juan está afectada por las descargas de la industria metalúrgica, beneficio de minerales, embotelladoras, productos químicos, textiles, cerveceras, de papel y productos conexos.

La cuenca del río Fuerte tiene las descargas de la industria azucarera, productos químicos y elaboración de productos del mar. A la cuenca del río Coahuayana van las descargas de la industria azucarera y la industria papelera. En la cuenca del río Nazas las descargas principales son de las industrias metalúrgicas, productos químicos y productos lácteos. A la cuenca del río Conchos van

las descargas de las industrias del cuero, papel, petroquímicos, productos químicos y extractiva.

Como puede verse, en México las cuencas hidrológicas que reciben descargas de la industria de pulpa y papel son: Río blanco, Zahuapan y Atoyac, San Juan, Coahuayana, Nazas y Conchos.

Entre las principales poblaciones que contribuyen a la aportación de contaminantes en dichos cuerpos de agua se encuentra la ciudad de Apizaco, en el estado de Tlaxcala. En esta ciudad las descargas principales corresponden a efluentes municipales, industria de celulosa y papel y de productos químicos; las cuales van sin tratamiento previo a ríos y arroyos, desembocando los ríos Atenco y Zahuapan a la barranca de Atlixco (30).

MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Los peligros que pueden provocar los desechos al ser arrojados al medio ambiente han sido y seguira siendo una de las principales preocupaciones de la humanidad. Lógicamente la calidad del agua presente en los rios, mares y lagos, se ve afectada por los contaminantes arrojados a ella, causando una transformación de ellos como ha sucedido por ejemplo: en el río de los Remedios, el río Tula, el río Lerma, etc., debido a que las aguas residuales industriales, fluyen muchas de ellas de las áreas de proceso a los cuerpos receptores a través del sistema de alcantarillado (2).

El agua residual al llegar a los rios, lagos o mares entra en contacto con factores propios del cuerpo receptor, que pueden ser físicos, químicos y biológicos por lo tanto empieza a sufrir una serie de transformaciones, independientes de la actividad humana, dando hasta hace poco tiempo la autopurificación del agua.

El proceso de autopurificación tiene un límite o sea su capacidad de asimilación, ya que al sobrepasar este límite el cuerpo receptor ya no recupera sus condiciones, originales debido a la gran cantidad de contaminantes que llegan a ella. Por eso es conveniente, para evitar cualquier lesión directa o indirecta a la ecología reali-

zar al agua, un tratamiento para disminuir hasta dónde sea posible, los perjuicios que se presentan en mayor o menor nivel en el agua cuando se encuentra contaminada, el tratamiento debe hacerlo en la mayoría de las ocasiones, directamente la industria o las plantas construidas para esto.

Hay que tener en cuenta que la mejor manera de controlar la contaminación, es no producirla o disminuirla, esto se puede lograr si se hacen las siguientes concideraciones:

- 1.- Mediante cambios y/o mejoras en los procesos industriales, pudiendo con esto reducir la generación de contaminantes.
- 2.- Evitar la mezcla de desechos, mediante la separación, clasificación y concentración de los mismos.
- 3.- En la medida de lo posible, reciclar los desechos industriales.
- 4.- Las sustancias tóxicas deben ser destoxificadas, separadas y destruidas.
- 5.- Y disponer de una manera segura a las sustancias tóxicas.

Apesar de lo anterior, es muy probable que se tengan que emplear los tratamientos para mejorar la calidad del agua.

El capítulo segundo del Reglamento de la Prevención y Control de la Contaminación del agua menciona en su artículo 6o.- La prevención y control de la contaminación de las aguas, para preservar y restaurar la calidad de los cuerpos receptores, deberá realizarse, en los términos de este Reglamento, mediante los siguientes procedimientos (26):

I.- Tratamiento de las aguas residuales para el control de sólidos sedimentables, grasas y aceites, materia flotante, temperatura y potencial de hidrógeno (pH), y

II.- Determinación y cumplimiento de las condiciones particulares de las descargas de aguas residuales, mediante el tratamiento de estas, en su caso, de acuerdo con los estudios que la autoridad competente realice de los cuerpos receptores, su capacidad de asimilación, sus características de dilución y otros factores.

Enseguida se mencionan los máximos tolerables permitidos en las aguas residuales descargadas al alcantarillado (26).

I.- Sólidos sedimentables	1.0 ml/l
II.- Grasas y aceites	70 ml/l
III.- Materia flotante	ninguna que pueda ser retenida por malla de 3 mm de claro libre cuadrado.
IV.- Temperatura	35°C
V.- Potencial Hidrógeno pH	4.5 - 10.0

La clasificación de los tratamientos, esta hecha de acuerdo a los procesos que se llevan acabo en cada uno de ellos y para impartirle determinada calidad de acuerdo al uso que se le vaya a dar: El "tratamiento primario" el cual hace uso de operaciones unitarias físicas y químicas las cuales son: cribado, sedimentación, flotación, remoción de grasas, floculación y precipitación, etc., continuamos con el "tratamiento secundario" en el cual se hace uso de operaciones unitarias biológicas, que son: los filtros percoladores, lodos activados, lagunas de oxidación y aereación extendida, lagunas de estabilización: aerobias, facultativas, anaerobias, contacto anaerobio, discos rotatorios, etc., los cuales remueven del agua los contaminantes (materia orgánica biodegradable en solución) los cuales son convertidos a gases y tejido celular (nuevos microorganismos). El "tratamiento terciario o avanzado" hace uso de los siguientes procesos: micro-cribado, adsorción, clarificación, osmosis inversa, desgasificación, nitrificación-desnitrificación, etc. En la tabla 1 se presentan en forma reducida las funciones de algunos de los tratamientos más utilizados.

Aquí hablaremos de los tratamientos biológicos que más se han utilizado en la industria y haciendo referencia de la existencia de otros que no son tan frecuentemente empleados.

Tabla 1 (20).

Función de algunas operaciones y/o procesos en el tratamiento de aguas residuales.

Operación o Proceso	Contaminante removido
Sedimentación	Sólidos suspendidos
Tamizado	Sólidos suspendidos
Desmenuzado	Sólidos suspendidos
Filtración	Sólidos suspendidos
Flotación	Sólidos suspendidos
Coagulación/sedimentación	Sólidos suspendidos
Lodos activados	Compuestos orgánicos
Filtros percoladores	Compuestos orgánicos
Lagunas	Compuestos orgánicos
Cloración	Remoción de patógenos
Hipocloración	Remoción de patógenos
Ozonización	Remoción de patógenos
Desnitrificación	Remoción de compuestos nitrogenados.
Intercambio iónico	Remoción de nitrógeno
Coagulación	Remoción de fósforo
Adsorción con carbono	Comp. no biodegradables
Precipitación química	Metales pesados
Osmosis inversa	Sólidos inorgánicos

TABLA 2

Inventario de los sistemas de tratamiento de
aguas residuales, instalados en la República.
(1) (20)

Tipo de sistema	No. de instalaciones
Lodos activados	48
Lodos biológicos	42
Tanques Imhof	19
Sedimentadores primarios	13
Separadores API	11
Filtros rociadores	7
Zanjas de oxidación	3
Emisores submarinos	2

TABLA 3

Eficiencia de algunos Procesos de tratamiento de agua residual (20).

Sistema	% aprox. de remoción para		
	DBO	SS	bacterias
Sedimentación en plano	30-40	70-75	25-75
Tanques sépticos	25-65	40-75	40-75
Precipitación química	60-75	70-90	40-90
Sedimentación + lechos de secado.	50-75	70-90	40-80
Sedimentación + filtros de goteo.	80-90	80-90	90-95
Sedimentación + filtros de arena.	90-95	85-95	90-98
Lagunas de oxidación	75-97	-	99
Sedimentación + lodos activados.	85-95	85-95	90-98

SS sólidos suspendidos
DBO demanda bioquímica de oxígeno

Aunque son muchos los sistemas desarrollados, el número de ellos que se emplea en la práctica se ha visto restringido por alguna de las siguientes razones: tipo de desecho, eficiencia y volumen, infraestructura humana y material disponible, costo y, en general las condiciones socioeconómicas que prevalecen en la localidad donde se va a instalar determinada planta.

La tabla 2 presentan un inventario de las plantas construidas en el país hasta el año de 1981 y con la posibilidad de que entre el año 1986 y 88 se hayan rehabilitado 54 plantas de agua residuales municipales y construido los sistemas de control de contaminación del agua en Tlaxcala, Tlax., Ocotlán-Tequila, Jal., Aguascalientes Ags., Guaymas Son., San Luis Potosí, S.L.P., Gómez Palacios Dgo., y Ensenada, B.C., en la tabla se presenta en forma de resumen la eficiencia, que para diferentes propósitos se obtiene, con algunos de los tratamientos (20).

Los métodos de tratamiento químico y mecánico (separación primaria), no proporcionan una adecuada purificación y eliminación de los compuestos orgánicos, presentes en las aguas de desecho industriales; por lo tanto existe el "tratamiento secundario", en el cual intervienen microorganismos, en la tabla 3, se observan algunos de estos métodos de tratamiento biológico, otra forma de lo-

grarlo es con la ayuda de fenómenos naturales, como lo son la autopurificación de las aguas.

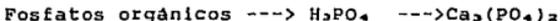
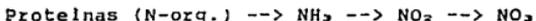
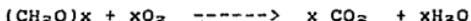
Conviene dejar claro que, si bien existen microorganismos patógenos, que pueden originar serios problemas sanitarios al hombre, por otro lado existen inmensas legiones de microorganismos, que colaboran con la naturaleza ayudando a un continuo reciclado, reutilización de la materia, cerrando ciclos tan importantes como los de carbono, nitrógeno, fósforo y azufre.

La dimensión de todas las instalaciones de tratamiento biológico, para la purificación de las aguas, debe ser tal que proporcione el espacio suficiente para que se desarrolle la actividad biológica; consecuentemente el diseño de estas instalaciones dependerá directamente de las capacidades de carga de desechos a tratar, de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), que refleja la materia orgánica que exista en el agua, mostrando el oxígeno necesario para alimentar a los microorganismos y las reacciones químicas y la temperatura de agua de desecho.

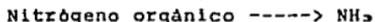
Las materias de tipo orgánico absorben de forma natural hasta su mineralización una cierta cantidad de oxígeno, debido a los procesos químicos o biológicos de oxidación que se producen.

El hecho que algunos compuestos naturales persistan y no sean degradados, puede deberse a no encontrarse en las condiciones ambientales adecuadas, no existir un organismo adecuado, pero si se reúnen estos factores y las sustancias persisten en el medio ambiente por extensos periodos, se les conoce como sustancias "recalcitrantes" o no biodegradables.

La eliminación de los materiales orgánicos de las aguas de desecho es el resultado de dos procesos que operan en los sistemas de tratamiento secundario. El primer proceso es el asentamiento, de los sólidos sedimentables y algunas partículas coloidales. El segundo proceso incluye una combinación de transformaciones bioquímicas que causan la oxidación y destrucción de los materiales orgánicos de desechos, que se tratan. Las cuatro reacciones biológicas principales que tienen lugar en una laguna fueron reportadas por Oswald 1968 y Gloyna 1969, como sigue (13):



Pero también se lleva acabo metabolismo anaerobio cuyas reacciones son las siguientes (13):



Estas ocho transformaciones bioquímicas representan, las reacciones fundamentales que tienen lugar en la mayoría de los procesos de tratamiento biológico que se emplean en la estabilización de agua de desecho contaminadas con materia orgánica.

En la tabla 2 se observa que las lagunas de estabilización y los lodos activados son los sistemas que más ampliamente se han utilizado y que junto con otros sistemas de tratamiento aerobio, son los que han dado cabida a la aplicación de la biotecnología en el diseño de las plantas de tratamiento.

Como se observa en las tablas, los sistemas biológicos son los más utilizados, no solo por su eficiencia, sino por ser más económicos y los que menor volumen de lodos residuales producen, ya que se caracterizan por aumentar la velocidad de autopurificación que se lleva aca-

bo en la naturaleza e incorporando con ello la mayor cantidad de nutrientes a los ciclos biológicos.

En el caso particular de que los materiales por degradar sean desechos orgánicos sintéticos, estos no han permitido una evolución de los sistemas microbianos para poder degradarlos, sin embargo, cuando un sistema microbiano se enfrenta a desecho de este tipo, cuando lo degrada lo hace en base a similitudes de tipo estructural que el desecho sintético tiene con compuestos orgánicos naturales. En el caso en que no se lleve acabo la biodegradabilidad son varios los factores que pueden influir y que se mencionan a continuación:

- 1.- Materiales que no son fuente de carbono y energía (ligninas, detergentes).
- 2.- Toxicidad (plaguicidas).
- 3.- Insolubilidad (plásticos).
- 4.- Grado de polimerización (plásticos).
- 5.- Cadenas ramificadas (hidrocarburos, detergentes).
- 6.- Alto número de sustituyentes (plaguicidas).
- 7.- Anillos condensados (hidrocarburos).

El fundamento de los procesos es la biodegradabilidad efectuada por microorganismos sobre la materia orgánica. Entonces hablaremos ahora de cada uno de los tratamientos biológicos.

LODOS ACTIVADOS.

En 1914 en Inglaterra el sistema de lodos activados fue desarrollado por Arden y Lockett y fue implementado años más tarde en los Estados Unidos, es un método altamente efectivo para tratar por medio de microorganismos, los compuestos orgánicos nocivos antes de que el agua de desecho llegue a los cuerpos receptores, para que se pueda llevar a cabo esto, los lodos deben cumplir con 3 requisitos esenciales que son los siguientes:

- 1.- Poseer una población mixta capaz de degradar los residuos orgánicos presentes en el agua.
- 2.- Dicha población debe proliferar en las condiciones ambientales del sistema.
- 3.- Debe autoflocular para sedimentar en un periodo razonable de tiempo.

