



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN



22
20j

TOPICOS SELECTOS DE LA PRODUCCION AGRICOLA
ACTUAL CONTAMINACION DE SUELOS AGRICOLAS
POR AGUAS NEGRAS

TRABAJO DE SEMINARIO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERA AGRICOLA

P R E S E N T A

EMMA LAURA LAGUNAS LECHUGA

ASESOR: O. LAURA BERTHA REYES SANCHEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO

FEBRERO 1995

FALLA DE ORIGEN



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: OFICIO DE TERMINACIÓN
DE LA PRUEBA ESCRITA.

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S.-C.

Con base en los art. 19 y 20 del Reglamento General de Exámenes, informo a ud., que ha sido concluido el trabajo DE SEMINARIO DE TITULACION TOPICOS SELECTOS
DE LA PRODUCCION AGRICOLA ACTUAL CONTAMINACION DE SUELOS AGRICOLAS
POR AGUAS NEGRAS.

que presenta LA pasante: EMMA LAURA LAGUNAS LECHIGA
con número de cuenta: 7432078 - 5 para obtener el TITULO de:
INGENIERA AGRICOLA

Bajo mi asesoría, cubriendo los requisitos académicos.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 2 de Febrero de 1995.

Sup. Sánchez
NOMBRE Y FIRMA DEL ASESOR

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

Rafael Rodríguez Ceballos
Bo.
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES
PROFESIONALES DEPARTAMENTO DE
EXÁMENES PROFESIONALES

AGRADECIMIENTOS

AL M.C. EDVINO JOSAFAT VEGA ROJAS

por su apoyo, dedicación y magnífica dirección en la realización del primer Seminario de Titulación

A la Q. LAURA BERTHA REYES SANCHEZ

por su colaboración, entusiasmo y dedicación para asesorarme en la realización de este trabajo

DEDICATORIA

A mis padres con profundo agradecimiento y amor: SR. RODOLFO LAGUNAS LOPEZ Y SRA. CELIA LECHUGA DE LAGUNAS

A mi esposo Ing. VICTOR MANUEL ESTRADA OSORIO y a mis hijos JOSE MANUEL Y ERICK ESTRADA LAGUNAS, por su apoyo y comprensión para lograr esta meta

A mis hermanos: LEONOR, ROSA, PATY, RODOLFO, PEDRO, GRISELDA Y HUGO, por lo que representan en mi vida

A mis compañeros y amigos de la Facultad por brindarme su amistad

A TAY, MARCOS, MARGARITA Y SALOMON, por ser muy especiales

les doy las gracias.

I INTRODUCCION

El agua es uno de los grandes recursos que ofrece la naturaleza y al mismo tiempo, es una de las riquezas indispensables para la vida del hombre y sus actividades productivas.

El enorme crecimiento de la demanda de agua en algunos centros urbanos y regiones del país, el agotamiento y extinción de sus fuentes de abastecimiento, la continua contaminación de las corrientes y el incremento desproporcionado de los gastos; han convertido el abastecimiento y la utilización del agua en uno de los grandes problemas que enfrenta el país y en una de las principales limitantes del desarrollo agropecuario.

México es una país eminentemente árido, se estima que el 62.8% de su área agrícola requiere riego en forma indispensable; el 31.2% lo requiere como necesario; el 4.5% es conveniente y sólo el 1.5% del territorio no requiere riego para obtener cosechas comercialmente productivas.

La disponibilidad de agua para riego es limitada en diversas partes del país, por lo que en diversas regiones o en diferentes ciclos agrícolas se carece de agua suficiente para cubrir la demanda. En la actualidad con el incremento de la población humana, la demanda de agua blanca es cada vez mayor para las necesidades urbanas y por consiguiente cada vez más restringido el empleo de éstas mismas para fines agrícolas, por lo que una alternativa para cubrir la demanda de agua de riego, es el uso de aguas negras de procedencia tanto industrial como doméstica para intentar superar la incertidumbre de una agricultura temporalera.

La constante transformación de los factores tecnológicos, económicos y sociales que intervienen en el aprovechamiento del agua, han provocado que se agudicen dos problemas: escasez y contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua alterándose así las relaciones existentes entre las plantas y el suelo, así como de los organismos que en él habitan.

El uso y aprovechamiento de las aguas, propiedad de la nación son de uso reglamentado y de acuerdo a esta ley deben guardar el siguiente orden:

- **Uso Doméstico**
- **Servicios**
- **Abrevaderos de ganado**
- **Riego de terrenos**
 - a) **Ejidales y Comunales**
 - b) **Propiedad Privada**
- **Industrias**
 - a) **Generación de Energía Eléctrica para Servicio Público**
 - b) **Otras Industrias**

Por lo anterior, el agua para las explotaciones agrícolas se ubica en segundo término, dependiendo de los volúmenes existentes en el subsuelo ó en las obras de captación y almacenamiento de aguas creadas por el hombre, por lo cual se requiere del aprovechamiento de las aguas negras que son generadas por el uso doméstico, servicios públicos urbanos y la industria.

El uso de las aguas negras en la agricultura ha ido en aumento, sin embargo en la actualidad debido a la industrialización y al incremento en el uso de productos químicos en el hogar (aerosoles, triclosán, etc.), la composición de las aguas negras en los últimos años ha venido sufriendo variaciones en su calidad para fines de riego. Así mismo la industria descarga sus desechos al drenaje y contamina las aguas con gran cantidad de elementos tóxicos y nocivos, tales como sales solubles, detergentes del tipo "ABS" (Alquil-Benceno-Sulfatana) metales pesados como boro, zinc etc. y otras sustancias dañinas que afectan la vida vegetal.

Dependiendo del grado de contaminaciones se ha visto dañada la superficie del suelo por el uso de aguas negras, las cuales debieran ser tratadas previamente a su aprovechamiento a través de procesos de tratamiento de acuerdo al tipo y origen de las mismas.

En el presente trabajo se trata de caracterizar de manera general las aguas negras, su composición, características y las diversas técnicas de tratamiento para su aprovechamiento y de señalar los efectos que tienen sobre los campos agrícolas y la repercusión que tienen en los alimentos producidos para los seres humanos y los animales.

II OBJETIVOS

- **Conocer el origen la composición y los tratamientos más comunes que se realizan en las aguas negras.**
- **Conocer el efecto de los componentes de las aguas negras en el desarrollo de los cultivos y en los suelos agrícolas.**
- **Plantear perspectivas futuras de la utilización de aguas negras en la agricultura.**

III MARCO TEORICO

3.1 Antecedentes

En México se cuenta con una infraestructura económica para cubrir la demanda de agua en las ciudades, para la producción de alimentos, la industria y la generación de energía eléctrica.

En la actualidad nuestro país enfrenta dos grandes metas; satisfacer la demanda de agua para la población y la industria, y tratar la cantidad del agua residual generada a fin de disponer o utilizar este recurso para actividades de recreo, industriales y agrícolas cuidando la salud de la población y el medio ambiente, lo cual representa un gran reto a corto, mediano y largo plazo. En nuestro país el uso de aguas negras en la agricultura se inició a principios de siglo, en el Valle del Mezquital perteneciente al Estado de Hidalgo.

La Ciudad de México cuenta con 5 plantas de tratamiento y en total 650 plantas de tratamiento en todo el país con una capacidad instalada de 34,815 lts/seg equivalente al 22% del caudal total de aguas negras de origen municipal. Las aguas negras que retornan a las corrientes con mayor o menor grado de carga contaminante en el sector agrícola es de 20,000 millones m³ siendo el 26% con contenido de residuos agro químicos y el 43% se vierte a través de las descargas domésticas con contenido de materias orgánicas y bacteriológicas así como tóxicos. Sólo en 4 cuencas se recibe el 50% de las descargas de agua residual: Pánuco, Lerma, San Juan y Balsas. El Distrito más grande de riego con aguas negras es el N° 03 con 42,000 ha situado en el Valle del Mezquital. El agua que procesa recorre aproximadamente 100 Km por canales y drenajes hasta llegar a la presa Requena que junto con la Endhó abastecen de agua a 26,541 ejidatarios.

El 6% del riego se da con aguas residuales en 350,000 has correspondiendo 24,100 has a hortalizas y 325,900 ha a otros cultivos.

3.2 Definición

Por aguas negras se entiende las impuras y no potables, son fundamentalmente las aguas de abastecimiento después de haber sido utilizadas, procedentes tanto

de las viviendas como de los establecimientos industriales y comerciales a las que pueden incorporarse las superficiales y pluviales que vayan a parar a las alcantarillas. Su composición depende de su procedencia.

3.3 Volúmenes

La cantidad o volumen de aguas negras que se producen varían de acuerdo a la población y dependen de muy diversos factores. Una población residencial puede producir unos 160 litros por persona por día mientras que una población industrial podrá producir 800 litros o más por actividad por día aunque estas cifras tienden a aumentar por el uso cada vez mayor de máquinas automáticas. Una persona de un nivel medio genera aproximadamente 140 lt/día 100,000 personas generan 5'000,000 m³ año, suficiente cantidad para regar 1,000 has con una lámina de riego de 5,000 m³ /ha/año, usando un método eficiente de riego. El volumen de aguas negras es mucho mayor cuando las aguas pluviales entran a las alcantarillas.