El proceso se efectúa de la siguiente manera: hay una estabilización biológica del agua de desecho en un reactor bajo condiciones aerobias, el ambiente aerobio se logra por el uso de difusores o bien por aeración mecánica, el proceso involucra oxidación controlada con un cultivo microbiano, principalmente de bacterias, las cuales provienen del suelo con que se contamina el agua y otras presentes en el reactor. En una alta proporción del proceso, parte de las bacterias son recuperadas y reusadas, el tiempo de retención es de 3 a 6 horas y el exceso de

sólidos biológicos producidos, que es la materia orgánica adsorbida en los flóculos abandonan el reactor, estos son purgados al fondo de un sedimentador y produciéndose un afluente claro de bajo contenido orgánico. El sistema esta constituido por un reactor y un sedimentador como se muestra en la figura 1. La formación de flóculos es importante, estos flóculos constan principalmente, de materia orgánica procedente de la aguas de desecho, poblada por bacterias y otras formas de vida biológica (4), ya que es un prerrequisito para la separación efectiva de los sólidos biológicos en la unidad de sedimentación.

Los procesos biológicos de tratamiento más versátiles son lodos activados. Estos producen un efluente con características óptimas en cuanto a concentración orgánica. Ningún otro tratamiento tiene tantas ventajas como el de los lodos activados.

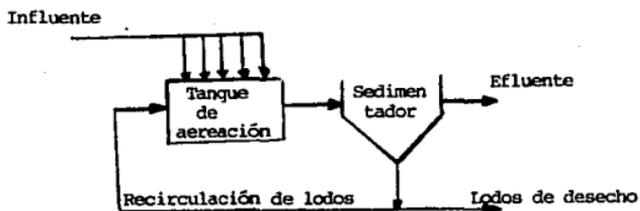
Hay puntos importantes que tomar en cuenta:

- Requerimientos oxígeno.
- Requerimientos nutricionales (fósforo, nitrógeno).
- Factores importantes del medio (pH, temperatura).

Proceso de Lodos Activados



(a)



(b)



(c)

Variación de lodos activados a) convencional, b) aireación por etapas, c) contacto-estabilización (1)

Los microorganismos que se emplean más frecuentemente son los siguientes géneros de bacterias: *Bacillus*, *Microbacterium*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Spirillum*, *Sarcina*, *Nocardia*, *Camamonas* y *Zooglea*, este último género es uno de los más importantes formadores de flóculos, considerando también los géneros *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Alcaligenes* y *Bacillus*. Con frecuencia se ha reportado la presencia de *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*. Una bacteria filamentosa generalmente asociada con los problemas de abultamiento es *Sphaerotilus natan*, ya que comúnmente se encuentra en arroyos de corriente, contaminados con aguas residuales u otra materia orgánica, en donde crece en forma de masas alargadas.

Los hongos filamentosos presentes son *Trichoderma*, *Geotrichum*, *Aureobasidium*, *Margarinomyces* y los levaduriformes son *Candida*, *Rhodotorula* y *Torulopsis*. A los últimos tres géneros se les ha demostrado capacidad floculante.

Los protozoarios son rizópodos y ciliados de vida libre como *Vorticella*, *Opecularia* y *Epistylis*. Adicionalmente se reportan invertebrados, rotíferos y algunos nemátodos. Estos actúan como "pulidores" del efluente. Los protozoarios degradan bacterias dispersas que no floculan, mientras que los rotíferos eliminan algunas pequeñas partículas biológicas floculantes que no sedimentan (20).

En cuanto a los parámetros ambientales del sistema, se reporta que los bajos valores de oxígeno, favorecen el desarrollo de *Sphaerotilus*, por lo que se recomienda no operar con concentraciones menores de 2 mg/l, ya que llega a desarrollar en los reactores de tratamiento aerobio de aguas residuales. Las temperaturas superiores a 30 °C inhiben el crecimiento de la algas y los valores de pH bajos provocan el crecimiento de organismos filamentosos en el lodo.

Ya que los organismos tienen actividad sucesiva, se llega a establecer la verdadera relación ecológica, tanto a nivel competencia entre bacterias y hongos, como a nivel de presa predador, como en el caso de las bacterias y protozoarios. Estas relaciones establecidas son importantes para mantener un buen equilibrio del sistema, que de como resultado la remoción de la materia orgánica.

El sistema de lodos activados, por su flexibilidad ha sido adaptado a una gama muy grande de necesidades, tanto operativas como económicas, lo que ha dado lugar a un buen número de modificaciones del proceso, las cuales de manera reducida son:

Sistema convencional.

Completamente mezclado.

Aereación graduada.

Aereación escalonada.

Aereación moderada.

Estabilización por contacto.

Disco de oxidación.

Sistemas con oxígeno.

Cada una de estas modificaciones tienen características particulares que las hacen adecuadas para ciertos casos en particular, estas se presentan en forma esquematizada también en la figura 1.

LAGUNAS DE ESTABILIZACION.

Son lagunas de almacenamiento de aguas residuales, que tienen una alta eficiencia en la autoperificación de las aguas residuales, mediante procesos naturales (viento, convección, gases en el sistema) y también la relación simbiótica que se establece entre los microorganismos, generándose la estabilización del material de desecho que entran al sistema, en este caso la materia orgánica, desarrollándose un proceso continuo de cambio de población, en las lagunas de estabilización se realizan tres procesos: el aerobio en el que se desarrollan algas que realizan el proceso de la fotosíntesis que genera oxígeno, para las bacterias aerobias y facultativas presentes tanto en la superficie, como en la parte intermedia de la laguna, llevándose a cabo la asimilación de la materia orgánica, en lagunas de gran área superficial, la

acción del viento puede también contribuir a aumentar el oxígeno, con lo cual mejora la eficiencia de la laguna, en el proceso facultativo se lleva acabo en la parte media de la laguna de estabilización, funciona con bajas concentraciones de oxígeno, así como con poca penetración de la luz solar, aquí solo encontraremos bacterias, que realizan procesos aerobios o anaerobios y en el proceso anaerobio se lleva acabo en el fondo de la laguna de estabilización, por bacterias anaerobias, las cuales reducen la materia orgánica hasta moléculas simples y productos finales gaseosos como CH_4 , CO_2 , y H_2S ocasiona que estas lagunas presenten problemas de malos olores, las lagunas anaerobicas son capaces de funcionar con grandes cargas de materia orgánica.

Las lagunas de estabilización presentan una serie de ventajas las cuales son: no ejercen demanda de oxígeno, son muy útiles en la disminución de organismos patógenos y el volumen de los lodos residuales es menor que en los sistemas aerados. Por otra parte, las lagunas, gracias a sus profundidades, son las más indicadas para mitigar los efectos de la estación fría, ya que tiende a presentar mayor temperatura en su interior respecto a la temperatura del medio ambiente.

Parte fundamental de estas lagunas de estabilización son las algas, bacterias y hongos, microorganismos

que participan en la estabilización de los desechos, encontrándose también rotíferos, crustáceos y protozoarios.

Las algas más frecuentemente encontradas son: *Chlorella*, *Chlamydomonas*, *Euglena*, que son las algas verdes, siendo estas las que aparecen cuando se inicia la operación, *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Phormidium*, *Anacystis*, son las algas verde-azules.

Las algas aparte de contribuir con la producción de oxígeno, también contribuyen a elevación del pH por consumo de CO₂ durante las horas de iluminación y además al consumir amoníaco se disminuye la demanda de oxígeno que esta ligada a la nitrificación bacteriana.

Las bacterias encontradas son: *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium*, *Desulfovibrium*, *Thiobacillus*, y bacterias de las familias *Chlorobacteriaceae* y *Thiorodaceae*.

La presencia de protozoarios se puede tomar como un indicador de la eficiencia del tratamiento biológico aerobio, ya que son organismos presentes en presencia de niveles adecuados de oxígeno. Estos protozoarios son de la clase flagelados, ciliados fijos.

También se llegan a encontrar rotíferos.

También se han encontrado crustáceos microscópicos como *Daphnia* y *Cyclops*, que se alimentan de algas y bacterias, por lo que, contribuyen a reducir la proporción de algas en el efluente (20).

FILTROS PERCOLADORES O ROCIADORES, FILTROS ANAEROBIOS O REACTOR ANAEROBIO EMPACADO Y FILTROS BIOLÓGICOS ROTATORIOS O BIODISCOS.

Son procesos de biopelícula, en estos procesos hay acumulación de microorganismos adheridos a un medio sólido los cuales se irán explicando al hablar de cada proceso, formando una capa delgada o biopelícula. El área disponible para el crecimiento microbiano es un parámetro importante de diseño y generalmente es necesario desarrollar sistemas que presenten un área máxima para crecimiento de la película en el menor volumen posible.

Por el año de 1893 en Inglaterra fue puesto en operación el primer filtro rociador o percolador, el concepto de filtro rociador nace del uso de filtros de contacto, son lechos empacados con piedras o algún otro material sintético (plástico) sobre el que se distribuye en forma uniforme el agua de desecho, que escurre a través de ese lecho sobre el que se fija y crece la película biológica. El agua sale del percolador y es recolectada

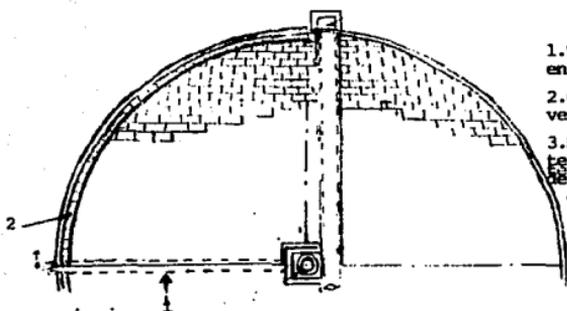
Entrada



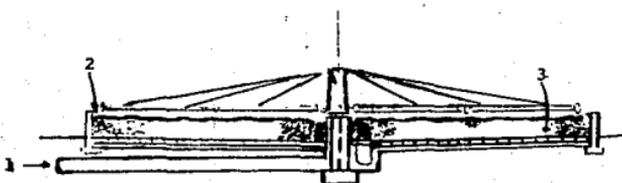
Distribuidores de agua

rectangular

Filtros percoladores



1. Tubería de entrada.
2. Conductos de ventilación.
3. Material soporte para formación de película biológica.



circular

en una alberca colocada en su parte inferior y es enviada a un sedimentador para separar los sólidos en suspensión que pudieran llevar y poder al mismo tiempo recircular parte del líquido tratado.

La materia orgánica presente en el lecho es degradada por la población microbiana que se encuentra adherida a la superficie del medio filtrante, llevándose acabo en condiciones aerobias en la parte externa y en condiciones anaerobias en una parte más profunda debido al consumo de oxígeno que hacen las bacterias de la superficie. El espesor de dicha capa es controlada por la velocidad de flujo, así como por la resistencia mecánica que presenta la propia capa (6), siendo más débil cuanto más gruesa es, y cerca del medio filtrante se pasa de un metabolismo exógeno a un metabolismo endógeno, lo que provoca su desprendimiento y la formación de una nueva capa.

Las bacterias facultativas son los organismos predominantes en el filtro, que junto con las aerobias y anaerobias degradan la materia orgánica, siendo las más comunes: *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas* y *Alcaligenes*; en la parte inferior del filtro se encuentran *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*, y cuando las condiciones son adversas, se tiene la presencia de *Sphaerotilus* y *Beggiatoa*.

Los hongos también se encuentran formando parte del sistema, principalmente a pH bajo y el crecimiento excesivo puede provocar la oclusión del filtro y la disminución de la ventilación.

Las algas no son muy deseables pero llegan a encontrarse, produciendo taponamiento, en las partes del filtro que esta en contacto con la luz, los géneros encontrados son *Phormidium*, *Chlorella* y *Ulotrix*. Los protozoarios que juegan el mismo papel que en los lodos activados incluyen a los ciliados *Vorticella*, *Opeccularia* y *Epistys*. Finalmente, hay la presencia de gusanos e insectos que no son de importancia considerable.

FILTROS BIOLÓGICOS ROTATORIOS O BIODISCOS.

Este tipo de sistema de tratamiento ha surgido como una alternativa más económica que los lodos activados, para proporcionar un tratamiento efectivo a pequeños volúmenes de agua residual, en el sistema se forma una biopelícula sobre un medio de soporte parcialmente sumergido, que gira lentamente sobre un eje horizontal dentro de un tanque a través del cual fluyen las aguas residuales. La biopelícula se ve así sucesivamente expuesta a los nutrientes en las aguas residuales y al aire, según gire el medio. El medio de soporte se puede obtener con diferentes configuraciones como discos, construcción de reti-

culas o un recipiente de rejillas de alambre con un medio plástico.

Las ventajas de los sistemas de biopelícula sobre los sistemas floculados son:

-No existe recirculación de biomasa o tejido celular.

-Presentan tiempos de residencia hidráulica significativamente menores.

Los principales productos de oxidación bioquímica son: agua, dióxido de carbono y microorganismos que aumentan la población bacteriana.

Desde el punto de vista microbiológico, es similar a los filtros percolados.

FILTROS ANAEROBIOS O REACTORES ANAEROBIOS EMPACADOS

Los reactores anaerobios empacados son sistemas utilizados para el tratamiento de agua de desecho con alto contenido de materia orgánica disuelta, y constan de un reactor de forma cilíndrica y el empaque utilizado puede ser roca o plástico el cual se encuentra sumergido en el agua de desecho.

El agua de desecho se introduce al sistema generalmente por la parte inferior del reactor y, durante su paso a través del medio empaque, los contaminantes orgáni-

cos son transformados principalmente en metano y dióxido de carbono.

En el reactor, los microorganismos al encontrarse sumergidos, disponen de una mayor cantidad de nutrientes que los que se encuentran en las zonas superficiales. De esta forma la cantidad y composición de los nutrientes cambia con la altura del reactor, siendo la causa de que los reactores de película biológica sean eficientes en la eliminación de contaminantes orgánicos.