3.4 Origen de las aguas negras

Desde el punto de vista de su origen, resultan de la combinación de los líquidos y los desechos o partículas sólidas arrastradas por el agua procedente de las casas habitación, edificios comerciales, e instituciones junto con las provenientes de los establecimientos industriales, las aguas de uso agrícola que han pasado por campos irrigados con ellas y que no han sido absorbidas ni por el suelo ni por los vegetales y las aguas superficiales ó de precipitación que puedan agregarse por el alcantarillado y las subterráneas.

3.5 Clasificación de las Aguas Negras

Las aguas negras se clasifican de acuerdo a su origen:

- a) **Uso doméstico**
- b) **Uso industrial**
- c) **Uso agrícola**
- d) **Aguas pluviales e infiltraciones de aguas subterráneas**

a) Las aguas negras de origen doméstico

Generalmente proceden tanto de las viviendas, como de hoteles, establecimientos comerciales y edificios públicos; se componen generalmente de agua usada y excrementos humanos, las domésticas proceden de tres fuentes de uso; higiene, alimentación y condiciones sanitarias. Se componen principalmente de materia orgánica en forma de sólidos que son originados por las actividades humanas más elementales y evacuados utilizando el sistema de alcantarillado, esta agua se caracteriza porque contiene organismos patógenos provenientes del cuerpo humano como coliformes fecales, estreptococos, nemátodos y quistes amibianos. Otro aporte es el agua usada en la regadera en las que generalmente su contenido es de jabón y detergente. Otra fuente que conforman estas aguas son las provenientes de la limpieza de las casas, calles, centros comerciales etc. donde encontramos compuestos que forman los detergentes, concentraciones de grasas, aceites y contenido significativo de materia orgánica, por lo que podemos concluir que la distribución de aguas negras de origen doméstico es de la siguiente manera:

Evacuación y excusados	40%
Regaderas	30%
Lavado de ropa	15%
Lavado de utensilios	6%
Actividades de cocina	5%
Actividades varias	4%

b) Las aguas negras de origen industrial

Los productos de desecho de los procesos fabriles son parte importante de las aguas negras de una población y se distinguen por tener gran variedad de sustancias ya sea en forma disuelta o suspendida en las aguas determinando su impacto sobre el medio ambiente cuando son utilizadas. Estos desechos varían mucho por su tipo y volumen dependiendo de la industria que se trate, en algunos casos son tales sus características que es necesario disponer de sistemas separados para su recolección y disposición. Generalmente este tipo de agua posee una gran cantidad de sustancias tóxicas, metales pesados, agentes espumosos, detergentes y otras sustancias químicas que interfieren o dañan el drenaje y otras estructuras; por esta razón, no tendrán que agregarse directamente a las aguas negras sino recibir un tratamiento preliminar.

c) Las aguas negras de origen agrícola

Las aguas de retorno agrícola son todas aquellas que han pasado por campos agrícolas y no han sido absorbidas ni por el suelo ni por los vegetales, por esto contiene altas concentraciones de nutrientes provenientes de fórmulas fertilizantes y altas concentraciones de plaguicidas. Este tipo de aguas provocan la aceleración de los procesos de eutroficación al llegar a los cuerpos de agua, además de ser causantes de contaminación tanto de flora como de fauna.

d) Aguas pluviales e infiltraciones de aguas subterráneas

Las lluvias depositan cantidades variables de agua en la tierra y gran parte de ella lava la superficie al escurrir, arrastrando polvo, arena, hojas y otras basuras. En algunas poblaciones se deja que estos escurrimientos pluviales vayan al drenaje que sirve para coleccionar los desechos propios de la comunidad formando parte importante de las aguas negras. En otros lugares se coleccionan aparte estos escurrimientos para su disposición y no se mezclan con las aguas negras de la comunidad. El volumen de este tipo de agua varía según la intensidad de la precipitación, la topografía y las zonas pavimentadas y techadas.

Con respecto a las infiltraciones de aguas subterráneas, la red de alcantarillado, dispositivo para coleccionar y conducir las aguas negras generalmente se encuentra enterrado y en algunos casos por debajo de los mantos acuíferos que en temporadas de lluvias se va incrementando su nivel. Las uniones de las tuberías no quedan selladas y además los reacomodos de tierra fracturan las redes de drenaje existiendo la posibilidad de que se infiltre el agua subterránea. Los drenajes colectores no funcionan a presión sino que el flujo es por gravedad y por esto son posibles las infiltraciones. El volumen de agua que se infiltra no puede determinarse con exactitud porque depende de la estructura del suelo, tipo de drenaje, de la precipitación etc.

IV CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS NEGRAS

Las aguas negras son líquidos turbios que contienen material sólido en suspensión, cuando son frescas su color es gris y tienen un olor no desagradable, se calcula que en el periodo de un año se arrastran 45 ton de materia sólida. Físicamente las aguas negras contienen sustancias en suspensión y solución. Parte de esta materia sólida va sedimentándose en el agua semiestancada o que se mueve con fluir lento, mientras que otra parte continúa en suspensión. Si las aguas negras descargan en una masa de agua sin haber sido sometidas a tratamiento previo, darán lugar a la formación de bancos de cieno y a la acumulación de materias ligeras que quedarán flotando a lo largo de las orillas. Químicamente las aguas negras contienen sustancias de origen animal, vegetal y mineral. La materia orgánica, es decir la de origen vegetal y animal representa del 40 al 70% de la masa sólida contenida y se reduce fácilmente a compuestos más simples mediante la acción química o biológica. La descomposición de las sustancias origina olores repugnantes y condiciones peligrosas para la salud humana.

La cantidad de sólidos es casi siempre menor de 0.1% en peso, pero es la fracción que presenta el mayor problema para su tratamiento y disposición adecuados. El agua provee solamente el volumen y es el vehículo para el transporte de los sólidos, éstos pueden estar disueltos, suspendidos o flotando. Las principales características de las aguas negras se dividen en: físicas, químicas (orgánicas e inorgánicas) y biológicas. A continuación se describen cada una de ellas.

4.1 Físicas

Las propiedades físicas de las aguas negras se distinguen por el contenido total de sólidos, sustancias coloidales y materia disuelta; los parámetros para su caracterización son:

- a) La temperatura del agua residual es un aspecto de gran importancia en una planta de su tratamiento de aguas negras ya que su efecto acelera las reacciones químicas y biológicas; reduce la solubilidad de los gases, acentúa los olores y sabores; pero los efectos más importantes son: solubilidad del O_2 en el agua y la actividad microbiológica. Su temperatura oscila entre los 10° y 20° C favoreciendo el desarrollo de la fauna así como la flora presentes en ella.

- b) El color es indicador de la concentración y composición de las aguas contaminadas y varía del gris al negro por los procesos de descomposición y también indica el tiempo que las descargas de aguas residuales han estado dentro del sistema de alcantarillado. Las aguas residuales domésticas tienen un color pardo grisáceo; las industriales varían mucho de color dependiendo del proceso en el que se usa el agua y de las sustancias que se le agregan. El color que se presenta en el agua puede ser de origen mineral (Fe, Mn) o vegetal (materia orgánica, algas, semillas, etc.). No existe una correlación entre el color y su índice de contaminación.
- c) El olor se genera directamente por la descomposición de la materia orgánica siendo responsable directo de ello el ácido sulfhídrico y otras sustancias volátiles. El olor indica el origen del agua y su grado de descomposición. El olor es debido a una gran cantidad de sustancias, organismos microscópicos vivos (algas), vegetación en estado de descomposición y materia orgánica en descomposición.
- d) La turbiedad es la característica que hace aparecer al agua como sucia o barrosa. Está en proporción a la cantidad de materia suspendida que se tiene en las aguas negras, por lo que a mayor turbiedad mayor contenido de partículas en suspensión y coloidales que limitan el paso de la luz a través del agua, pueden ser partículas minerales (limo, arcilla, Zn, Fe, Mn) y orgánicas (microorganismos, aserrín, fibras orgánicas).
- e) La conductividad eléctrica de un líquido es proporcional al contenido de materia disuelta o iones presentes, así por ejemplo las aguas de origen industrial, poseen un mayor valor de conductividad que las aguas de origen doméstico.

4.2 Químicas

Las características fisicoquímicas significativas en las aguas negras están dadas por compuestos químicos como: radicales, iones, elementos etc. que determinan la fuerza de éstas. La remoción de los sólidos es una de las principales preocupaciones de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Los sólidos de las aguas negras pueden clasificarse en dos grupos generales: según su composición o su condición química; así tenemos sólidos orgánicos e inorgánicos los cuales pueden estar suspendidos o disueltos y éstos pueden

contener materia volátil (orgánica) ó fija (inorgánica ó mineral). Los sólidos totales, son tanto los sólidos suspendidos como los disueltos y los sólidos suspendidos son aquellos que quedan en el filtro, después de ser pasada la muestra por él. Los sólidos disueltos son los presentes en el líquido filtrado de la determinación anterior. Los sólidos fijos ó inorgánicos se determinan al quemar los sólidos totales suspendidos ó disueltos. Los sólidos volátiles se calculan sacando la diferencia de peso entre los sólidos fijos y los suspendidos.

4.2.1 Sólidos Orgánicos

Los sólidos orgánicos son aquellos que tiene su origen a partir de la materia viviente. Estos son aprovechados por las bacterias para su alimentación. Están formados generalmente por una combinación de carbono, hidrógeno y oxígeno junto con nitrógeno; los principales grupos de sustancias orgánicas hallados en el agua residual son: proteínas, carbohidratos, grasas, aceites y urea constituyentes de la orina, así como diferentes moléculas orgánicas sintéticas tales como fenoles, detergentes y pesticidas usados en la agricultura; la presencia de éstos ha complicado en los últimos años su tratamiento, ya que muchos de ellos no pueden descomponerse y persisten durante años ó se degradan lentamente.

Estos sólidos orgánicos son el principal constituyente de las sustancias alimenticias animales y en menor cantidad de plantas vegetales:

a) Proteínas

Los elementos constituyentes de las proteínas son el carbono, hidrógeno y el oxígeno aunque como característica principal tiene un alto contenido de nitrógeno (más o menos el 16%) y en algunos casos azufre, hierro y fósforo su contenido es de un 40 a un 60%. La urea es la causante de los olores fétidos.

b) Carbohidratos

Se incluyen los azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera caracterizados por estar formados a base de carbono, hidrógeno y oxígeno, la celulosa es el carbohidrato más importante en un desecho debido a su gran resistencia a la biodegradación. En las aguas residuales se encuentran de un 25 a 50%.

c) Grasa y Aceites

Estos compuestos son estables y difíciles de degradar biológicamente son ésteres de alcoholes y glicerol con ácidos grasos, éstos provienen de manteca, mantequilla, margarina y aceites vegetales. Están formados por carbono, hidrógeno, y oxígeno. La grasa es uno de los componentes orgánicos presentes más difíciles de degradar. El queroseno y aceites lubricantes provienen de las industrias, talleres, estacionamientos y calles y gran parte de las partículas de aceites se encuentran flotando, formando una capa que tiende a cubrir la superficie.

d) Detergentes

Están constituidos de un 25% de surfactantes provenientes de uso doméstico, comerciales e industriales. Son los causantes de la formación de la espuma de la superficie del agua, la cual ocasiona serios problemas en las plantas de tratamiento de aguas negras, son de difícil biodegradación ya que están constituidos a base de fosfatos, ocasionando deterioro ecológico en diversas formas:

- Los efectos que ocasionan en el suelo propician dispersión de las partículas del mismo.
- Provocan la penetración o infiltración de las aguas a horizontes donde no hay cultivos que puedan aprovecharlas.
- Los detergentes causan susceptibilidad en los cultivos al DDT, Dieldrin, Aldrin y otros insecticidas.
- Aumentan la persistencia de los herbicidas e insecticidas.
- Existen evidencias de que el ABS (Alquil - Benceno - Sulfatana) se acumula en los suelos.

e) Fenoles

Estos compuestos provienen de descargas industriales. Son biodegradables en concentraciones de 500 mg/l por ser oxidados biológicamente hasta encontrarse en pequeñas concentraciones. Generalmente son los

responsables de los malos olores (fétidos).

f) Plaguicidas

Se refiere a una gran gama de sustancias como insecticidas, herbicidas, fungicidas, pesticidas etc. Se encuentran presentes en las aguas de retorno agrícola, su uso es muy variado en la agricultura son producto del desarrollo científico y tecnológico. Tienen una función muy importante en el control de las enfermedades transmisibles (paludismo, dengue, tifo, etc.) así mismo han influido en el desarrollo agrícola, ya que insectos, malas hierbas y otras plagas destruyen gran parte de los cultivos.

Los productos órganoclorados han destacado por su alta estabilidad química, son muy solubles en grasas y prácticamente insolubles en agua. Esto les permite almacenarse en los tejidos ricos en grasas de los seres vivos y adherirse a partículas suspendidas en el agua de los sedimentos del fondo de los sistemas hídricos y en la materia orgánica del suelo.

Los pesticidas son un caso especial de contaminantes ya que son sustancias químicas tóxicas, que se dispersan en el ambiente en forma deliberada, con el fin de explotar sus propiedades tóxicas. Sin embargo al trasladarse a sitios alejados del punto de aplicación, se convierten en contaminantes de sistemas bióticos y abióticos.

4.2.2 Sólidos Inorgánicos

Son sustancias inertes que no están sujetas a la degradación. A los sólidos inorgánicos se les conoce frecuentemente como sustancias minerales. La cantidad de sólidos, tanto orgánicos como inorgánicos en las aguas, les dan lo que frecuentemente se conoce como su fuerza. En realidad, la cantidad o concentración de sólidos inorgánicos, así como su capacidad para degradarse o descomponerse, son la parte principal de la fuerza de una agua negra. Se pueden clasificar a los sólidos de acuerdo con su condición física como sólidos suspendidos, sólidos coloidales y sólidos disueltos, incluyendo en cada uno de éstos grupos tanto sólidos orgánicos como inorgánicos:

Sólidos totales	Sólidos suspendidos	Sólidos sedimentables	Orgánicos Inorgánicos	Sólidos sedimentables	Sólidos totales
		Sólidos coloidales	Orgánicos Inorgánicos	Sólidos Coloidales	
	Sólidos disueltos	Sólidos coloidales	Orgánicos Inorgánicos	Sólidos disueltos	
		Sólidos disueltos	Orgánicos Inorgánicos		

Dentro de los sólidos inorgánicos se encuentran: cloruros, sulfatos, fósforo, azufre, etc. y sus concentraciones dan origen a indicadores de su contenido mineral como son el pH, la alcalinidad y la dureza del agua.

a) Cloruro

Anión inorgánico que en mayor concentración se presenta en aguas naturales y de desecho, ya que los métodos convencionales de tratamiento eliminan cantidades importantes de cloruro. Las concentraciones grandes de cloruro indican que el agua está siendo usada para la disposición de desechos. El cloruro no permite que la planta ingiera agua (efecto - osmótico) a consecuencia de la evaporación y los riegos sucesivos que se les den. En general, toda la materia orgánica reacciona con el cloro.

b) Nitrógeno

Los compuestos nitrogenados son un índice químico de contaminación. Es esencial para la síntesis de proteínas y formación de aminoácidos. Un alto contenido de NO_2 o NH_3 sugiere una actividad biológica considerable. Las bacterias descomponen el nitrógeno presente en las aguas residuales formando amoníaco, la presencia de éste indica el envejecimiento de las aguas. En un medio aeróbico las bacterias oxidan al nitrógeno amoniacal a nitrito y nitrato. La dominancia de nitrógeno en forma de nitrito indica que el desecho se estabilizó, con respecto a la demanda de oxígeno; la presencia de nitrato en agua de riego puede considerarse como un elemento

aprovechable, pero en altas concentraciones puede dañar a los cultivos. Este elemento se encuentra en las aguas negras en forma de urea y materia proteica. Una concentración mayor de amoniaco es evidencia de que existe poco material proteico en descomposición.

c) Fósforo

Es un elemento esencial para el crecimiento de la flora y fauna acuática. Los fosfatos provienen de la actividad doméstica del hombre, de detergentes y de productos con hexametrafosfatos de sodio usados en las redes de agua potable y pozos de abastecimiento. En aguas de desecho doméstico se encuentran en tres formas: Ion ortofosfato, polifosfatos y compuestos organofosforados implicados en procesos de descomposición de materia orgánica. En suelos agrícolas la aplicación de fósforo favorece el crecimiento de cultivos, pero cuando el fósforo se encuentra en forma de fosfatos en altas concentraciones, ocasiona una disminución en la productividad por efectos adversos sobre la disponibilidad de micronutrientes como el fierro y zinc.

d) Azufre

Intervienen en la síntesis de proteínas, se encuentran en forma de sulfatos en combinación con calcio y magnesio causando incrustaciones duras en tuberías y equipos. En concentraciones de más de 500 mg/l, tienen acción laxante, puede existir toxicidad en plantas y animales en concentraciones de 200 a 500 mg/l. Los sulfatos son reducidos químicamente por las bacterias a sulfuros y ácido sulfhídrico, ocasionando problemas de corrosión en las redes de alcantarillado y malos olores.