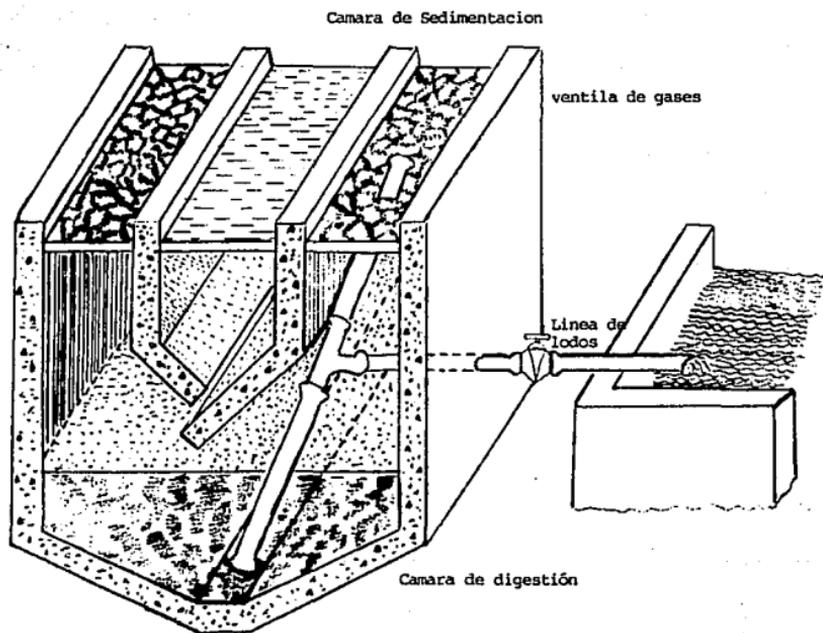
TANQUE IMHOFF

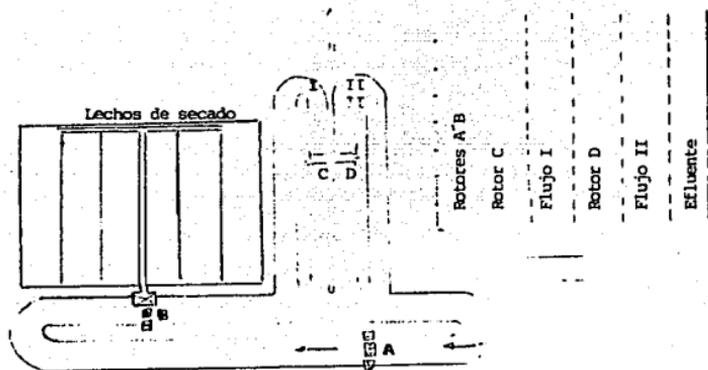
El Tanque Imhoff fue introducido a Estados Unidos en el año de 1907 por Karl Imhoff. En este proceso se combinan los procesos de sedimentación y de digestión, el tanque tiene dos compartimientos, como se muestra en la siguiente figura una cámara superior en donde se lleva acabo la sedimentación y una cámara inferior en donde se lleva acabo la digestión, lo que permite una descarga más regular. En la cámara inferior existen condiciones anaerobias por lo que la degradación microbiana se efectúa con microorganismos anaerobios y facultativos (5).

ZANJAS DE OXIDACION.

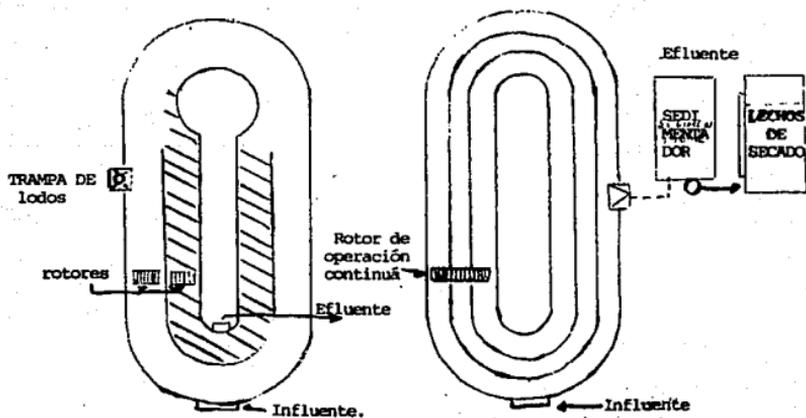
Las zanjas de oxidación constituyen un tipo de sistemas simplificados de tratamiento, a partir del proceso

TANQUE IMHOFF





Zanjas de Oxidación

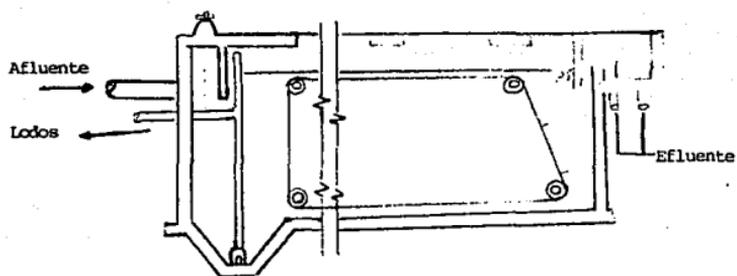


de los lodos activados fueron construidos inicialmente en Holanda, consiste fundamentalmente en la aereación intensa con turbulencia de las aguas residuales.

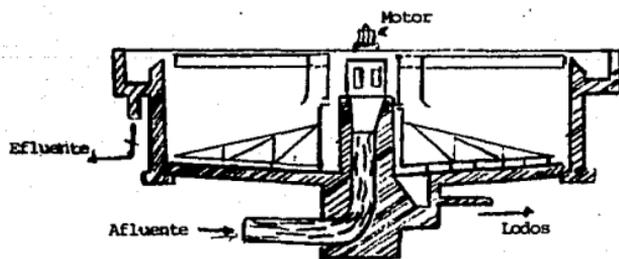
Fisicamente las zanjas de oxidación son eso, zanjas o canales en forma de anillo alargado, por donde circula el agua residual que esta siendo tratada. En este sistema, el agua residual, previa eliminación de sólidos gruesos por medio de rejillas, entra a la fosa y se hace circular junto con lodos activados, formando así el licor mixto. Esta masa de agua se aérea con cepillos rotatorios superficiales. El agua permanece de uno a uno y medio día junto con todos los sólidos que el agua cruda arrastra. Con respecto a los microorganismos, estos son los mismos que se encuentran presentes en los lodos activados (5).

SEDIMENTACION SIMPLE (13).

El sistema de sedimentación simple consta de dos procesos de sedimentación y de digestión de lodos. La separación de sólidos se lleva acabo por el proceso de sedimentación mediante tanques circulares o rectangulares en donde el cambio de condiciones de flujo permite la sedimentación de sólidos en suspensión, mismos que se colectan en el fondo, ya sea por inclinación de las paredes o mediante equipo mecánico. La evacuación de los sólidos



TANQUE DE SEDIMENTACION RECTANGULAR



TANQUE DE SEDIMENTACION CIRCULAR

lidos debe hacerse continuamente o a intervalos frecuentes para no dar tiempo a que se desarrolle la descomposición de lodos y por consiguiente la formación de gases.

El proceso se hace en dos formas: una de ellas es la disposición de los lodos crudos que puede ser mediante el acondicionamiento químico y posterior secado en filtros de vacío, la otra es por medio de su digestión, ya sea en condiciones aerobias o anaerobias.

El proceso de biodegradación o estabilización de la materia orgánica es llevado a cabo por la acción de enzimas presentes en los microorganismos pero la presencia de ciertas sustancias en las aguas residuales, como sales insolubles, iones de metales pesados, reactivos alcaloides, el cloro y sus compuestos, inhiben el funcionamiento de estas destruyéndolas con la consecuente muerte de los microorganismos o quedando en estado latente.

En consecuencia para un proceso biológico adecuado, es preciso:

- Proporcionar un estado coloidal y homogéneo adecuado para la acción de los microorganismos.
- Evitar en los vertidos, a tratar biológicamente la presencia de sales o elementos que puedan inhibir el proceso. Algunos de este tipo se presentan en la tabla 4.

TABLA 4 (8).

Elementos inhibidores del proceso biológico

Elementos	Ciclo del** carbono (en p.p.m.)	Ciclo del** nitrógeno (en p.p.m.)
Aluminio	15-16	No afecta
Plomo	0.1	
Magnesio	10	
Cadmio*	10-100	
Hierro	2	
Arsénico	0.1	
Cobre	1	0.05 a 0.5
Magnesio	1-10	50
Niquel	1-2.5	0.25
Amoniaaco	480	
Zinc	0.8-1	0.08-0.5
Calcio	2500	
Cianuro	0.1-5	0.34
Mercurio	0.1-5	
Cromo (16)	5	
Sulfatos		500
Fenoles	200	4-16

* En un proceso anaerobio es mucho menor <5 p.p.m

** Concentraciones inhibitorias.

Propiedades de los organismos vivos que intervienen en los procesos.

Los microorganismos que intervienen en los procesos biológicos pueden ser unicelulares o multicelulares. Para la vida y desarrollo de las células, debe haber captación de energía del exterior, gas carbono, sales minerales, elementos orgánicos C, N, y P e inorgánicos como S, K, Na, Mg, Fe, Cu, la luz solar es otra fuente de energía que utilizan algunos microorganismos en su metabolismo.

La presencia o ausencia de oxígeno es otra fuente de energía para los microorganismos, ya que con el o sin el se llevan a cabo procesos metabólicos

Los seres vivos, que intervienen en el proceso de biodegradabilidad, tienen principalmente los siguientes orígenes.

Origen animal: rotíferos, crustáceos, insectos. Los rotíferos son animales multicelulares, aerobios, heterótrofos, que consumen materia orgánica, bacterias, protozoos. Su presencia indica buena depuración biológica.

Los crustáceos son animales multicelulares, aerobios, heterótrofos. Sirve de alimentación a animales superiores, como peces. Su presencia señala alto contenido

de oxígeno en las aguas y reducido contenido de materia orgánica.

Origen vegetal: musgos, helechos, plantas. Las plantas en general intervienen en el proceso biológico de forma casi indirecta, en el sentido que su presencia constituye una fuente de alimento para otros seres vivos, a la vez que aportan al medio acuático una masa de materia orgánica. Según su medio habitual, de vida terrestre o acuática, las plantas pueden estar en cierto estado de descomposición o constituir un manantial de O_2 y CO_2 por efecto de la fotosíntesis, dependiendo a su vez del ciclo día y noche.

Los protistas (unicelulares o multicelulares): Bacterias, virus, algas, hongos, protozoos. Las bacterias son protistas unicelulares, las heterótrofas son las elegidas para los procesos biológicos. Se alimentan de materia orgánica soluble o finamente dividida.

Las algas son protistas unicelulares o multicelulares, fotoautótrofas.

Los hongos son protistas multicelulares, heterótrofos, aerobios, y requieren poca humedad. Su demanda de nitrógeno es escasa. El intervalo de pH, válido para su

desarrollo, pueden variar entre 2 y 9 con un óptimo en 5.6.

Para el desarrollo bacteriano se deben reunir ciertas condiciones como son:

La temperatura y el pH son factores importantes, el pH admisible puede variar entre 4 y 9.5, pero los límites adecuados están entre 6.5 y 7.5. En cuanto a la temperatura hay una clasificación: Criófilas entre -2°C y 12°C , Mesófilas entre 14°C y 35°C y Termófilas entre 40°C y 65°C .

La presencia de la luz solar es un factor importante para el desarrollo de algas, para que lleven acabo su metabolismo.

Los microorganismos también se clasifican de acuerdo a los requerimientos de oxígeno.

Ya que todos estos organismos de los que se a hablado se encuentran en la naturaleza, en vida libre o parasitaria no es necesario invertir en el inóculo y cultivo de los mismos por lo tanto solo se invertira en la construcción de las plantas de tratamiento, con todo el equipo que se requiere para su funcionamiento y mantenimiento.

CONTROL FISICOQUIMICO Y MICROBIOLÓGICO

Por las características físicas y químicas tan peculiares que presenta el agua, se le encuentra formando parte de una gran variedad de materiales en la naturaleza, lo mismo se trate de objetos animados o inanimados. Esa singular ubicuidad del agua, y su insustituible participación en los procesos biológicos obedece a las características suigeneris que posee. Podemos señalar algunas de tales propiedades: líquida (a temperatura ambiente), insípida, inodora, azul pálido en capa profunda; de otra manera incolora, congela a 0°C y hierve a 100°C a una presión de 760 mm de Hg, prácticamente incompresible, con calor específico alto, poderosa capacidad solvente y funciona como dipolo. Existe libre en la naturaleza en los tres estados físicos y constituye alrededor del 70% del peso corporal humano en donde tiene importante papel en la regulación térmica (14).

Los cuerpos de agua han sido usados por la humanidad como cloacas para deshacerse de toda clase de desechos; municipales, industriales y de retorno agropecuario; sus efectos negativos en el país se deja sentir sobre la flora, fauna y el hombre mismo (29).

El agua se pone en contacto directo con sustancias tóxicas y microorganismos patógenos, debido a los dife-

rentes usos que tiene, como resultado estos agentes se incorporan al agua disueltos o en suspensión (14).

El contacto ocurre espontáneamente en la naturaleza o como consecuencia del uso que hacemos del agua lo que es prácticamente inevitable, esta se pone en contacto directo con el cuerpo humano, externa e internamente, así como el empleo del agua en la industria en los procesos internos por lo cual adquiere el estado de contaminación (14).

El agua como elemento importante en la vida de los seres vivos, debe tener una calidad, para ser utilizada en las diferentes áreas en la que se emplea, por lo se debe realizar un control fisicoquímico y microbiológico de la misma, antes de entrar a los procesos como después de ellos, esto se ha considerado muy importante para no contaminar los cuerpos receptores, causando problemas al mismo hombre y a la ecología.

Vastos recursos humanos, materiales y financieros son empleados para realizar muestreos y análisis de agua, para obtener información analítica, que permita tomar importantes decisiones relativas al uso del agua. Estas decisiones a su vez implican volúmenes mayores de dinero y esfuerzos materiales y humanos.

Apartir de la promulgación de la Ley Federal para prevenir la contaminación ambiental en 1971, y del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, en 1973 se inicio la normalización de métodos para la toma de muestra y de métodos analíticos para determinar parámetros incluidos en la Legislación vigente. Esta normalización tiene como objetivo uniformar los criterios para la toma de muestras, y los análisis realizarse en el sitio de muestreo para tener un punto de comparación entre los resultados y su interpretación.

Muestreo (29).

Las muestras de agua representan una pequeñísima parte de la totalidad del cuerpo de donde se toma, por lo que la representatibilidad es un factor de suma importancia; de nada serviría el futuro análisis si la muestra no representa en forma fidedigna las características del cuerpo de agua; y ésta además de la aplicación de una serie de técnicas o recomendaciones, depende en mucho del buen criterio y experiencia del muestreador, para ajustarse a los objetivos del estudio.