e) Gases

Los más frecuentes en las aguas residuales son el nitrógeno, oxígeno, bióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amonio y metano. Los tres primeros son gases comunes de la atmósfera y se encuentran en todas las aguas expuestas al aire. Los últimos tres se originan de la descomposición de la materia orgánica presente en el agua de desecho. El oxígeno se encuentra disuelto en el agua y es necesario para la respiración de los seres acuáticos aeróbicos. Es un elemento indispensable para la vida en cualquiera de sus formas. Es un gas que puede ser disuelto por el agua, razón por la cual se habla del "oxígeno disuelto". Se dice que se trata de un agua

séptica, el parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una forma indirecta de medir la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual. Los organismos vivos aeróbicos requieren del oxígeno disuelto en el agua para poder realizar sus funciones vitales o sea reduce la materia orgánica a compuestos más simples. Se puede decir que la DBO es una medida de la cantidad de materia orgánica que tiene el agua, cuanto mayor sea la DBO mayor será la cantidad de materia orgánica en el agua. La ausencia del oxígeno provoca formación de medios anaeróbicos y olores desagradables. El ennegrecimiento de las aguas se debe a la presencia de sulfuro de hidrógeno que se combina con el hierro formando sulfuro ferroso. Su función es importante en la descomposición y tratamientos de los sólidos de las aguas negras.

f) Metales pesados

Son muchas las sustancias tóxicas que pueden llegar a las aguas residuales para después contaminar los cuerpos de agua naturales. Pequeñas cantidades de los elementos siguientes: zinc, níquel, mercurio, plomo, cromo, cobre, cadmio, magnesio, aluminio, hierro, cobalto, boro, son constituyentes de muchas aguas, algunos de estos metales son necesarios para el crecimiento de la vida acuática, su ausencia limita el crecimiento de algas y en exceso es perjudicial por adquirir grados tóxicos.

g) Alcalinidad

Es la capacidad del agua para neutralizar ácidos. La alcalinidad en el agua residual se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos, de elementos tales como calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco. De éstos, los más frecuentes son los bicarbonatos de magnesio y calcio. Los resultados de las determinaciones de alcalinidad se expresan en términos de carbonatos de calcio. La alcalinidad no tiene gran importancia desde el punto de vista sanitario.

h) Dureza del agua

Se debe a la presencia de cualquier catión polivalente pero generalmente solo se considera al calcio (Ca) y al magnesio (Mg) por ser los más abundantes en las aguas naturales.

La presencia de estos cationes impiden la formación de espuma de jabón y causa gran desperdicio del mismo. Otro problema es la formación de precipitados dentro de las tuberías y accesorios, causando la reducción de su capacidad hidráulica no se ha demostrado corrección entre las aguas con alto contenido de dureza y daños al organismo. Los problemas son de tipo doméstico e industrial.

i) **Potencial hidrógeno**

El pH Indica el -logaritmo de la concentración de iones de hidrónio desde el punto de vista práctico. Es una medida de la acidez del agua. El pH ideal para la retención de la mayoría de los componentes de las aguas residuales, es el comprendido entre 6 y 7; cabe señalar que la mayoría de los elementos son más asimilables si el pH es inferior a 6.5 que si es superior. El pH del suelo tiene una influencia decisiva en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, de hecho, el pH determina la eficiencia con que las plantas pueden usar los nutrientes. Este parámetro es importante ya que los organismos que degradan la materia orgánica no son capaces de sobrevivir si el valor del pH es menor de 4.5 ni mayor a 9.5. Además, influye en muchos procesos como coagulación, desinfección, ablandamiento y en procesos vitales.

4.3 Biológicas

Las aguas negras contienen también incontables organismos vivos, la mayoría de los cuales son demasiados pequeños para ser visibles excepto bajo el microscopio. Son la parte viva natural orgánica que se encuentra en las aguas negras y su presencia es de suma importancia porque es uno de los motivos para el tratamiento de estos mismos, su degradación y descomposición depende de sus actividades. Se clasifican en protistas (que incluye bacterias, hongos, protozoos, virus) plantas, (helechos, musgos, hepáticas y semillas) y animales (vertebrados e invertebrados).

a) **Protistas**

Son de mayor importancia las bacterias, algas y protozoos; así como las bacterias coliformes, las cuales se utilizan como indicadores de la contaminación producida por desechos de origen humano. Las algas pueden ocasionar grandes problemas en las aguas superficiales ya que cuando las

condiciones son favorables, pueden reproducirse rápidamente y cubrir ríos, lagos y embalses (crecimiento explosivo) la presencia de algas afecta el valor del agua de suministro ya que puede causar problemas de olor y sabor. Los protozoos de más importancia son amebas, flagelados y los ciliados; éstos se alimentan de bacterias y son básicos en los procesos de tratamiento de aguas negras así como en la purificación de los ríos ya que mantienen el equilibrio entre los microorganismos.

b) Virus

Los excretados por los humanos son de gran peligro para la salud pública ya que son arrastrados por las materias fecales hasta las aguas negras. Los organismo coliformes son útiles para destruir la materia orgánica en los procesos biológicos de tratamientos de aguas negras.

c) Plantas y animales

Varían desde rotíferos microscópicos y gusanos hasta crustáceos macroscópicos. El conocimiento de estos organismos es importante para conocer el estado de las corrientes y lagos.

La actividad de la vida biológica en las aguas negras produce muchos cambios en la composición química de sus sólidos. Estos cambios bioquímicos no solo indican las actividades de los microorganismos, sino que miden también el grado de descomposición de los sólidos y por lo tanto, la eficiencia de cualquier proceso de tratamiento. Los cambios bioquímicos producen sobre los sólidos coloidales o no sedimentables, una eliminación de las moléculas de agua retenidas en ellos, esta pérdida de agua hace que se aglomeren o floculen formando sólidos más pesados o sedimentables. Estos sólidos orgánicos e inorgánicos se separan y se conocen como lodos y arenas. A través de la descomposición anaeróbica el oxígeno es eliminado de los compuestos complejos y se forman otros más sencillos como son sustancias orgánicas e inorgánicas estables. Los sólidos orgánicos son compuestos formados por el elemento carbono, en combinación con nitrógeno, azufre, fósforo, hidrógeno, oxígeno, etc. de manera que los productos finales de los cambios bioquímicos son bióxido de carbono, nitrato, sulfatos y otras sustancias similares, así como sales minerales, todos ellos presentes en las aguas negras y que sirven como fertilizantes o alimento para producir nueva materia orgánica. Durante la descomposición bioquímica se forman productos intermedios como el ácido sulfhídrico, metano y bióxido de carbono.

Por ello, los productos intermedios de la descomposición bioquímica de los sólidos orgánicos, proporcionan un indicador excelente del progreso de la actividad bioquímica, así como del tipo y grado de tratamiento resultante.

V TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS

La disposición satisfactoria de las aguas negras, ya sea por irrigación, por el método subsuperficial o por el de dilución depende del tratamiento previo a su disposición. Para la disposición por dilución se necesita un tratamiento apropiado para prevenir la contaminación de las aguas receptoras a un grado que pueda interferir con su mejor empleo ya sea como agua de abastecimiento, para fines recreativos, para la pesca o cualquier otro propósito. Siempre es necesario algún tratamiento para evitar el crear condiciones ofensivas aún cuando una masa de agua no tenga otra aplicación que la disposición en ella de aguas negras o desechos industriales.

El tratamiento es un proceso natural ó artificial que consiste en remover ó alterar mediante procedimientos mecánicos, biológicos y fisicoquímicos las materias en suspensión coloidal ó disueltas en las aguas negras, convirtiéndolas en aguas menos ofensivas o peligrosas.

Los métodos y grado de tratamiento de aguas negras depende de las condiciones locales, de su volumen relativo y de la capacidad del vertedor, así como del empleo de éstas. La finalidad primordial que el tratamiento de aguas negras persigue, es la eliminación de las materias sólidas en suspensión, la transformación de la materia disuelta putrescible¹ en sustancias inocuas y la eliminación de las bacterias. El tratamiento puede ser físico, pasar a través de rejillas ó sedimentación; químico por adición de productos que aceleran la velocidad de sedimentación y bacteriológico por depuración con filtros de arena, percoladores o lodos. Estos procedimientos se denominan también como tratamientos primario, secundario o terciario.

Los tipos de tratamiento son cuatro y el uso de ellos trae consigo algunas ventajas dentro de las cuales mencionamos a continuación, las de mayor importancia.

- Conservar las fuentes de abastecimiento de agua para uso doméstico libres de contaminación.
- Prevenir enfermedades.
- Aprovechar racionalmente el agua mediante su reutilización.

¹Putrescina: producto de putrefacción de la carne perteneciente al grupo de las ptomainas. Es la tierametilen, diamina $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$, se le obtiene sistemáticamente por hidrogenación del butano-dinitrilo

- Mantener limpias las aguas que se usan para la supervivencia.
- Es una fuente adicional, segura y creciente para garantizar la satisfacción de las demandas de agua.
- Reducir la concentración de metales pesados en las aguas negras por medio de controles en la fuente.
- Conservar las aguas limpias para el baño y propósitos recreativos y de jardinería.
- Proteger el agua para usos industriales y agrícolas.
- Prevenir el azolve de los canales navegables.
- Alternativa substancial para ayudar a resolver los problemas de contaminación y escasez de agua en algunas regiones.