Los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, tiene el fin de determinar las características físicas y químicas, debiéndose observar las modalidades indicadas en las normas

de pruebas correspondientes. Las muestras debe ser representativas, tomándose en cuenta la fuente de contaminación, caudal y velocidad de la corriente, dilución por corriente ramificada, cambios en la topografía, y la accesibilidad al punto de muestreo.

Toma de muestra (29).

La recolección de muestras de la descarga de aguas residuales, tiene los siguientes criterios: tomar la muestra aguas arriba de la descarga, a una distancia que no se manifieste influencia de ésta. En la descarga misma, lo más próximo a la desembocadura del cuerpo receptor y aguas abajo de la descarga, a una distancia donde se considere se haya efectuado una mezcla uniforme de la descarga en el cuerpo receptor. Se recomiendan las muestras compuestas, para que represente el promedio de las variaciones en contaminantes. Las muestras compuestas se obtienen mezclando muestras simples tomadas en un corto periodo, en forma tal, que el tiempo empleado en su extracción sea el transcurrido para obtener el volumen necesario; volúmenes proporcionales al gasto o flujo de la descarga, medido en el sitio y momento del muestreo. Se recomienda muestrear a una distancia tal que se considere que el cuerpo receptor haya absorbido el efecto de la descarga, para apreciar el grado de recuperación. En des-

cargas residuales que fluyen libremente, en forma de cho-
rro, se toma la muestra directamente en la descarga (12).

De acuerdo a las características que presentan al-
gunos parámetros se establece la necesidad de dar un tra-
tamiento diferente a cierto tipo de muestras para así ob-
tener mejores resultados, especialmente lo que se refiere
a la forma de muestreo, tratamiento de recipientes, equi-
po de muestreo y preservadores.

Preservación de las muestras.

La preservación completa de las muestras de agua es
prácticamente imposible, la presencia de preservadores
retardan únicamente durante cierto tiempo, los cambios
químicos biológicos que se producen después de que se ha
tomado la muestra. Por regla general, mientras más corto
sea el tiempo que transcurre entre la toma de la muestra
y su análisis, es más confiable el resultado obtenido. En
la tabla 1 siguiente se describe algunos preservadores
que se usan comunmente.

Muestreo y Equipo de Muestreo.

Los recipientes para las muestras deben de ser de
materiales inertes al contenido del agua. Se recomiendan
recipientes de polietileno o vidrio.

TABLA 5 (12)

Parámetro	Tipo de envase	Volumen mínimo requerido	Preservador	Tiempo máximo de almacenamiento.
Cloro residual	V,P	500 ml	Analizar inmediatamente	30 min.
Cloruros	V	50 ml	-	-
Color	V,P	500 ml	refrigerar	48 hrs.
Conductividad	V,P	500 ml	refrigerar	28 días
D.B.O	V,P	100 ml	Analizar tan pronto como sea posible o añadir H_2SO_4 hasta $pH < 2$.	7 días
Dureza	V,P	100 ml	Añadir HNO_3 a $pH < 2$.	6 meses
pH	V,P	-	Análisis inmediato.	2 hrs.
Fluoruros	P	300 ml	No requiere	28 días
Metales	Va, P Vb	-	Para disolver metales filtrar de inmediato y añadir a $pH 2$ H_2SO_4 refrig.	6 meses
Nitrógeno amoniacal	V,P	500 ml	Analizar tan pronto como sea posible o añadir H_2SO_4 a $pH 2$ y refrigerar.	7 días
Nitrógeno de nitratos.	V,P	100 ml	Añadir H_2SO_4 hasta $pH 2$ y refrigerar	48 hrs.
Nitrógeno de nitritos	V,P	100 ml	Analizar tan pronto como sea posible	-
Nitrógeno orgánico	V,P	500 ml	Refrigerar, añadir H_2SO_4 a $pH 2$	7 días

Acidez	Vb,P	500 ml	Refrigerar	24 hrs.
Alcalinidad	V,P	200 ml	Refrigerar	24 hrs
Bacteriológico.	V,Pr	100 ml	Refrigerar	6 hrs
Sulfatos	V,P	100 ml	Refrigerar	-
Temperatura	V,P	-	Análisis Inmediato	-
Turbiedad	V,P	-	Guardar en oscuridad	24 hrs
Sólidos	V,P	-	Refrigerar	7 hrs
SAAM	V	-	No se indica	-

V= Vidrio.

P= Plástico (polietileno ó equivalente).

Pr= Plástico resistente al calor.

Va,Pa= Enjuagado con una solución de HNO₃.

Vb= Vidrio borosilicato.

Refrigerar a 4°C

Las tapas deben proporcionar un cierre hermético y ser de material afín al recipiente. Los frascos deben estar perfectamente limpios para el análisis fisicoquímico y además estériles para el análisis bacteriológico.

Los muestreadores pueden ser manuales o automáticos, ambos toman la muestra directamente, pero se diferencian en el sistema de activación del mecanismo de cierre.

Etiquetado, registro de campo y almacenamiento.

Se debe tomar las precauciones necesarias para que en cualquier momento se puedan identificar las muestras. Se deben emplear etiquetas pegadas o colgadas, que deben contener la siguiente información: cuerpo receptor en estudio, número y nombre de la estación, identificación de la descarga, número de muestra, fecha y hora de muestra, nombre del muestreador, análisis a efectuar y resultados de las pruebas de campo practicadas en la zona de estudio (29).

Cuadro 1 (29)

Equipo para muestreo y determinación de campo

Equipo	Se emplea para
Medidor electrométrico ó Muestreador. Botellas Winkler. Solución sulfato manganoso. H_2SO_4 conc. Reactivo alcali-ioduro-nitroso. 4 pipetas 5ml graduadas, cajas, reactivos. Bureta. Soporte universal c/pinza. Pipeta volumétrica 100 ml. Tiosulfato de sodio 0.025 Pipeta en solución. Almidón. Matraz Erlenmeyer 250 ml *	Oxígeno disuelto
Potenciómetro ó papel pH vaso 500ml	Potencial de hidrógeno
Conductímetro	Conductividad
Termómetro	Temperatura
Cedazo 3 mm. Cubeta 5 a 12 l.	Material flotante
Molinete, cinta métrica, reloj.	Gasto

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Muestreador Kemmer o botella Van Dorn. M Bacteriológico. Cable

Muestreo a profundidad.

Botella plástica de 5 l.
Botella plástica de 1 l.
Frascos de vidrio, 125 ml, estéril tapón esmerilado.
Botellas de vidrio, 1 l, boca ancha.
Botellas de vidrio ámbar, 1 l, tapón esmerilado o de teflón.

Fisicoquímico (sin preservar, preservados y metales)
Bacteriológicos
Grasas y aceites
Plaguicidas.

Envudo de plástico
Pipeta con agua destilada
Masking Tape
Hieleras con hielo
Guantes, botas de hule, alcohol

Vaciado de muestras
Limpieza de material
Fijar tapones
Preservación
Higiene en el muestreo.

Etiquetas, hojas de registro de campo. Bolígrafo o marcador

* Para titulación de oxígeno disuelto en el campo.

En el cuadro 1, se resume el equipo usual para muestreo y para las determinaciones que se realizan en el campo.

Sitios de muestreo.

- Entradas de agua en bloque.
- Red de distribución.
- Pozos dependientes de la D.G.C.O.H (Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica).
- Pozos dependientes de la C.A.V.M. (Comisión de aguas del Valle de México).
- Pozos particulares.
- Manantiales.
- Rebombeco.
- Tanques.
- Escuelas.

- Instalaciones deportivas.

Determinaciones que se hacen en el campo. Son los realizados en el lugar en donde se toma la muestra.

Para realizar las determinaciones se han establecido métodos de análisis, para ser empleados tanto en el campo como en los laboratorios creados para esto, dependen de diferentes factores como son parámetros a determinar, presencia o ausencia de sustancias interferentes, exactitud del método, equipo disponible, habilidad del personal, costos y número de muestras que van a ser analizadas.

TEMPERATURA (19).

La determinación de la temperatura es importante en todos los procesos del tratamiento, ya que se suele incluir tratamientos térmicos cuando son necesarios; además tiene influencias en otras determinaciones como: pH, oxígeno disuelto, cloro y otras variando los valores reales de estos parámetros.

Para la determinación de la temperatura, se emplean termómetros de mercurio, los cuales están libres de interferencias químicas y físicas. Es útil usar un termómetro con un intervalo de -10 a 110°C , el cual es recomendable para fines prácticos, la determinación se hace en

la corriente o equipo en función, sumergiendo el termómetro en estos y esperando un intervalo corto de tiempo hasta llegar a la estabilización de la temperatura, y efectuar la lectura directamente en el termómetro.

Además, la temperatura juega un papel importante en la solubilidad de sales y gases, por ello influye en la determinación de pH y conductividad. La medición de la temperatura se efectúa en el momento de tomar la muestra.

pH (potencial de hidrógeno) (19).

El método se basa en que al poner en contacto dos soluciones de diferentes concentraciones de iones hidrógeno, se establece una fuerza electromotriz. Si una de las soluciones tiene una concentración conocida (pH) por medio de la fuerza electromotriz producida, se puede conocer el pH de la otra solución (solución problema), ya que esta fuerza electromotriz es proporcional al pH de la solución problema.

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (19).

La determinación se basa en la propiedad que adquiere, el agua de conducir la corriente eléctrica cuando tiene iones disueltos. Para medir la conductividad eléctrica en agua se utiliza una celda electrolítica con un puente de Wheatstone, este aparato mide la resistencia

eléctrica de la muestra. El puente de Wheatstone debe trabajar para esta prueba con corriente alterna a fin de evitar cambios en la composición de los electrodos debido a la acumulación de iones (efecto de polarización).

El significado sanitario de los parámetros, la determinación analítica de los mismos en un determinado tipo de agua depende de factores como:

a) Uso al cual va a ser destinada el agua, por ejemplo para consumo humano, uso industrial, recreativo, irrigación, recreativo, ganadería, etc.

TABLA 6 (29)

Métodos de Análisis de Agua

Análisis	Método analítico	Unidades
Temperatura	Termométrico	°C
Potencial de hidrógeno	Potenciométrico	U de pH
Color	Espectrofotométrico	U de T
Conductividad	Conductimétrico	mhos/cm
Turbidez	Nefelométrico	mg/l SiO ₂
Sólidos (todas sus formas)	Gravimétrico	mg/l
Sólidos sedimentables	Sedimentación	ml/l
Acidez	Neutralización	ml/l CaCO ₃
Alcalinidad	Neutralización	ml/l CaCO ₃

Sulfatos	Turbidimétrico	mg/l SO_4^{2-}
Cloruros	Precipitación	mg/l Cl^-
Fosfatos	Cloruro estanoso	mg/l PO_4^{3-}
N-Amónico	Acidimétrico	mg/l N-NH ₃
N-Nitratos	Brucina	mg/l N-NO ₃
N-Nitritos	Diazotización	mg/l N-NO ₂
Grasas y Aceites	Extracción Soxhlet	mg/l grasa tot
Oxígeno disuelto	Iodométrico	mg/l O ₂
D.B.O.	Oxido-reducción	mg/l DBO
D.Q.O	Oxidación con dicromato	mg/l DQO
Detergentes (SAAM)	Azul de metileno	mg/l SAAM
Coliformes totales	Tubos múltiples	NMP/100 ml
Coliformes fecales	Tubos múltiples	NMP/100 ml
Arsénico	Diethyltitiocarbamato	mg/l As
Dureza	EDTA	mg/l CaCO ₃
Metales (Pb, Cr, Hg, Cd, Zn, Fe, Se, etc.)	Espectrofotometría de absorción Atómica	mg/l
Carbón Org. Total	Analizador COT	mg/l C
C-H-O-H	Analizador elemental	mg/l
Plaguicidas	Cromatografía de gases	ug/l
Fluoruros	SPANDS	mg/l F ⁻
Fenoles	Aminoantipirina	mg/l

b) Interpretación sanitaria, donde se indican los factores o problemas causados por cada uno de los contaminantes.

c) Uso de normas o criterios de calidad oficiales, las cuales sirvan de referencia para la evaluación de resultados.

Estos son los parámetros a determinar y la metodología a emplear que el Subcomité N° 1 "Contaminación de Aguas", perteneciente al Comité Consultivo Nacional de Normalización para el Mejoramiento Ambiental, Dirección General de Normas, Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial que las estableció como normas oficiales para México y están basadas en los métodos estándar de "Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater", en casi su totalidad, existen actualmente más de 43 y su validez se inicia al momento de ser publicadas en el Diario Oficial de la Federación. A continuación se habla del análisis fisicoquímico realizado en los laboratorios encargados para esto.

ANALISIS FISICO (19).

COLOR. Se dice que la coloración del agua es real o verdadera cuando se debe solo a las sustancias que tiene en solución. Se denomina aparente si el color se debe a

las sustancias que tiene en suspensión. Los colores real y aparente son aproximadamente iguales en el agua clara y en el agua de turbidez muy débil.

El método para la determinación de color en el agua es el espectrofotométrico, se basa en medir la transmisión de la luz producida a través de una muestra de agua, la cual se compara con un testigo, generalmente agua bidestilada cuya transmitancia es de 100% a pH 7.6 y a pH sin ajuste.

Aunque el agua colorida puede no ser perjudicial, presenta ciertos inconvenientes y es sospechosa para el consumidor. Independiente de los problemas estéticos, las sustancias que ocasionan la coloración del agua pueden interferir en los fenómenos de floculación cuando se realizan los tratamientos y limitan la capacidad de las resinas intercambiadoras de iones.

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA.

Es una determinación que se hace a nivel de campo, por lo tanto ya se menciona anteriormente.

pH.

Este parámetro también se hace a nivel de campo por lo tanto ya se hablo anteriormente.

SOLIDOS (19).

Se realiza la determinación del contenido de sólidos totales, sólidos totales volátiles, sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles, sólidos disueltos totales y sólidos disueltos volátiles, en aguas naturales y residuales.

La determinación de sólidos consiste en colocar una muestra de agua en un crisol previamente pesado la muestra se evapora a sequedad a una temperatura entre 103° y 104°C. Se deja enfriar el crisol dentro de un desecador, aproximadamente 1 hora, se pesa en crisol y la diferencia representa los sólidos totales. La presencia de partículas grandes, material flotante, muestras no homogéneas, partículas en la superficie; provocan resultados no reproducibles.

Aguas con alto contenido de sólidos pueden ser laxantes, pierden cualidades organolépticas y pueden ocasionar otras molestias en personas no acostumbradas a su ingestión.

SOLIDOS SEDIMENTABLES (19).

El término sólidos sedimentables es aplicado a los sólidos en suspensión que tienden a sedimentarse bajo condiciones de reposo debido a la influencia de la fuerza

de gravedad. Solamente los sólidos sedimentables gruesos con una gravedad específica mayor que la del agua, se sedimentarán.

Existen dos métodos para la determinación de sólidos sedimentables en agua el volumétrico y el gravimétrico: El método volumétrico consiste en la sedimentación de los sólidos en el cono Imhoff (1 litro de muestra) durante 45 minutos, con un agitador se separan los sólidos adheridos a la pared del cono y se dejan sedimentar otros 15 minutos, y se lee directamente en el cono.

En método gravimétrico se realiza lo mismo que en el método gravimétrico, pero el sedimento, después de decantar el agua del cono, se pasa a un vaso de precipitados el cual se meten a secar a una estufa durante 1 hora a una temperatura de 100 a 110°C y después de enfriarse se pesa.

TURBIEDAD (19).

La turbiedad en el agua se debe a partículas en suspensión en la misma.

El procedimiento a seguir para la determinación de turbiedad en aguas de origen natural y residual es el método turbidimétrico de la bujía patrón.

El método se basa en la propiedad que tiene la suspensión de partículas finas que se encuentran en el agua, de afectar la transmisión de la luz que pasa a través de ellas. La prueba analítica de turbiedad es una medida de obstrucción óptica de la luz que pasa a través de una muestra de agua y se debe a la presencia de materia orgánica e inorgánica.

Se mide la obstrucción óptica de la luz que pasa a través de una muestra de agua contenida en una columna y que es suficiente para obstruir la imagen de una bujía estándar encendida que se observa a través de dicha muestra. Se expresa en Unidades de Turbiedad Jackson (UTJ).

La medida de la turbiedad es útil para el control de un tratamiento, aunque no da indicaciones sobre la naturaleza, la concentración y el tamaño de las partículas en suspensión.

ANÁLISIS QUÍMICO.

ACIDEZ Y ALCALINIDAD (19).

Se hace la determinación de acidez total y alcalinidad total en aguas naturales, residuales y superficiales, por métodos potenciométrico y volumétrico, que tengan una concentración de 0 a 500 mg/l de acidez o alcalinidad expresada como carbonato de calcio.

La acidez o alcalinidad (concentración de iones hidrógeno e hidroxilo), presente en el agua se mide por titulación con una solución valorada de un álcali o un ácido según sea el caso, y estas dependen de la concentración de los iones hidroxilo (OH^-), carbonato (CO_3^{2-}) y bicarbonato (HCO_3^-).

Los siguientes factores pueden influenciar la determinaciones de acidez en el agua:

- Color y turbiedad presentes en la muestra y pueden interferir en la aparición del vire de color en el indicador.

- Pérdida durante el muestreo, almacenamiento o titulación de gases disueltos tales como CO_2 , H_2S y NH_3 , alterando las concentraciones originales de acidez.

CLORUROS (19).

El ión cloruro se puede cuantificar por titulación con nitrato de plata, con el cual reacciona produciendo un precipitado de cloruro de plata. La sustancia indicadora del punto final de reacción es el cromato de potasio, que en presencia de un exceso de nitrato de plata reacciona con este produciéndose un precipitado rojo de cromato de plata.

Este método es aplicable en aguas residuales y naturales para un ámbito de 1 a 100 mg/l para 100 cm³ de muestra, un alcance mayor puede lograrse por diluciones de la muestra original o del titulador.

Las siguientes sustancias pueden interferir en la determinación:

- Bromuros, yoduros y cianuros que llegan a ser registrados como concentraciones de cloruros o equivalentes.

- Los ortofosfatos cuando se encuentran en concentración superior 25 mg/l interfieren precipitándose como ortofosfato de plata. El hierro en cantidades superiores a 10 mg/l interfieren, enmascarando el punto final de la titulación.

CLORO RESIDUAL (14) (33).

La mayoría de los métodos para la determinación de cloro disponible, libre o combinado, se basa en reacciones con agentes reductores que no son específicas para estas sustancias.

Esta determinación se realiza en las aguas sujetas a cloración que no han sido sometidas a la acción de carbón activado.

Es un método colorimétrico que consiste en poner en contacto la muestra (1-2 ml) con el reactivo de ortotolidina, que dará una coloración medible en el colorímetro de Taylor.

El método de ortotolidina se usa ampliamente para determinaciones rutinarias de cloro residual, en los trabajos de control y de campo.

DUREZA DEL AGUA (19).

Debido a que el objeto final del estudio de aguas residuales es su reutilización y por lo tanto los iones poco usuales en aguas naturales requieren determinación específica para efectos de la norma oficial, se entiende por dureza a la concentración total de iones de calcio y magnesio expresada como equivalente en CaCO_3 , cuando se encuentran presentes en cantidades apreciables los iones de berilio, estroncio, bario y radio quedan incluidos en dureza.

La determinación de la dureza total del agua se realiza mediante un método complejométrico. En este método se emplea como indicador eriocromo negro T, el cual, al ser agregado a una solución que contenga iones calcio y iones magnesio, reacciona formando complejos de un color rojo vino, Después se adiciona la solución de E.D.T.A que remueve los iones de calcio y magnesio de los comple-

Los coloridos formando complejos solubles. Cuando ha sido agregada suficiente solución de E.D.T.A., para liberar todos los iones de calcio y magnesio, el indicador regresa a su color azul original.

Las interferencias pueden ser: Materia orgánica o coloidal en la muestra que causen turbiedad o color que impidan o dificulten la aparición del punto final de la titulación, se elimina mediante oxidación preliminar y la presencia de metales pesados y polifosfatos en las cantidades que normalmente se encuentran en el agua no interfieren con el método sin embargo, ciertos excesos pueden causar cambios indistintos en el punto final de vire (19)

Podemos delimitar la calidad del agua atendiendo a su dureza de la siguiente manera:

Agua de buena calidad	hasta 150 mg/l de CaCO_3 (3 meq)
Agua de calidad media	hasta 300 mg/l de CaCO_3 (6 meq)
Agua de calidad aceptable	hasta 500 mg/l de CaCO_3 (10 meq)
Agua de difícil uso	más de 600 mg/l de CaCO_3 (12 meq)

FLUORUROS (19).

El método para determinar fluoruros es el de la SPANDS (sal de sodio 2 [para sulfofenilazo] 1,8 dihidroxi-3,6 naftalen disulfonato) (Scott-Sanchis 1931).

El método es aplicable a muestras directas en un ámbito de 0.05 a 1.4 mg/l pudiéndose ampliar por medio de diluciones. Este se emplea para aguas potables, naturales y residuales con algunas restricciones.

La concentración de fluoruros en la muestra se cuantifica mediante la reacción que se lleva a cabo entre éstos y los iones circonio del reactivo colorido de SPANDS ácido circonilo, disociando una porción de este en un anión complejo incoloro (ZrF_6^{2-}). La decoloración producida por los iones flúor, es proporcional a la concentración de estos y adecuada para mediciones fotométricas.

Los fluoruros tienen una gran afinidad por los tejidos calcificados, su papel estimulante en la formación de huesos explica las lesiones susceptibles de observar a nivel de esqueleto después de una exposición prolongada e intensa.

La presencia de cloro residual y los hexametáfosfatos son causa de falsos positivos, la presencia de hierro es causa de falsos negativos, el color, la turbiedad y la alcalinidad también son causa de resultados erróneos.

NITROGENO AMONIACAL (12).

La presencia de amoniacal en el agua se debe generalmente a un proceso de degradación incompleta de materia orgánica.

El nitrógeno amoniacal en el agua puede tener por origen la materia vegetal de los cursos de agua, la materia orgánica animal o humana (el hombre elimina de 15 a 30 gr de urea por día), vertidos industriales (abonos, textiles, etc.).

Su presencia ha de compararse a la de otros elementos nitrogenados en el agua, como son nitritos, nitratos, y a los resultados de los exámenes bacteriológicos.

Para determinar nitrógeno amoniacal, la muestra se debe llevar a un pH 9.5 para así tener NH_3 (amoniacal), con una solución amortiguadora de boratos para inhibir la hidrólisis de compuestos orgánicos nitrogenados y de los cianatos. El amoniacal se destila y se absorbe en una solución de ácido bórico. El amoniacal en el destilado puede cuantificarse con una solución valorada de H_2SO_4 .

La presencia de amoniacal en el agua puede ocasionar el desarrollo de ciertos gérmenes que dan olores desagradables. La forma ionizada del amoniacal es menos tóxica que la no ionizada.

NITROGENO DE NITRATOS (19).

Generalmente, el contenido de nitratos en el agua de las redes de distribución es poco elevada. En el campo se puede encontrar en el agua de los pozos, contenidos de nitratos relativamente importantes. Los abonos químicos son generalmente la principal causa de la contaminación del agua, pero los nitratos pueden provenir de las aguas residuales de ciertas industrias y ganaderías.

Las concentraciones de nitratos en el agua se determina midiendo la absorbancia de una muestra de agua a 220 nm y con la ayuda de una curva de calibración de nitratos se conoce la concentración de ellos en la muestra. Debido a la presencia de materia orgánica disuelta puede dar lectura a 275 nm, se hace una segunda lectura a 275 nm, se multiplica por 2 y se resta a la lectura original para corregir.

NITROGENO DE NITRITOS (19).

Los nitritos pueden encontrarse en el agua, generalmente en dosis pequeñas. Proviene de una reducción de nitratos o de la oxidación incompleta del amoníaco, debido a una nitrificación es incompleta; o de una reducción son también susceptibles de formarse bajo la acción bacteriana.

El principio del método consiste en que los nitritos presentes reaccionan en medio ácido (pH 1.9 a 2.5), por diazotación con la diazotación con la sulfanilamida para formar una sal de diazonio, la cual por copulación con el dihidrocloruro de N-(1-naftil) etilendiamina forma una colorante azóico de color purpura rojizo que se mide espectrofotométricamente a 543 nm.

El método es aplicable para concentraciones expresadas como nitrógeno, hasta 0.250 mg/l usando un volumen de muestra de 40 dl. Muestras de concentración superior no obedecen la ley de Lambert y Beer por lo que deben ser diluidas.

Desde el punto de vista toxicidad, es necesario tener en cuenta que los nitritos tiene una acción metahemoglobizante.

NITROGENO TOTAL (19).

El nitrógeno total es la suma del nitrógeno amoniacal y el nitrógeno orgánico conocido comunmente como nitrógeno Kjeldahl.

El método Kjeldahl es el utilizado para la determinación de nitrógeno total en aguas residuales y natura-

les. Es aplicable para concentración mayores de 1.0 mg de nitrógeno/l.

El método conciste en la digestión de la muestra en presencia de ácido sulfúrico, sulfato de potasio y sulfato mercurico, en el matraz kjeldahl, obteniendose un destilado el cual se titula con ácido sulfúrico.

OXIGENO DISUELTO (19).

Todo organismo vivo depende del oxígeno para mantener su proceso metabólico del cual obtiene la energía necesaria para su crecimiento y reproducción. El oxígeno se encuentra disuelto en el agua y su concentración en la misma depende de la presión atmosférica, de la temperatura y de la salinidad o del contenido de sólidos disueltos. La solubilidad del oxígeno en agua dulce va de 14.6 mg/l a 0°C hasta 7 mg/l a 35°C a una atmósfera de presión. A temperaturas más altas, el oxígeno disuelto disminuye.

En las aguas residuales, el oxígeno disuelto es el factor que determina si las reacciones biológicas se llevan a cabo por organismos aerobios o anaerobios.

El método se basa en la oxidación del ión manganoso a mangánico por el oxígeno disuelto en medio fuertemente

alcalino. Posteriormente, al acidificar la solución en presencia de un yoduro, el ión mangánico presente oxida el yoduro y libera yodo en una cantidad equivalente al oxígeno disuelto presente originalmente en la muestra. El yodo libre se titula con una solución valorada de tiosulfato de sodio.

Este método no es aplicable para muestras que contengan sulfitos, tiosulfatos, politionato, cantidades apreciables de cloro o hipoclorito, para muestras con alto contenido de sólidos en suspensión, sustancias orgánicas las cuales sean fácilmente oxidables en una solución altamente alcalina o que se oxidan por el yodo libre en una solución ácida. Asimismo, no es aplicable para muestras coloreadas.

SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO (19).

Las sustancias activas a azul de metileno (SAAM) son básicamente detergentes que se emplean en grandes cantidades, tanto para el uso industrial como doméstico. En consecuencia, su concentración aumenta constantemente en las aguas superficiales, la biodegradabilidad de los detergentes está directamente relacionada con el grado de ramificaciones en la cadena alquil y a su longitud.

La presencia de estos productos, usados muy a menudo en cantidades excesivas, se caracteriza por la formación de abundante espuma que obstruye las canalizaciones por la no sedimentación de las partículas de suspensión y por una pobre aereación de los fangos activados en la depuración biológica, así como una inhibición en los fenómenos anaerobios en los digestores y las fosas sépticas.

La determinación de SAAM depende de la formación de una sal de color azul, cuando el azul de metileno que es un colorante catiónico, reacciona con surfactantes aniónicos como los sulfatos de alquil benceno de sodio (ABS) y los sulfatos de alquil tolueno (ATS) y sus mezclas, cuyas estructuras químicas ramificadas son muy estables y no se degradan o lo hacen lentamente, el material que se va a determinar se designa simplemente como "sustancias activas al azul de metileno".

El complejo azul formado es extraído con cloroformo la intensidad del color es proporcional a la concentración de SAAM. Después de un lavado acuoso, el color permanente en el cloroformo se mide por medio del espectrofotómetro a una longitud de onda de 652 nm.