Métodos de Tratamiento

El grado de tratamiento que sea necesario dar a las aguas negras depende de tres factores básicos determinantes.

- 1) Las características y cantidades de aguas negras.
- 2) El tipo de agua que se pretende conservar de acuerdo al uso que se destine.
- 3) La capacidad del agua receptora para asimilar desechos.

Así tenemos que la elección de un grupo de métodos de tratamiento depende de diversos factores, incluyendo el de las instalaciones de eliminación disponibles.

Los esquemas de tratamiento con frecuencia son identificados como preliminar, primario, secundarios y terciarios (avanzados) pero también se pueden clasificar como tratamiento biológico, tratamiento químico y tratamiento físico.

5.1 Tratamiento Preliminar

El objeto del tratamiento preliminar consiste en separar de las aguas negras aquellos constituyentes que pudiesen obstruir o dañar los sistemas de tratamiento o interferir con los procesos subsiguientes de ellos.

Por lo tanto los dispositivos para el tratamiento preliminar se diseñan para:

- 1) Separar o disminuir el tamaño de los sólidos orgánicos grandes que flotan o están suspendidos. Estos sólidos consisten generalmente en trozos de madera, tela, papel, basura junto con algo de materia fecal.
- 2) Separar los sólidos inorgánicos pesados como la arena, grava e incluso objetos metálicos.
- 3) Separar cantidades excesivas de aceites y grasas. Para lograr éstos propósitos se usa un equipo muy variado.

Si las aguas negras son de origen doméstico no necesitan ser tratadas previamente a su aplicación al suelo en lo que se refiere a los sólidos suspendidos; sin embargo se hace preciso un tratamiento que reduzca a los límites adecuados, el contenido de organismos coliformes, ya que éste no debe ser superior a 22/100 ml. Si se van a utilizar para el riego de parques, jardines y para fines de instalaciones deportivas las limitaciones no son tan severas.

5.2 Tratamiento Primario

El propósito fundamental del tratamiento primario consiste en disminuir la velocidad de las aguas negras para que puedan sedimentarse los sólidos, se separan y eliminan la mayoría de los sólidos suspendidos ó sea aproximadamente de 40% a 60%; usualmente esto se logra por cribado y sedimentación en cámaras de depósito. Cuando se agregan ciertos productos químicos en los tanques, se eliminan casi todos los sólidos coloidales así como los sedimentables o sea un total de 40 a 60% de los sólidos suspendidos. El afluente del tratamiento primario contendrá mucha materia orgánica y tendrá una demanda bioquímica de oxígeno alta, lográndose separar durante éste a las grasas y aceites.

- a) Cribado (rejas, cribas de barras, cribas finas y desmenuzadoras): se trata de eliminar los elementos de grandes dimensiones que se hayan en el agua de

albañal ó cruda como son: trapos, materiales plásticos etc. y que podían entorpecer el funcionamiento hidráulico de la planta, se intercala con este fin una rejilla cuyas barras tendrán una separación variable dependiendo de los objetos por eliminar; así por ejemplo, tenemos una criba ó rejilla gruesa con abertura de 2 a 15 cms que se utilizan para separar objetos flotantes grandes como troncos de madera, plásticos, papel etc. de las aguas negras y que coleccionará cerca de 7.5 m³ en 10 6 m³ de aguas negras.

Cribas Finas: cuentan con aberturas de 3 mm o menos y se clasifican en cribas de banda, de disco y de tambor; su aplicación es restringida por la dimensión de sus aberturas los sólidos separados se reducen de tamaño con desmenuzadores, molinos, cortadoras y trituradoras dispositivos que sirven para romper o cortar los sólidos hasta un tamaño tal que permita que sean reintegrados a las aguas negras sin peligro de obstruir las tuberías.

- b) **Separación del aceite:** las aguas urbanas contienen a menudo materias flotantes que pasan a través de las rejillas como son: aceites, hidrocarburos, restos de grasas, fragmentos de materias plásticas etc.

Los aceites y los hidrocarburos forman una capa delgada en la superficie entorpeciendo así el proceso de aereación, en el caso de los lodos activados, en cuanto a las materias sólidas flotantes se corre el riesgo de que se formen tapones que puedan obstruir los canales o los orificios de la planta, por lo que es necesario atrapar dichas substancias en el nivel del tratamiento primario por medio de un dispositivo de desnatado.

- c) **Desarenado:** las aguas negras contienen grandes cantidades de sólidos inorgánicos como: arena, cenizas y grava a lo que generalmente se le llama arena, después del cribado quedarían aún en el agua fragmentos sólidos que pueden ser decantados con facilidad pero cuya dureza y tamaño relativamente importante, superior a 0.2 mm de diámetro, podrían llevar a la abrasión de ciertos elementos de la planta de tratamiento, en especial las bombas.

Estos materiales fácilmente decantables se eliminan en pequeños tanques rectangulares o circulares, lo que permite reducir la velocidad del agua para que sedimenten las partículas pétreas y arenas finas para las cuales fue proyectado el desarenador, los que disponen de desagües para desalojarlas. Estos desarenadores permiten un tiempo de retención de 15 min y velocidad del agua de 0.10 m por seg, para que decanten las arenas finas hasta 0.1 mm de diámetro.

- d) **Decantación:** con el fin de precipitar la materia en suspensión de un diámetro inferior a 0.2 mm se hace circular el agua lentamente dentro de un tanque donde se rastrillan o aspiran periódicamente los materiales acumulados en el fondo.

En la mayoría de las plantas de depuración se efectúan dos decantaciones, una de las aguas que salen del tratamiento primario y otra después del tratamiento secundario.

- e) **Filtración:** se puede efectuar la filtración de aguas crudas previamente tratadas, así como de aguas posteriormente tratadas por medios biológicos o químicos. Sin embargo el contenido elevado de materias coloidales y mucílagos de las aguas dificultan su filtración, excepto en el caso de filtros cuyas mallas sean bastante grandes, del orden de una décima de milímetros lo cual carece de interés. Por el contrario este procedimiento se usa ampliamente en el tratamiento de lodos.

La filtración se define como el proceso por el cual se separa la materia suspendida mediante el paso de agua a través de una capa porosa generalmente arena y que detiene las partículas en suspensión. Su finalidad es remover tanto la turbiedad y el color remanente tanto como la reducción bacterial que puede llegar hasta a el 99%. Los filtros generalmente consisten en una capa de arena que es sostenido por un sistema de desagüe dentro de un depósito provisto de varios accesorios.

Tanques de Preaereación

A veces se procura una preaereación de las aguas negras, es decir, una aereación antes del tratamiento primario para lograr lo siguiente:

- 1) Obtener una mayor eliminación de sólidos suspendidos en los tanques de sedimentación
- 2) Ayudar a la eliminación de grasas y aceites que arrastren las aguas negras
- 3) Refrescar las aguas negras sépticas antes de llevar a cabo el tratamiento
- 4) Disminuir la DBO.

La preparación se logra introduciendo aire en las aguas negras durante un período de 20 a 30 minutos a la velocidad que se determine. Esto puede llevarse a cabo forzando el paso de aire comprimido a través de las aguas negras,

generalmente a razón de 0.75 litros de aire por litro de aguas negras o por agitación mecánica para que las aguas negras se pongan continuamente en contacto con la atmósfera nuevas superficies que absorban el aire.

La agitación de las aguas negras en presencia de aire tiende a aglomerar ó flocular los sólidos suspendidos más ligeros, formándose masas más pesadas que se asientan más rápidamente en los tanques de sedimentación. También contribuye a la separación de la grasa ó el aceite y sus sólidos, llevándolos a la superficie. Por la adición de aire, se restauran también las condiciones aeróbicas en las aguas negras sépticas, favoreciendo el tratamiento subsecuente.

5.3 Tratamiento Secundario (Biológico)

Su propósito es proveer los requerimientos de oxígeno y nutrientes así como las condiciones ambientales adecuadas para que los microorganismo existentes en el tanque de aereación degraden la materia orgánica; o sea, eliminar los sólidos orgánicos en suspensión o solución del agua residual o transformarlo en sólidos orgánicos e inorgánicos estables; para ello se cuenta con varias opciones de tratamientos y son : filtros goteadores, lodos activados, lagunas estabilizadoras, etc. que se describen a continuación. Estos filtros deben de eliminar bajo condiciones normales de operación de 60 a 85% de sedimentación y en los lodos activados de un 80 al 95%. El efluente del tratamiento secundario tiene alta demanda bioquímica de oxígeno y puede contener varios miligramos por litro de oxígeno disuelto.

Filtros goteadores ó rociadores

En este caso no está correctamente empleada la palabra "filtro", porque no se efectúa ninguna acción coladora ni filtrante. En realidad, un filtro goteador es un dispositivo que pone en contacto a las aguas negras sedimentadas con cultivos biológicos. El nombre correcto debería ser "lechos de oxidación biológica", pero el tiempo y el uso han popularizado el término de filtros goteadores y es el que generalmente se emplea para describir este tipo de unidad.