Provocan interferencia con los sulfatos orgánicos, carboxilatos y fenoles que se acomplejan con el azul de metileno, los cianatos inorgánicos, cloruros, nitratos y

tiocianatos igualmente se convinan con el azul de metileno estando entre las interferencias positivas. Materiales orgánicos, especialmente aminos que compiten con el azul de metileno, dando resultados bajos. Para conocer la concentración de SAAM, se compara la absorbancia obtenida de la muestra contra una curva de calibración.

SULFATOS (19).

La concentración del ión sulfato en aguas naturales es muy variable. Cantidades masivas de sulfato de aluminio (alumbre) se emplea diariamente en el tratamiento del agua (para abatir la turbiedad de la misma).

Para la determinación existen dos métodos el gravimétrico y el turbidimétrico. Estos métodos son aplicables para la determinación del ión sulfato en aguas naturales y residuales con un ámbito de aplicación de 10 a 100 mg/l para el método gravimétrico este método se puede ampliar el ámbito, ajustando la cantidad de la muestra, y de 10 a 60 mg/l para el método turbidimétrico que se aplica cuando se requiere una determinación rápida de rutina o control de aguas industriales.

En el método gravimétrico, el ion sulfato se precipita con una solución clorhídrica de cloruro de bario y

se pesa como sulfato de bario, después de eliminar la sílice y material insoluble.

El método turbidimétrico, el ión sulfato presipita con cloruro de bario en medio ácido (HCl) formando cristales de sulfato de bario de tamaño uniforme. La absorción espectral de la suspensión de sulfato de bario se mide con un nefelometro o fotómetro de transmisión y la concentración de ion sulfato se determina por comparación con una curva patrón.

La presencia de color así como la materia suspendida en grandes cantidades interfieren la determinación. La materia en suspensión puede eliminarse por filtración.

Según la intolerancia de los consumidores, los sulfatos son capaces de causar trastornos gastrointestinales, particularmente en los niños.

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (19).

La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno consumido por la materia existente en el agua y oxidable en condiciones operatorias definidas. De hecho la medida corresponde a una estimación de la materia oxidable presente en el agua, en ciertas condiciones cual-

quiera que sea su origen, orgánico o inorgánico y se expresa en mg/l de oxígeno.

Esta prueba es particularmente útil para la apreciación del funcionamiento de las estaciones de tratamiento. La DQO esta en función de las características de las materias presentes de sus proporciones relativas, de las posibilidades de oxidación, etc. por lo que es evidente que la reproductibilidad de los resultados y su interpretación no pueden ser satisfactorios más en las condiciones de metodologías bien definidas y estrictamente respetadas. En la técnica, el papel del catalizador consiste en facilitar la oxidación, la cual, sin embargo, no es total en presencia de compuestos orgánicos estables (urea, piridina, etc.).

En condiciones definidas, ciertas materias contenidas en el agua se oxidan con un exceso de dicromato de potasio en medio ácido y en presencia de sulfato de plata que funciona como catalizador. El exceso de dicromato de potasio se titula con una solución valorada de sulfato de ferroso amoníaco en presencia de un complejo ferroso de ortofenantrolina como indicador punto final. Los cloruros en concentraciones mayores de 1500 ppm interfieren en el análisis, pues consumen dicromato de potasio. Se emplea sulfato mercurico para acomplejar a los cloruros y evitar que interfieran en el análisis.

Dadas las condiciones operatorias (temperatura), el poder oxidante del reactivo y el empleo de un catalizador, los resultados obtenidos son más elevados que con el permanganato de potasio.

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (19).

Es el parámetro de contaminación orgánica más utilizado y aplicado a aguas superficiales y residuales. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una prueba analítica a través de la cual se estima la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de aguas residuales por 5 días a una temperatura de 293°K (20°C).

La DBO puede ser medida directamente en pocas muestras, así mismo en la mayoría de los casos se necesita de un método de dilución este último es el utilizado en las plantas de tratamiento y reúso (19).

CARBONO ORGANICO TOTAL (22) (33).

La determinación se refiere a los compuestos orgánicos fijos o volátiles, naturales o sintéticos, presentes en el agua residual (celulosa, azúcares, aceites, etc).

El carbón orgánico existente en la muestra se convierte en CO_2 por combustión catalítica o por oxidación química en la humedad. El CO_2 así formado se puede medir directamente con un detector infrarrojo, o puede convertirse en metano (CH_4) y es medido con un detector ionizado de fuego.

La cantidad de CO_2 o CH_4 es directamente proporcional a la concentración de material carbónico en la muestra.

ANALISIS DE METALES (19).

Los metales pueden ser analizados por medio de espectrofotometría de absorción atómica, se pueden determinar: bario, plomo, cromo, cobre, mercurio, selenio, arsénico, níquel y zinc que se encuentran disueltos y suspendidos en aguas naturales y residuales. Los límites de detección dependen de la sensibilidad del equipo y de cada elemento.

Debido a la longitud de onda de absorción características de cada metal, se emplea una lámpara que contenga al elemento metálico que se va a analizar, esto hace que el método quede virtualmente libre de interferencias que causa la radiación espectral, por lo tanto la cantidad de energía de una longitud característica que absor-

be en la flama, es proporcional a la concentración del elemento en la muestra. La cantidad de luz absorbida se mide de acuerdo a la Ley de Lambert y Beer.

En la mayoría de los metales puedan determinarse por aspiración directa, la interferencia más frecuente es la llamada química, que se debe a que el metal por analizar se encuentra en estado molecular y para que exista absorción deberá estar en forma atómica. Otras interferencias se deben a cationes o aniones presentes en la muestra. Para eliminar todo tipo de interferencias en cada elemento será necesario consultar el manual de operación del aparato que se disponga.

GRASAS Y ACEITES (19).

Los aceites, grasas, parafinas y otros constituyentes afines son las principales sustancias clasificadas como "grasas" en el agua residual doméstica. Las aguas residuales industriales pueden contener ésteres simples.

El método para determinar el contenido de grasas y aceites en aguas potables, superficiales o subterráneas de desechos domésticos o industriales y salinas, es recomendable dentro de un intervalo de 5 a 1000 mg/l de materia extractable, este método consiste en acidificar una muestra para extraer las grasas y aceites en solución, la

grasa es entonces separada por filtración y extraída con un solvente orgánico, hexano, con ayuda del aparato Soxhlet, posteriormente se evapora el solvente y se cuantifica gravimétricamente el material extraído.

En la determinación de grasas y aceites, no se mide cuantitativamente una sustancia sino grupos de sustancias con características físicas y químicas similares como su solubilidad en el solvente usado.

FENOLES (19).

Los fenoles son derivados del fenol que comprenden halógenos o los grupos alquílicos, aldehidos, acético, nitro, fenil, nitroso y ácido sulfónico en las posiciones orto, meta o para.

El método espectrofotométrico es el empleado para la determinación de fenoles en el agua, este método es aplicable para aguas de origen residual y natural (superficiales y marinas). El método cubre el ámbito de concentraciones de fenoles de 0.001 a 1.0 mg/l.

En el método los fenoles purificados reaccionan con la 4-aminoantipirina a un pH de 10 ± 0.2 en presencia de ferricianuro de potasio para formar una anilina de anti-

pirina, esta anilina es extraída de la solución acuosa con cloroformo.

ARSENICO (19).

La determinación de arsénico se realiza espectrofotométricamente con dietilditioicarbamato de plata ($\text{AgSCN}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$) aplicable en aguas naturales, residuales, estuarias y costeras.

El arsénico es reducido a arsina por el zinc en solución ácida, la arsina pasa a través de un depurador y después a un tubo absorbente que contiene dietilditioicarbamato de plata, formandose un complejo rojo soluble cuyo color es proporcional al contenido de arsénico en la muestra.

PLAGUICIDAS (19).

Se hace la determinación de plaguicidas organoclorados por cromatografía de gases en aguas naturales y residuales.

El método consiste en la extracción por partición con un disolvente orgánico, de los plaguicidas presentes en el agua y su posterior separación y purificación por cromatografía en columna. Finalmente su cualificación y

cuantificación se hace por cromatografía gas-líquido usando un detector de captura de electrones.

FOSFATOS (19).

El método empleado para la determinación de fósforo en forma de ortofosfatos presentes en el agua, es aplicable a aguas residuales y naturales.

Cuando la concentración de ortofosfatos de 1 a 20 mg/l y/o el contenido de interferencias es alto, se recomienda usar el método del complejo amarillo de fosfovana-domolibdeno, si la concentración es menor de 6 mg/l, se recomienda emplear el azul de molibdeno, también conocido como método de cloruro estano.

El método consiste en transformar los compuestos fosforados haciendolos reaccionar con molibdato de amonio para formar ácido molibdofosfórico.

En el método del azul de molibdeno o cloruro estano, el ácido molibdofosfórico, se reduce para producir el complejo colorido como azul de molibdeno. La intensidad de la coloración se determina espectrofotométricamente a 690 nm después de 10 minutos y antes de 12.

MATERIAL EXTRACTABLE DE CLOROFORMO (19).

Es la materia orgánica soluble en un disolvente polar como es el cloroformo. La muestra se pone en contacto con el cloroformo con lo cual se extrae la materia orgánica, que es cuantificada gravimétricamente. El método es aplicable en aguas residuales y naturales (superficiales y marinas).

ANALISIS MICROBIOLÓGICO (19).

La variedad de microorganismos presentes en el agua de desecho, también es indicio de contaminación del agua, siendo los patógenos los de mayor interés, pero la detección de estos es poco práctica, por las siguientes razones.

- No siempre están presentes en la fuente de contaminación (materia fecal), pero pueden aparecer repentinamente.

- Al diluirse la contaminación en el agua, pueden quedar en concentraciones no detectables por los métodos de laboratorio.

- Sobreviven relativamente poco tiempo en el agua, por lo que pueden desaparecer antes de ser detectados.

- Los resultados del análisis bacteriológico del agua se obtienen después de que ésta ha sido consumida, por lo cual si hay patógenos, la población ya habrá estado expuesta a la infección.

Por lo tanto se hace indispensable una medida de control eficaz, mediante la utilización de indicadores de contaminación que reúnan las siguientes características:

- Se encuentran como flora normal en la fuente de contaminación, es decir en la materia fecal, independientemente que se haya o no microorganismos patógenos.

- Son más resistentes y sobreviven en el agua más tiempo que los patógenos.

- Su detección en laboratorio es relativamente rápida, fácil y confiable.

Las bacterias coliformes reúnen las características anteriores, ya que se encuentran en grandes cantidades en el tracto intestinal del hombre y de los mamíferos, por lo tanto en sus heces, y es fácil diferenciar las especies coliformes de origen fecal, de las que no lo son.

En el caso del agua residual industrial se pueden encontrar estas bacterias, así como en las aguas tratadas por métodos bacteriológicos.

Por consiguiente esto son las técnicas para la detección de coliformes totales y fecales.

DETERMINACION DEL NUMERO MAS PROBABLE DE COLIFORMES TOTALES Y FECALES (19).

El agua es el transporte de los microorganismos y mediante el análisis de coliformes en ella, podemos establecer los posibles riesgos de contaminación y peligro para la salud pública. Esta técnica es aplicable en aguas de origen natural y residual.

El método consiste en la determinación de el número más probable de coliformes totales y fecales (NMP), mediante la técnica de tubos múltiples de fermentación, así como el muestreo específico y preservación de muestras para esta prueba.

El método se basa en la propiedad que tiene el grupo coliforme, de fermentar la lactosa con formación de gas, en condiciones específicas de tiempo y temperatura.

El procedimiento de fermentación de tubos múltiples es el método más usado por su facilidad y economía. El resultado de esta prueba se expresa por el "número más probable (NMP), pero debe entenderse que este método no es exacto ya que sólo nos da la densidad de bacterias coliformes totales o fecales en una muestra determinada.

DETECCION Y ENUMERACION DE ORGANISMOS COLIFORMES,
TERMOTOLERANTES Y *Escherichia coli* PRESUNTIVA (19).

La presencia y extensión de la contaminación fecal es un factor importante en la determinación de la calidad de un cuerpo de agua. El análisis de muestras de agua para determinar la presencia de miembros del grupo coliforme.

Dado que la capacidad de algunos miembros del grupo coliforme para sobrevivir en el agua es limitada, sus números pueden emplearse también para estimar el grado de contaminación fecal.

El método es aplicable a todo tipo de agua, exceptuando aguas salinas con altos contenidos de diatomeas o cuando números grandes de otros organismos pueden interferir con el crecimiento. Con este método se puede hacer la detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva en agua, después de una filtración a través de una membrana celulolítica y su subsecuente cultivo en un medio diferencial lactosado con el cálculo de su número en la muestra.

DETERMINACION DE MESOFILOS AEROBIOS (14) (34).

Existen otros grupos microbianos que son "indicadores" de otros tipos de contaminación como las bacterias mesófilas aerobias que reflejan la exposición del agua a la contaminación en general, la existencia de condiciones favorables para la multiplicación de microorganismos y la presencia de materia orgánica, haciéndose un recuento de ellas.

El recuento se practica principalmente en una agua bruta, a veces en agua superficial, pero muy amenuado en

un agua de un acuífero destinada a la alimentación un agua tratada, y en este caso a la salida de una estación, o en el mismo grifo del consumidor.

Otro microorganismo que también se encuentra en la flora normal intestinal *Clostridium perfringens* y, por ser esporulado, resiste la presencia de sustancias tóxicas que se encuentran en aguas residuales de industrias; por eso es indicador de contaminación fecal en este tipo de aguas.

El método utilizado es el de fermentación en tubos múltiples, el resultado es expresado como el "número más probable", de mesófilos aerobios como en la determinación de coliformes totales.

Las concentraciones o cantidades de cada uno de estos parámetros en las aguas de desecho, varía de acuerdo los procesos que se llevan a cabo en cada una de las industrias.

Para esto se crearon las Normas Técnicas Ecológicas que establecen que las descargas de aguas residuales a ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, deberán satisfacer, los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes en dichas

descargas, para mantener la calidad del agua. Por ejemplo:

Norma Técnica Ecológica NTE-CCA-003/88, referente a la Industria De refinación de petróleo crudo, sus derivados y petroquímica básica.

No se rebasaran los límites máximos permisibles fijados para dicha industria mediante diferentes sistemas de tratamiento, que den resultados similares a los que se obtienen con la aplicación de los siguientes procesos: igualación, separación de grasas y aceites, precipitación química del cromo, oxidación de sulfuros y tratamiento biológico, los límites máximos permisibles para esta industria son:

PARAMETRO (31)	LIMITES MAXIMOS promedio diario	PERMISIBLES instantáneo
pH (unidades de pH)	6-9	6-9
Grasas y aceites (mg/l)	40	48
Demanda química de oxígeno	100 mg/l	120 mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno	60	72
Cromo hexavalente	0.2	0.25
Sulfuros	0.5	1.0
Cromo total	1.0	1.2
Fenoles	1.0	1.2
Sólidos suspendidos totales	70	85

Los límites máximos permisibles para la Industria de Productos de Plástico y Polímeros sintéticos, establecidos por la Norma Técnica Ecológica NTE-CCA-005/88, son:

PARAMETRO (31)	LIMITES MAXIMOS promedio diario	PERMISIBLES instantáneo
pH	6-9	6-9
Grasas y aceites (mg/l)	20	24
D.Q.O.	300	360
D.B.O.	100	120
Fluoruros	20	24
Sólidos sedimentables	1.0	1.2

En la Industria del Hierro y del Acero, los límites máximos permisibles esta determinados por la Norma Técnica Ecológica NTE-CCA-013/88, y son los siguientes:

PARAMETRO (31)	LIMITES MAXIMOS promedio diario	PERMISIBLES instantáneo
pH	6-9	6-9
Grasas y aceites (mg/l)	50	70
N-amoniacal	30	36
Sólidos suspendidos tot.	30	36

Para la Industria de la Laminación, Estiraje y Extracción de Cobre y sus Aleaciones la Norma Técnica Ecológica es NTE-CCA-018/88, siendo los límites máximos permisibles los siguientes:

PARAMETRO (31)	LIMITES MAXIMOS promedio diario	PERMISIBLES instantáneo
pH	6-9	6-9
Cobre (mg/l)	1.0	1.2
Cromo	1.0	1.2
Sólidos suspendidos tot.	30	35
Zinc	10	12
Cadmio	0.01	0.12
Plomo	5.0	7.0
Arsénico	5.0	6.0
Grasas y aceites	10.0	12.0

Estos son algunos de los ejemplos que hablan de los límites máximos permisibles, establecidos por las Normas Técnicas Ecológicas para las descargas de los desechos industriales en los cuerpos de agua.

**FACTORES QUE INTERVIENE EN LA CONSTRUCCION DE UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO**

Los tratamientos biológicos de aguas residuales pueden darnos la opción de intercambiar el agua potable por agua tratada, para usos en los que no se requiera de la calidad física, química y biológica de la primera, es una acción que incide en el uso racional y eficiente del recurso hídrico.

Cada uno de los sistemas de tratamiento presentan diferencias significativas, como son: eficiencia de remoción de materia orgánica, complejidad en el control de operación, requerimiento de espacio, consumo de energía, así como costos de inversión y operación.

BANOBRAS, congruente con la política federal y dentro de su ámbito legal, promueve y apoya el reuso de aguas residuales con asistencia técnica y financiera (25).

Una de las formas de obtener el costo de los tratamientos es a través del conocimiento de los costos unitarios, considerando dos parámetros:

Costo por Capital Invertido, que son las erogaciones destinadas al proyecto de capacidad operativa, por

ello se aplican durante la fase de instalación del sistema hasta que está en condiciones de iniciar su funcionamiento.

El Capital fijo, que comprende el costo de aquellos bienes y servicios necesarios para dotar al proyecto de una capacidad instalada. Los rubros más comunes que se contemplan:

- Terreno.
- Obra Civil.
- Obra Electromecánica (incluye equipo, fontanería, y estructuras metálicas).

El Capital de Trabajo, fondo que se constituye generalmente al final de la fase de instalación, para cubrir los gastos exigidos por el funcionamiento de las plantas de tratamiento y garantizar así la continuidad de la operación. Principalmente se conforma por una reserva de dinero para cubrir los sueldos del personal mínimo necesario que opere la planta por un periodo determinado, así como también se destinarán recursos para el pago de servicios públicos y comunicaciones para el mismo periodo.

Con respecto al monto de la obra, está basado principalmente en que para obras pequeñas, la cantidad de dinero destinado a otras actividades accesorias a la obra

como son: supervisión, costos de residencia, habitaciones para trabajadores, vigilancia, apertura o construcción de caminos de acceso, transporte de equipo y maquinaria etc., es grande comparado con la obra, mientras que a medida que aumenta el costo de la obra, este porcentaje se abate.

Los costos directos de construcción, más los costos directos del equipo ya instalado, se multiplicara por el factor de presupuestos o indirectos e inflación, obteniéndose con esto el subtotal de capital invertido.

Costos de Operación y Mantenimiento.

Son los referidos al funcionamiento de una planta de tratamiento. Los rubros que se deben obtener para hacer producir la capacidad instalada. Estos costos se estiman por vigencias anuales de acuerdo a las proyecciones de producción que se establezcan.

Entre los rubros más comunes se encuentran:

- Materiales y materias primas
- Servicios Públicos
- Combustibles y otros insumos (energía eléctrica)
- Mantenimiento
- Gastos varios
- Depreciación

- Intereses (por los créditos)
- Impuestos
- Imprevistos

En el siguiente cuadro se pueden apreciar los principales conceptos de obra que requiere cada uno de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Con respecto al terreno, es difícil de generalizar, ya que depende de factores como disponibilidad, tenencia de tierra, localización y uso de suelo.

El terreno en donde se va a construir la planta debe reunir indispensablemente los siguientes requisitos: capacidad para soportar las instalaciones, superficie plana y de forma regular; en caso contrario será necesario evaluar los requerimientos, mismos que aumentarán el costo de instalación.

Se mencionara un modelo matemático mediante el cual se obtienen costos a nivel nacional para las diferentes alternativas de tratamiento.

Este modelo matemático calcula y obtiene desde los costos de construcción del sistema hasta el costo unitario del tratamiento de las aguas residuales para las diversas alternativas de tratamiento (Tanque Imhoff T.I., Lagunas de Estabilización L.E. y Tanques de Sedimentación

PRINCIPALES CONCEPTOS DE OBRA PARA PRESUPUESTACIÓN A PLANTIAS DE TRATAMIENTO (25)

CONCEPTOS	Pretratamiento	Fosas Sépticas	Tanques Imhoff	Sedimentadores Primarios	Lagunas Facultativas	Lagunas Aeradas	Aeración Extendida	Zanjas de Oxidación
OBRA CIVIL								
- Limpieza y despalme de terreno a mano	x	x	x	x				x
- Limpieza y despalme de terreno con medios mecánicos					x	x	x	
- Trazo y nivelación para despalme de estructuras	x	x	x	x	x	x	x	x
- Excavación por medios manuales	x	x	x	x			x	
- Plantilla de concreto pobre de 5 centímetros de espesor con una resistencia de 100 kg/cm ²	x						x	
- Concreto simple de 400 kg/cm ²	x	x	x	x	x		x	x
- Acero de refuerzo con una resistencia de 4200 kg/cm ²	x	x	x	x	x		x	x
- Cimbra y descimbra en muros		x	x	x				
- Impermeabilizante Integral		x	x	x				
- Suministro y colección de medio filtrante		x						
- Lecho de sacado			x					
- Pretratamiento			x	x	x	x	x	x
- Excavación por medios mecánicos					x	x		
- Relleno compactado con producto de excavación para formar bordos					x	x		
- Relleno compactado para impermeabilización del fondo					x			
- Suministro y colocación de paso en bordos					x			
- Zampeado con piedra brasa, juntaada con mortero cemento-arena						x		
- Suministro y colocación de pasto en bordos						x		
- Cimbra tipo aparente y descimbra en muros, cadenas y losas							x	x
OBRA ELECTROMECANICA								
- Estructuras de acero	x							
- Fontanería con tuberías, válvulas y piezas especiales		x	x	x	x	x	x	x
- Bomba sumergible			x	x			x	x
- Motor eléctrico vertical			x	x			x	x
- Múltiple de descarga			x	x			x	x
- Trín de piezas especiales			x	x			x	x
- Subestación eléctrica		x	x	x			x	x
- Motor reductor				x		x	x	x
- Sistema de rastras y cadenas				x				
- Aeradores flotantes de alta velocidad							x	
- Motor reductor							x	x
- Sistemas de rastras para sedimentador secundario							x	x
- Motor reductor y rotores que forman el equipo de aeración							x	x
TERRENO								
- Disponibilidad de Terreno mayor					x	x		
- menor	x	x	x	x			x	x

T.S.S, fueron los sistemas de tratamiento para analizarse en este estudio) (13).

Para el funcionamiento de este programa, son necesarios los precios unitarios, de todos los conceptos que intervienen tanto en la construcción como en la operación y mantenimiento de todos los arreglos de los sistemas de tratamiento.

El programa primero obtiene los Costos de Construcción, de los arreglos de los sistemas de tratamiento, multiplicando las cantidades de obra de los conceptos que interviene en la construcción, por el correspondiente precio unitario actual.

Con el Costo de Construcción, se procede a calcular la recuperación Anual de Capital invertido en la construcción o Costo de Construcción Anual, para lo cual son necesario el número de años en que se requiere amortizar el capital y el interés anual con que se va a operar; con estos datos determina el Factor de Recuperación del Capital y lo multiplica por el Costo de Construcción Total para así obtener el Costo Anual por Capital Invertido en la Construcción.

Posteriormente se procede a prorratear el Costo Anual por Capital Invertido, por los factores de Distribu-

ción de Costos de Construcción del Sistemas de Tratamiento los cuales toman en cuenta los parámetros: caudal Q, sólidos sedimentables SS y grasas y aceites GA, para así obtener el Costo Anual por Capital Invertido en la Construcción Prorrateado para cada Parámetro, los factores son los siguientes:

Tratamiento	Q	SS	GA
T.I.	0.5	0.3	0.2
L.E.	0.5	0.4	0.1
T.S.S.	0.4	0.5	0.1

El siguiente paso es la determinación del Costo Anual de Operación y Mantenimiento del sistema de tratamiento, en forma idéntica a como se obtuvo el Costo Anual por Capital, para luego multiplicarlo por los factores de Distribución de Costos Anuales de Operación y Mantenimiento de los parámetros: Caudal, sólidos sedimentables y grasas y aceites para obtener el Costo Anual de Operación y Mantenimiento Prorrateado para cada Parámetro, los factores se muestran a continuación (13).

Tratamiento	Q	SS	GA
T.I.	0.3	0.5	0.2
L.E.	0.2	0.7	0.1
T.S.S.	0.2	0.7	0.1

Finalmente, sumando los Costos Anuales Por Capital Invertido en La Construcción con los de Operación y Mantenimiento ya prorrateados por los factores para cada parámetro, se obtiene los Costos Anuales De Tratamiento para Cada Tratamiento.

La finalidad del programa es de que en el momento en que se quiera se puede actualizar los Costos Anuales de Tratamiento para cada parámetro, con solo tener actualizado el catálogo de precios unitarios para poder obtener de esta manera en cualquier momento los Costos Actualizados para el Tratamiento de las Agua Residuales.

La eficiencia de un sistema es también importante de considerar para su instalación, esta eficiencia debe ser valorada por una serie de parámetros que nos indicarán la actividad microbiológica sobre la materia orgánica.

Los parámetros son: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda total de oxígeno (DTO), el carbón orgánico total (COT), cloro, nitrógeno, pH, sólidos, petróleo y grasas, indicadores bacterianos y químicos tóxicos.

La selección de los parámetros aplicables a las muestras líquidas para su análisis, dependen de la natu-

raleza de la fuente, así como de varios propósitos para los cuales los requerimientos pudieran diferir. Proyectos diferentes con diferentes objetivos requieren parámetros diferentes (22).

Podemos ejemplificarlo con dos sistemas que son Lodos activados y Lagunas aereadas, cual es su aplicación, con las ventajas y desventajas que presentan cada uno de ellos (15):

Lodos activados:

Aplicación	Tratamiento biológico de desechos
Ventajas	Flexible; puede adaptarse a cambios leves de pH, materia orgánica y temperatura; produce una alta calidad de efluente, reduce 90% DBO y SST; requiere pequeña área; el grado de nitrificación es controlable, pocos problemas de olor.
Desventajas	Alto costo de operación; sensible a cargas pico, metales y otros tóxicos; requiere cambiar de aereadores continuamente; genera sólidos requiriendo medios de disposición.

Lagunas aereadas.

Aplicación	Tratamiento biológico de desechos orgánicos.
Ventajas	Flexible. Soporta variaciones de pH cambios de desechos y temperatura; versatilidad; poca atención; eficiencia moderada 50-75% DBO, SST, etc.
Desventajas	Dispersa los sólidos en el efluente es afectada por variaciones climáticas.

Usos Potenciales de Agua Residual Tratada.

Además del riego de áreas verdes, agrícolas y llenado de lagos, el agua residual tratada puede emplearse en el abastecimiento a la industria, comercio, ganadería, servicios municipales y domésticos (sanitarios, riego de jardines, entre otros), acciones que se considera pueden ser inmediatas. A continuación se muestran los parámetros considerados para el reuso del agua tratada en diferentes áreas.