Los filtros goteadores son unidades resistentes que no se dañan fácilmente por cargas violentas, distinguiéndose por la estabilidad de su funcionamiento y por ser capaces de resistir malos tratos. Como en todas las unidades de tipo biológico, la temperatura les afecta; por eso, el clima frío abate la actividad biológica del filtro. Estos filtros ocupan grandes superficies y su construcción es muy costosa.

Por economía, los filtros deben ser precedidos por tanques de sedimentación primaria equipados con colectores de natas.

La construcción del un filtro goteador típico consiste en tres partes:

- a) La selección del medio filtrante depende generalmente del material de que se disponga en la localidad, o del costo de acarreo del material. Se han usado para este propósito las piedras del suelo, la grava, la piedra triturada, las escorias de los altos hornos y la antracita. También se han usado los bloques de madera de pino, así como material inerte moldeado en formas adecuadas.
- b) Sistema recolector: los colectores satisfacen dos propósitos:
 - Retirar las aguas negras que han pasado a través del filtro para aplicarles el tratamiento subsecuente y se disponga de ellas
 - Proporcionar ventilación al filtro para mantenerlo en condiciones aeróbicas. La dirección de la circulación del aire a través del filtro, depende de la diferencia de temperaturas entre el filtro y las aguas negras que se utilicen.
- c) Distribuidores: las aguas negras se distribuyen en la superficie del lecho mediante aspersores fijos o distribuidores giratorios. Los aspersores fijos se usaron cuando empezaron a ensayarse los filtros goteadores. Los aspersores se fijan en tubos que descansan sobre el medio filtrante y son alimentados mediante un tanque dosificador controlado por sifón.

Tanques para la sedimentación secundaria

Como los filtros goteadores solamente alteran las características de los sólidos de las aguas negras, pero no los elimina, el efluente contiene sólidos suspendidos que deben ser eliminados antes de que se disponga de tal efluente por descarga en aguas receptoras. Para este propósito se usan tanques de sedimentación secundaria o de asentamiento final.

Lodos activados

El término genérico de lodos agrupa a toda la materia sólida y semisólida que se extrae de la corriente de agua residual. El desarrollo del proceso de los lodos activados ha hecho progresar el tratamiento secundario de las aguas negras; éste se basa en procesos bioquímicos por contacto, en el que los microorganismos vivos aeróbicos y los sólidos orgánicos de las aguas negras, se mezclan íntimamente en un ambiente favorable para la descomposición aeróbica de los sólidos. Como el medio ambiente está formado por las mismas aguas negras, la eficacia del proceso depende de que se mantenga continuamente oxígeno disuelto en las aguas negras durante todo el tratamiento. Por su alta eficiencia de remoción alcanza de un 90 a 98% de demanda bioquímica de O_2 .

Los lodos activados están formados por flóculos parduscos, principalmente de materia orgánica procedente de las aguas negras pobladas por grandes cantidades de bacterias tanto aeróbicas como anaeróbicas y de otras formas de vida biológica. Estos lodos activados con sus organismos vivos, tienen la propiedad de absorber la materia orgánica coloidal y disuelta, incluyendo el amoníaco de las aguas negras con lo que disminuye la cantidad de sólidos suspendidos. Los organismos biológicos utilizan como alimento al material absorbido convirtiéndolo en sólidos insolubles no putrescibles.

Casi toda esta transformación es un proceso que se verifica gradualmente. Algunas bacterias atacan las sustancias complejas originales, produciendo como desecho compuestos más simples. Otras bacterias usan estos desechos, produciendo compuestos aún más simples, continuando así el proceso hasta que los productos finales de desecho no puedan ya ser usados como alimento por las bacterias.

Por lo tanto, el proceso de lodos activados consta de las siguientes etapas:

- 1) Mezclado de los lodos activados con las aguas negras que se van a tratar.
- 2) Aeración y agitación de este licor mezclando durante el tiempo que sea necesario.
- 3) Separación de los lodos activados, del licor mezclado.
- 4) Recirculación de la cantidad adecuada de los lodos activados, para mezclarlos con las aguas negras.

5) Disposición del exceso de lodos activados.

Tratamiento y disposiciones de los lodos

Los lodos de las aguas negras son una mezcla de aguas negras y sólidos sedimentados.

Los diversos procesos de tratamiento tienen dos objetivos:

- Disminuir el volumen del material que va a ser manejado, por la eliminación de parte o de toda la porción líquida
- Descomponer la materia orgánica a compuestos orgánicos e inorgánicos relativamente estables o inertes, de los cuales puede separarse el agua con mayor facilidad. A esto se llama digestión, con la cual además se disminuye el total de sólidos.

Composición de lodos

La cantidad y composición de lodos varían según las características de las aguas negras de donde hayan sido retirados y depende, sobre todo, del proceso de tratamiento por medio del cual hayan sido obtenidos.

Los lodos obtenidos de un tanque de sedimentación simple, son esencialmente los sólidos sedimentables del agua negra cruda y consecuentemente se les llama lodos crudos. Estos lodos crudos prácticamente no han sufrido descomposición y son por lo tanto, sumamente inestables y putrefactos. Estos lodos son usualmente de color gris, de apariencia desagradable, contienen fragmentos de desperdicios, sólidos fecales y otros desechos con un olor nauseabundo.

Tratamiento de los lodos

Cualquier tratamiento de lodos pretende uno, ó los dos objetivos siguientes: disminuir por eliminación de agua el volumen, para subsecuentes tratamientos y disposición ó transformación de los sólidos orgánicos putrescibles en sólidos orgánicos ó inorgánicos mas estables ó inertes.

Métodos de tratamiento de los lodos

a) Espesamiento

Este proceso consiste en concentrar los lodos diluidos para hacerlos más densos, en tanques especiales diseñados para este propósito. Su uso se limita principalmente al exceso de lodos acuosos del proceso de lodos activados, y a las plantas grandes de este tipo en las que los lodos se mandan directamente a los digestores en vez de ir a los tanques primarios. Hay dos tipos de espesamiento por gravedad o por flotación.

b) Digestión

El propósito de la digestión es lograr los dos objetivos del tratamiento de los lodos, o sea: una disminución en el volumen y la descomposición de la materia orgánica muy putrescible hasta formar compuestos orgánicos e inorgánicos inertes o relativamente estables.

c) Lechos secadores de arena

Para que se pueda usar un digestor, debe contener demasiada agua para que se pueda, la mayor parte de las veces, disponer satisfactoria y económicamente de ellos. El lecho secador, de arena, es un dispositivo que elimina una cantidad de agua suficiente para que el resto pueda manejarse como material sólido, con un contenido de humedad inferior al 70 por ciento.

La construcción de los lechos secadores de arena, consiste en una capa de grava de tamaño regular, de 30 cm de profundidad (12 pulgadas), bajo una capa de arena limpia, de 15 a 22.5 cm de profundidad (de seis a nueve pulgadas). Bajo la capa de grava debe haber colectores de tejas de junta abierta, con no menos de 15 cm de grava sobre ellos (seis pulgadas) y espaciados de seis en seis metros como máximo (20 pies).

d) Acondicionamiento químico

El acondicionamiento de los lodos por medios químicos, los prepara para un mejor y más económico tratamiento ulterior con filtros al vacío o centrífugas. Se han empleado productos químicos muy variados, como el ácido sulfúrico, el alumbre, la caparrosa verde clorada, el sulfato ferroso, el cloruro férrico con ó sin cal y otros más. El factor determinante es usualmente el costo local de los diversos productos químicos. Recientemente ha bajado el precio del

cloruro férrico hasta tal punto, que es uno de los productos que mas se emplean.

e) **Elutriación**

La palabra "Elutriación" significa purificar por lavado. En el tratamiento de lodos significa extraer de los lodos por medio de agua ó efluentes de plantas de tratamiento, los compuestos amoniacales que se encuentren en cantidades excesivas para disminuir la demanda de coagulante.

La elutriación presenta las siguientes ventajas:

- una disminución del 65 al 80 por ciento en la cantidad de productos químicos necesarios para el acondicionamiento.
- un menor contenido de cenizas en la torta del filtro.
- se requiere poca o ninguna cal como producto acondicionador.

f) **Filtración al vacío**

El filtro al vacío que se emplea para eliminar el agua de los lodos, consta de un tambor sobre el cual descansa el medio filtrante formado por una tela de algodón, lana, nylon, dnyel, fibra de vidrio ó de plástico; ó una malla de acero inoxidable, ó también una doble capa de limaduras de acero inoxidable.

g) **Secado por calentamiento**

Cuando los lodos van a servir para la fabricación de fertilizantes, el contenido de humedad debe disminuir hasta cerca del 10 por ciento, cifra muy inferior a la que normalmente se logra en los lechos filtrantes ó por medio de la filtración al vacío.

h) **Incineración**

La incineración de los lodos se considera muy comúnmente como un método para la disposición de éstos. Sin embargo, en este trabajo se incluye en el tratamiento de lodos, porque el producto final del proceso consiste en cenizas que hay que eliminar.