CLASIFICACION DE LAS AGUAS DE LOS CUERPOS RECEPTORES SUPERFICIALES (2.6)
EN FUNCION DE SUS USOS Y CARACTERISTICAS DE CALIDAD

Clase	Uso	(1) pH	(2) Temperatura (°C)	(3) O.D. (mg/l)	(4) Bacterias Coliformes MP (organismos/ 100 ml)	(5) Aceites y Grasas (mg/l)	(6) Sólidos disueltos (mg/l)	(7) Turbiedad (U.T.J.)	(8) Color (Escala Platino Cobalto)	(9) Olor y Sabor	(10) Nutrientes Nitrógeno y Fósforo	(11) Materia Flotante	(12) Substancias Tóxicas
				Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo		
	Abastecimiento para sistemas de agua potable a industria alimenticia con desinfección primaria. Recreación (contacto primario) y libre para los usos DI, DII y DIII.	6.5	C.N.	4.0	200	0.76	No mayor de 1000	1.0	20	Ausentes	(c)	Ausentes	(d)
		3.5	2.5 (a)		fecales (b)								
DI	Abastecimiento de agua potable con tratamiento convencional (coagulación, sedimentación, filtración y desinfección) e industrial.	6.8	C.N.	4.0	1000	1.0	No mayor de 1000	C.N.	(f)	(g)	(c)	Ausente	(d)
		9.8	2.5 (a)		fecales (e)								
DII	Agua adecuada para uso recreativo, conservación de flora, fauna y usos industriales.	6.8	C.N.	4.0	10 000	Ausencia de película visible	No mayor de 2000	C.N.	C.N.	C.N.	(c)	Ausente	(d)
		9.0	2.5 (a)		coliformes totales como promedio mensual; ningún valor mayor de 20 000 (h)								
DIII	Agua para uso agrícola o industrial.	6.0	C.N.	3.2	1000 (j) y	Ausencia de película visible	(1)	C.N.	C.N.		(c)	Ausente	(d)
		9.0	3.5 (a)		libre para los demás cultivos			más 10					
D IV	Agua para uso industrial (excepto procesamiento de alimentos).	5.0		3.2									
		9.0											
pH Potencial hidrógeno		O.D. Oxígeno disuelto		U.T.J Unidades de turbid		mg/l miligramo por litro		C.N. Condiciones naturales					
MP Número más probable		°C grados centígrados		dad Jackson									

Anexo de la tabla 1

(a) Máxima 30°C excepto cuando sea causada por condiciones naturales.

Medida en la superficie fuera de la zona de mezclado, la cual se determinará de acuerdo con las características de la descarga.

(b) Este límite, es no más del 10% del total de las muestras mensuales (5 mínimo), podrá ser mayor a 2000 coliformes.

(c) No deben existir en cantidades tales que provoquen una hiperfertilización.

(d) El criterio con respecto a sustancias tóxicas es el siguiente:

Ninguna sustancia tóxica sola o en combinación con otras estará presente en concentraciones tales que conviertan el agua del cuerpo receptor en inadecuada para el uso específico a que se destinen.

La tabla 2 resume algunas de las sustancias tóxicas que de acuerdo con la información disponible se encuentran bajo reglamentación y estudio en varias partes del mundo.

Los valores de las sustancias de esta tabla no son limitativos y están sujetos a modificación de acuerdo con el futuro avance tecnológico.

(e) Este límite, en no más del 10% del total de las muestras mensuales (5 como mínimo), podrá ser mayor a 2 000 coliformes fecales.

(f) No será permitido color artificial que sea coagulable por tratamiento convencional.

(h) 2 000 coliformes fecales como promedio mensual, ningún valor mayor de 4 000.

j) Para riesgo de legumbres que consuman sin hervir o frutas que tengan contacto con el suelo.

**VALORES MAXIMOS PERMISIBLES DE SUSTANCIAS TOXICAS
EN LOS CUERPOS RECEPTORES.**

Limite máximo en miligramos por litro

Clasificación	DA	DI	DII	DIII
Arsénico	0.05	0.05	1.00	5.00
Bario	1.00	1.00	5.00	-
Boro	1.00	1.00	-	2.0
Cadmio	0.01	0.01	0.01	0.005
Cobre	1.0	1.0	0.1	1.0
Cromo hexavalente	0.05	0.05	0.1	5.00
Mercurio	0.005	0.005	0.01	-
Plomo	0.05	0.05	0.1	5.0
Selenio	0.01	0.01	0.05	0.05
Cianuro	0.20	0.20	0.02	-
Fencles	0.001	0.001	1.0	-
Sustancias activas al azul de metileno (Detergentes)	0.50	0.50	3.0	-
Extractables con cloroformo	0.15	0.15	-	-
Plaguicidas				
Aldrin	0.017	0.017		
Clordano	0.003	0.003		
D.D.T.	0.042	0.042		
Dieldrin	0.001	0.001		
Endrin	0.001	0.001		
Heptacloro	0.018	0.018		

Epoxico de heptacloro	0.018	0.018	
Lindano	0.056	0.056	
Metoxicloro	0.035	0.035	
Fosfatos orgánicos con carbamatos	0.1	0.1	
Toxafeno	0.005	0.005	
Herbicidad totales	0.1	0.1	
Radioactividad	picocuries por litro		
Beta	1000	1000	1000
Radio 226	3	3	3
Estroncio	10	10	10

CONCLUSIONES

La destrucción del medio ambiente se ha incrementado con el tiempo, al no haberse tenido cuidado en preservarlo, arrojando al el, un sinfin de contaminantes sin control alguno, por eso se vio la necesidad de establecer normas, leyes y reglamentos que sancionan y limitan como ultimo recurso -ya que no se ha podido evitar- las descargas de aguas residuales procedentes de la industria.

El agua es un elemento importantísimo para la vida en la tierra, sin embargo se desperdicia y se contamina con desechos de diferentes características, dentro de los causantes de arrojar desechos al agua, como también de arrojar el agua contaminada, esta la industria, que la ocupa en gran medida en sus proceso internos, por lo tanto deben ser tratadas estas aguas antes de ser vertida a los cuerpos receptores, siendo ya una obligación para la industria.

Los microorganismos son la base del tratamiento secundario de las aguas residuales, debido a las características metabólicas que presentan, ya que solo son ellos los que intervienen en la transformación de la materia orgánica a compuestos más simples, células y gases.

En el caso de las bacterias, las que se encuentran más frecuentemente son *Nitrobacter*, *Nitrosomonas*, *Aerobacter*, *Escherichia*, *Bacillus*, *Microbacterium*, *Spirillum*,

Sarcina, Nocardia, Camamonas, Zooglea y Sphaerotilus, en el tratamiento de lodos activados, también se encuentran *Pseudomonas, Alcaligenes, Flavobacterium*, además de encontrarse en el tratamiento de lagunas de estabilización y solo se encontraran en este tratamiento *Desulfovibrium* y *Thiobacillus*.

En el caso de los sistemas de filtros percoladores y biodiscos se encuentran *Nitrobacter, Nitrosomonas, Flavobacterium, Achromobacter* y *Beggiatoa*.

Las algas, como *Chlorella, Phormidium* y *Anabaena* se localizan en las lagunas de estabilización, *Euglena* junto con las anteriores se encuentran en los filtros rociadores aunque pueden causar problemas de taponamiento. Se puede encontrar en lodos activados *Oscillatoria*; la cantidad y el tipo de algas presentes dependera de la intensidad de la luz solar, que reciba el sistema y la ubicación del mismo.

En el caso de los hongos, se pueden encontrar en el sistema de lodos activados y los filtros percoladores, los géneros *Geotrichum, Fusarium, Trchoderma, Cladosporium*.

Los protozoarios presentes en los sistemas de tratamiento de filtros, percoladores, lodos activados son *Opeccularia*, *Paramecium*, *Epistylis*, *Oxytrichia*, y *Ulotrix*.

La actividad de los microorganismos se lleva a cabo conjuntamente, ya que uno a otro contribuye para su desarrollo en los sistemas de tratamiento, las algas proporcionan en algunos sistemas por medio de su metabolismo fotosintético, el oxígeno requerido por las bacterias aerobias, para sus procesos metabólicos y estas a su vez le proporcionan a las algas el alimento necesario para su crecimiento, hay otras bacterias no requieren oxígeno para su actividad metabólica, y estas son las bacterias anaerobias, que participan en otros sistemas que no requieren oxigenación.

Los protozoarios también degradan la materia orgánica presente en las aguas de desecho, y se alimentan de las bacterias que se encuentran en el sistema. Los hongos también son degradadores de materia orgánica.

Los sistemas funcionan de acuerdo al metabolismo de los microorganismos presentes en ellos y a las condiciones nutricionales de aereación, principalmente.

Hay que evitar o/y eliminar, elementos o compuestos que interfieran en los procesos metabólicos microbianos,

de ahí la importancia del pretratamiento y tratamiento primario de las aguas residuales que contiene materia orgánica, antes de entrar a los sistemas de tratamiento secundario.

El agua tratada puede emplearse en procesos o servicios en donde no se requiera una calidad de agua potable, en la misma industria, además de disminuir los daños a la flora y fauna de los cuerpos receptores ha donde llegará esta agua.

Con esto se puede ver como los microorganismos presentes en el medio ambiente han sido utilizados en beneficio del hombre.

En el caso del control fisicoquímico y microbiológico del agua tratada, no solo es importante, por conciderar el uso al que se destinara el agua tratada, sino que es indispensable para evitar a toda costa la contaminación del medio ambiente, causando los daños que está sufriendo ahora y que seguiran sufriendo si no se realiza este control, por eso es que se han establecido disposiciones legales, como las Normas Oficiales Mexicanas, que hablan de las técnicas de control fisicoquímico y microbiológico y las Normas Técnicas Ecológicas que indican cuales son los contaminantes y sus concentraciones que

pude contener el agua para poder ser arrojada a los mantos acuíferos.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Arias Davila José e Hidalgo P. Tesis 1988 UNAM
Modificación a la operación de biofiltros de la planta de
tratamiento de aguas residuales de C.U. Fac. de Química.
- 2.- Basilio Gutiérrez Rebeca M. Tesis 1985 UNAM
Contaminación de las aguas por aguas residuales de la in-
dustria farmacéutica. Fac. de Química
- 3.- Diario Oficial Martes 1 de Diciembre 1992
Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
Ley de Aguas Nacionales 1992.
- 4.- Dugue Luciano Javier Tesis 1989 UNAM
Tratamiento de aguas de desecho en un reactor aéreo empa-
cado. Fac. de Química.
- 5.- Escalante T. Claudio A., Guerrero M. Luis y et.
Curso de capacitación de aguas residuales y plantas de
tratamiento. SICTEC México, D.F. Septiembre 1987.
- 6.- Escarsega Pliego Carlos A. Tesis 1986 UNAM
Modelo cinético para un reactor biológico rotatorio usado
en el tratamiento aerobio de efluentes. Fac. de Química.
- 7.- García Sanchez Jorge A. Tesis 1984 UNAM
Anteproyecto de tratamiento de sólidos de una planta de
aguas negras en el D.F. Fac. de Química.
- 8.- Hernández Muños Aurelio. Depuración de aguas residua-
les. Servicio de Publicaciones de la Escuela de Ingenie-
ros de Caminos de Madrid. (U.P.M.) Colección Senior N° 9
- 9.- Hernández Muños Aurelio. Saneamiento y Alcantarilla-
do. Servicio de Publicaciones de la Escuela de Ingenieros
de Caminos de Madrid. (U.P.M.) Colección Senior N° 7
- 10.- Inclán Rodriguez Sergio Tesis 1985 UNAM
Estudio de tratamiento de las aguas de desecho de la in-
dustria del Nixtamal en un sistema continuo de reactores
en cascada totalmente mezclado.
- 11.- Ley Federal de Desechos en Materia de Agua 1991
Comisión Nacional del Agua.
- 12.- López Juárez José Manuel Tesis 1987 UNAM
Evaluación de la calidad microbiológica y fisicoquímica
del agua potable de la Delegación Miguel Hidalgo.
Fac. de Química.

13.- Manual de Administración y Operación para Sistemas municipales de control de la contaminación del agua. Determinación y Desarrollo de Costos de Construcción, Operación y Mantenimiento de los Diferentes procesos de Tratamiento de Aguas Residuales. Memorias Vol. II 1974.

14.- Manual de laboratorio. Departamento de Microbiología Escuela Nacional de Ciencias Biológicas I.P.N.

15.- Manual de muestreo y análisis de laboratorio para el control del procesos en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Departamento del Distrito Federal, Secretaría General de Obras, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Dirección de Operación. México D.F. Abril 1987.

16.- Martínez Lagunes Réne Tesis 1992 UNAM
Digestión aerobia de lodos residuales: Operación, Control y Cinética. Fac. de Química.

17.- Martínez Ruiz Ibeth Tesis 1982 UNAM
Estudio fisicoquímico de las aguas residuales de la refinera de Cadereyta N.L., para su tratamiento y posible reuso como agua de enfriamiento. Fac. de Química.

18.- Moreno Ramírez José L. y Moreno R. Gilberto Tesis 1991 UNAM Fac. de Química
Manejo e Industrialización de los desechos sólidos en México.

19.- Normas Oficiales Mexicanas. SEDESOL

20.- Normas Técnicas Ecológicas. Vol. I y II.
Centro de Investigación y de estudios avanzados. I.P.N.

21.- Pelczar M. J. y et. Microbiología.
México 1966 Ed. McGraw-Hill

22.- La técnica de tomar muestras: primer paso para determinar el origen de la contaminación. Revista PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN. Vol.1 N° 1 Marzo de 1993.

23.- Stainer, E.A. Aldeberg y et. Microbiología
4ta edición 1986 Ed. REPLA.

24.- Normas de planeación y modelos eficientes de diseño para sistemas de tratamiento sanitario de efluentes industriales. Cap. 2 SARH, SEDESOL 1992.

25.- Revista FEDERALISMO Y DESARROLLO. ¿Cuanto cuesta instalar un sistema de tratamiento de aguas residuales. N° 31 Enero-Febrero 1992.

26.- Reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas. Serie: normatividad ecológica. SEDESOL.

27.- Secretaría de Recursos Hidráulicos. Operación de Plantas de tratamiento primario de aguas residuales. Vol. I y II Manual del Curso "C".

28.- Simura Lira. Influencia de los procesos ambientales en el sistema de contaminación del agua. Concurso Premio Nacional Serfin sobre el medio ambiente. México D.F. Noviembre 1984.

29.- Trujillo Hernández Jesús Tesis 1984 UNAM
Control de Calidad en el Laboratorio de Análisis de aguas

30.- Vazquéz García Ma. de Lourdes Tesis 1991 UNAM
Tratamiento Biológico de aguas residuales de la industria del papel, uso de reactores rotatorios. Fac. de Química.

31.- Vergara Moran Gerardo M. Tesis 1990 UNAM
Estudio de la normatividad en el area de contaminación ambiental.

32.- León Sandoval Enrique Ignacio Tesis 1983 UNAM
Criterios para la evaluación de la calidad del agua residual proveniente de las zonas industriales.

33.- METODOS NORMALIZADOS. Para el análisis de aguas potables y residuales. APHA, AWWA, WCPI
Ed. Diaz de Santos S.A. 1992

34.- Rodier, J. y et. Análisis de Aguas.
Ediciones Omega, Barcelona, España 1981