Hay dos tipos principales de incineradores para lodos: los instantáneos y los de hogar múltiple.

i) Oxidación húmeda

Los lodos de las aguas negras, desmenuzados al ser forzados a pasar por aberturas de 6.4 mm. (un cuarto de pulgada), se precalientan en un tanque mezclador hasta unos 82°C (180° F) y después se alimentan por medio de una bomba rotativa a una bomba de alta presión capaz de descargarlos a una tubería en la que se introduce aire a 84-126 kg por cm² (1,200 - 1,800 PSI).

Alternativas de disposición de lodos

Entre los sistemas empleados para su disposición y aprovechamiento es posible realizar una agrupación de técnicas, las cuales son:

1) Valor energético

La mayor parte de los lodos generados en un sistema de tratamiento de agua residual doméstica contienen altas concentraciones de materia orgánica, por lo que tienen un valor energético alto, siendo típicamente de 5,500 cal/g (10,000 BTU/lb) de sólidos volátiles secos, lo cual es comparable al valor energético del carbón (7,700 cal/g).

El principal problema que se presenta para el uso de los lodos como energético es el hecho de que, del contenido total de sólidos, sólo una parte es volátil, además del alto grado de humedad que poseen. En términos generales el valor energético del lodo se reduce a la décima parte del valor antes mencionado debido a los dos factores comentados, quedando 550 cal/g de lodo (1,000 BTU/lb), requiriéndose además de un energético adicional para su combustión.

2) Capacidad como mejorador de suelos y fertilizantes

La mayor parte de los fertilizantes comunes requieren de la presencia de nitrógeno, fósforo y potasio para ser considerados como tales, siendo una fórmula común aquella que contiene 8% de nitrógeno, 8% de fósforo y 8% de potasio.

Los lodos generados en una planta de tratamiento rara vez contienen estos elementos y compuestos en las cantidades antes anotadas debido a que: la mayor parte del nitrógeno se pierde como amoníaco en el sobrenadante del digestor; una gran porción del fósforo se resolubiliza en el digestor mismo; y, por características propias, el contenido de potasio en los lodos es bajo, pero este lodo contiene muchos elementos o cuando menos trazas de nutrientes menores que se consideran indispensables para el crecimiento de las plantas como el boro, el calcio, el cobre, el hierro, el magnesio, el manganeso, el azufre y el zinc.

Estanque de estabilización (lagunas de oxidación)

Durante los últimos años se ha desarrollado un sistema de tratamiento de aguas negras que se basa en el uso de estanques especialmente preparados para ello, a los cuales se les llama estanques de estabilización. Se basan en una estructura sencilla para embalsamar el agua de poca profundidad (1-4 m) donde se da una autodepuración o estabilización natural en el que ocurren fenómenos de tipo físico, químico y biológico. Se utiliza este proceso en donde hay altos contenidos de materia orgánica biodegradable, el parámetro de mayor control es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Existen diferentes tipos de lagunas de estabilización de aguas de oxidación, maduración, facultativas, aeróbicas y anaeróbicas.

El proceso de la descomposición de la materia orgánica que hay en las aguas negras se verifica en dos etapas. La materia carbonosa de las aguas negras es primero desintegrada por los organismos aeróbicos, con formación de bióxido de carbono, el cual es utilizado por las algas en su fotosíntesis. La fotosíntesis es un proceso natural que se lleva a cabo en los tejidos de los vegetales, bajo la influencia de la luz y la presencia de clorofila, que es la substancia a que deben el color verde los vegetales vivos. En este proceso el oxígeno del bióxido de carbono es liberado y se disuelve en el líquido en el que crecen las algas. Como resultado de esto, la materia orgánica de las aguas negras es convertida en algas y las aguas reciben oxígeno para mantener la ulterior descomposición aerobia. Los sólidos de las aguas negras entran al estanque en un estado altamente putrescible y salen en forma de células de algas muy estables, las cuales dentro de ciertos límites, pueden descargarse a las aguas receptoras sin causar efectos.

El funcionamiento de las lagunas descansa en dos formas primitivas de vida; algas y bacterias. La fuente de energía es el sol, esta energía unida a la actividad fotosintética de las algas, las capacita para utilizar los desechos orgánicos parcialmente fermentados, principalmente bióxido de carbono, para producir más células de algas y liberar oxígeno que estimula las actividades de bacterias aeróbicas.

Su principal aplicación es el tratamiento completo de aguas negras y ciertos desechos industriales. Tiene las siguientes ventajas:

- Costos mínimos de operación y mantenimiento
- Tratamiento eficaz
- Bajas inversiones de capital

Cuando se diseña para recibir desechos pretratados o se usan como tratamiento secundario, después del tratamiento primario convencional se les denomina lagunas de oxidación.

Deben de tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Evitarse el contacto humano con el contenido de las aguas.
- Prohibirse cualquier uso de las lagunas con fines recreativos.
- El ganado no debe tener acceso a ellas.
- Evitar el desarrollo de mosquitos mediante el control adecuado de crecimiento de plantas, tanto en las orillas como dentro de la laguna.
- Evitarse la proximidad de las lagunas a los abastecimientos de agua y a otras fuentes o instalaciones susceptibles de contaminación.
- De ser posible deberá impedirse su localización en zonas de suelo poroso y formaciones de roca fisurada.

Las lagunas de oxidación pueden usarse como un tratamiento completo cuando reciben aguas negras crudas, o como un tratamiento secundario para aguas negras sedimentadas, o también como tratamiento adicional para efluentes de

procesos secundarios. A la fecha se han usado más como tratamiento secundario de efluentes primarios.

5.4 Tratamiento terciario (Fisicoquímico)

En el tratamiento terciario se utilizan procesos de refinamiento y pulimento de agua residual para obtener una agua con un alto grado de calidad. Se usa cuando se exige de las aguas vertidas una pureza extrema.

Consiste en una cloración cuidadosamente dosificada para no comunicar a las aguas una dosis perjudicial de cloro residual. Se utilizan procesos de refinamiento y pulimento a agua para obtener una agua con alto grado de calidad.

El propósito del tratamiento terciario es la desinfección que reduce las concentraciones de patógenos eliminando la mayor cantidad posible de bacterias que no formaron flóculos durante el proceso de lodos activados y que pueden ser dañinas para el hombre. Esto se logra adicionando una solución de cloro al efluente del sedimentador secundario.

Cloración de las aguas negras

La cloración de las aguas negras consiste en la aplicación de cloro para lograr un propósito determinado. El cloro puede introducirse en forma de gas, de solución acuosa, ó en la forma de hipoclorito, ya sea de sodio ó de calcio, que contiene entre 12 y 15 % de cloro disponible.

1) Desinfección

Ninguno de los métodos primario o secundario de tratamiento de aguas negras puede eliminar completamente de ellas a las bacterias patógenas que siempre están presentes potencialmente. Cuando las aguas negras o los efluentes de sus tratamientos se descargan en masas de agua que van a usarse o que pueden ser usadas como fuente de abastecimiento público, o para propósitos recreativos, se requiere un tratamiento para destruir los organismos patógenos, a fin de que sean mínimos los peligros para la salud debidos a la contaminación de tales aguas receptoras. Tal tratamiento se conoce como desinfección.

La cloración para desinfección requiere que esencialmente sean destruidos todos los organismos patógenos en el efluente de una planta de aguas negras.

Para lograr una desinfección, debe agregarse el cloro necesario para satisfacer la demanda de cloro y dejar un cloro residual que destruya las bacterias.

La desinfección debe ser un proceso continuo, pues sería peligroso descargar efluentes sin tratar, aún durante un corto período de tiempo. La cantidad de cloro que se requiere para producir un cloro residual de 0.5 ppm varía de 12 a 24 kg por cada mil metros cúbicos en la mayoría de los efluentes primarios.

2) Prevención de la descomposición de las aguas negras

a) Control de olores: la descomposición de las aguas negras se inicia en las alcantarillas y llega a ser molesto solo después de verificada la descomposición anaeróbica.

b) Protección de las estructuras de la planta: la descomposición de las aguas negras puede llegar hasta la producción de ácido sulfhídrico, pero por los sitios en que se localiza, así como por su baja concentración, los olores no constituyen un problema.

c) Espesamiento de los lodos: el exceso de lodos activados o los lodos propios de las aguas negras que entran a la planta, pueden ser concentrados en tanques de retención o en espesadores, antes de bombearse al digestor.

Riesgos en el manejo del cloro

Como ya se ha señalado en el capítulo referente a seguridad, el cloro gaseoso es extremadamente tóxico y corrosivo en ambientes húmedos. El cloro gaseoso seco, se maneja con seguridad en recipientes y tubería de acero, pero cuando tiene humedad debe manejarse con materiales resistentes a la corrosión, como la plata, el vidrio, el hule y ciertos plásticos. El gas es muy irritante para las membranas mucosas y un pequeño porcentaje en el aire produce fuertes accesos de tos. Una prolongada exposición puede ser fatal. Por consiguiente, es muy importante disponer uno o más tipos de máscaras contra gases, éstas deben colocarse en sitios adecuados, de manera que estén siempre listas para su uso inmediato en lugares fuera de la sala de cloración.

Lo más común y económico es emplear cloro en la desinfección, aunque cabe señalar que el cloro además puede tener otras funciones en una planta de tratamiento, como son:

- **Control de olores**
- **Control de ácido sulfhídrico**
- **Reducción de la carga orgánica por oxidación**
- **Mejoramiento de procesos**
- **Ayuda en la precipitación química**
- **Mejoramiento de la sedimentación por control de septicidad**
- **Control del abultamiento de lodo**
- **Reducción de abastecimiento de difusores de aire**

VI EFECTOS DE RIEGO CON AGUAS NEGRAS EN SUELO Y PLANTAS

La aplicación de las aguas negras en la agricultura puede ser relativamente benéfica en los rendimientos de los cultivos, pero su abuso en el transcurso del tiempo resulta perjudicial en el equilibrio de un ecosistema: suelo-planta-atmósfera-hombre.

Existe un amplio potencial de aguas residuales que pueden ser aprovechables en la agricultura. Sin embargo para darles el uso apropiado y evitar alteraciones en el medio ambiente y en la salud humana, se deben efectuar estudios de reutilización del agua en la agricultura, la industria, los municipios y en la recarga de acuíferos, tendientes a investigar, experimentar, definir criterios y proponer normas, métodos, sistemas y procedimientos que técnica y económicamente sean más convenientes para garantizar su aprovechamiento; con esto, se pretende lograr disponer adecuadamente las aguas residuales, disminuir la contaminación de los cauces superficiales, incrementar la productividad unitaria en las zonas de riego, aumentar el número de cosechas anuales y disminuir la incidencia de enfermedades.

La práctica de utilizar para riego aguas residuales provenientes de efluentes municipales, es ampliamente conocida y estimada por sus elevados contenidos de macro y micronutrientes; así como por sus concentraciones de materia orgánica que mejora la textura del suelo cultivable. Sin embargo, no es posible generalizar sobre las cualidades benéficas de este aprovechamiento; ya que también se han detectado serios problemas de afectación agrícola derivados en general, del desconocimiento de las características del agua, cultivos y suelos, así como de las técnicas de utilización de tales recursos.

6.1 Efecto de elementos macroesenciales

Muchos de los metales son importantes en la nutrición de las plantas y animales en donde juegan un papel fundamental como micronutrientes, en el metabolismo de los tejidos y en el crecimiento vegetal. Sin embargo, en altas concentraciones, por el contrario son tóxicos. El problema radica en su acumulación progresiva en el ambiente y sus efectos a largo plazo.

1) Nitrógeno

Es importante para la síntesis de proteínas y su presencia debe tomarse en cuenta para el tratamiento de los desechos domésticos e industriales. Cuando se aplica una agua residual a un suelo, el N orgánico se convierte enseguida en NH_4^+ y en NO_3^- ; esto representa un peligro potencial para las aguas subterráneas, las cosechas extraen parte de él, pero el exceso puede emigrar por arrastres. Los vegetales pueden asimilar los nitratos pero no los nitritos, cuando se realizan vertidos intensivos de aguas negras con grandes cantidades de materia orgánica y se acumula el nitrógeno en el suelo, lo que puede dar lugar a la formación de nitrosaminas, que son energéticos carcinógenos. El nitrógeno presente en las aguas negras se encuentra en la materia orgánica proteínada y en la urea, las bacterias las descomponen fácilmente formando amoníaco. los factores que influyen para la pérdida de nitrógeno por volatilización son: pH de los suelos y evaporización del agua.

La remoción del nitrógeno por los cultivos depende de la disponibilidad del nitrógeno, del tipo de cultivo y la duración de su período de crecimiento; desde este punto de vista, los cultivos pueden dividirse en 3 grupos:

- Forrajes: que remueven 85 a 170 kg/ha/año.
- Para consumo humano: que remueve 85 a 170 kg/ha/año.
- Bioma de bosque: que remueve de 23 a 112 kg/ha/año.
- El nitrógeno es parte integral de la molécula de clorofila, un adecuado suministro está asociado con un vigoroso crecimiento vegetativo y un intenso color verde.
- Otro mecanismo de remoción es la desnitrificación.

2) Fósforo

El fósforo es esencial para todas las formas de vida y se le encuentra en todas las aguas y suelos formando compuestos orgánicos pseudosolubles. En las aguas el fósforo puede dar lugar a la formación de material biológico, que causa efectos adversos en la calidad de éstas; en cambio en los suelos, su efecto es benéfico puesto que promueve el incremento en los materiales biológicos que le confieren a éste mejores propiedades. Sin embargo, si este es fijado por el suelo, no puede ser aprovechado por las plantas. Generalmente la concentración

de fósforo en las aguas negras es mayor que la que se encuentra en los suelos (1-40 mg/l en aguas residuales y 0.03 - 3 mg/l en suelos), esta diferencia en concentraciones hace posible la remoción de este elemento cuando las aguas negras que lo contienen entran al suelo; esta remoción se hace por reacciones de absorción y precipitación esto es, el fósforo que se incorpora al suelo se elimina mediante la absorción por los cultivos ó se precipita y fija en el suelo. Los principales compuestos del suelo que intervienen en la absorción y precipitación de los fosfatos son el fósforo y el calcio en las formas iónicas solubles y de carbonatos.

Las reacciones de precipitación del fósforo en el suelo ocurre con los iones de hierro, aluminio y calcio formándose los fosfatos correspondientes dependiendo del pH del suelo: esto es, en suelos con pH entre 4.5 a 6 se precipitarán los fosfatos de hierro y aluminio y de calcio, si el pH del suelo es neutro o alcalino, la capacidad para retener el fósforo dependerá de factores como la temperatura, el tiempo y los constituyentes de las aguas. Generalmente se considera que las plantas absorben la mayor parte del fósforo en forma de ortofosfato H_2PO_4 y en pequeñas cantidades como HPO_4 . Los valores bajos incrementan la absorción del ion H_2PO_4 y los valores favorecen la absorción en forma de HPO_4 . El fósforo es un constituyente de los ácidos nucleares, de la fitina y de los fosfolípidos por lo que su adecuado suministro en las primeras etapas de la vida de las plantas favorecen, la pronta madurez de los cultivos.

El fósforo es esencial para la fotosíntesis, la interconversión de carbohidratos, glicólisis, metabolismo del azufre, oxidación biológica y muchos otros procesos de los seres vivos.

3) Potasio

El potasio contenido en los suelos se origina en la desintegración y descomposición de las rocas que contienen minerales potásicos que son los feldespatos potásicos. Este ion se absorbe como K^+ . En las aguas residuales el potasio se encuentra como sales solubles (asimilables) como cloruros, sulfatos, y nitratos, el potasio es imprescindible como catalizador para las siguientes funciones; metabolismo de carbohidratos, o formación y transformación del almidón; metabolismo del nitrógeno y síntesis de proteínas, control y regulación de las actividades de varios elementos minerales esenciales, neutralización de los ácidos orgánicos, activación de varias enzimas, promoción del crecimiento de los tejidos meristemáticos, ajuste de la apertura de los estomas y relaciones con el agua. La deficiencia del potasio reduce grandemente el rendimiento de los cultivos sin que aparezcan síntomas de deficiencia, también se asocia con una

disminución de la resistencia de las plantas a las enfermedades y con su calidad.

Con una insuficiencia de potasio la fotosíntesis decrece, pero al mismo tiempo puede incrementarse la respiración; esto reduce seriamente la formación de carbohidratos y por consiguiente el crecimiento de la planta.

6.2 Efecto de los metales pesados

Muchos de los metales son importantes en la nutrición de plantas y animales en donde juegan un papel fundamental como micronutrientes en el metabolismo de los tejidos y en el crecimiento el problema radica en su acumulación progresiva en el ambiente y sus efectos a largo plazo.

Son todos aquellos elementos que se presentan en bajas concentraciones, que tiene una densidad superior a los 5 gr/cm^3 (cinco veces la densidad del agua). Los metales pesados figuran en forma importante en varios tipos de reacciones de transferencia de electrones.

Se consideran metales pesados los siguientes elementos; plomo, cadmio, cromo, cobre, zinc, níquel, cobalto, mercurio, selenio y arsénico. La cantidad de metales pesados en las aguas residuales dependerá de varios factores, pero principalmente de si el residuo es de origen doméstico o industrial; los primeros suelen tener concentraciones bajas si es que los contienen y los segundos elevadas concentraciones, dependiendo del tipo de industria de que se trate y en muchos casos los niveles alcanzados llegan a ser tóxicos para las plantas.

Cuando los metales son incorporados al suelo éstos pueden ser tomados por los cultivos, lixiviados hasta llegar a los mantos acuíferos o bien fijarse fuertemente a la matriz del suelo. El camino que sigan dependerá del tipo de metal, su estado químico, del pH, del contenido de materia orgánica del suelo, y de su asociación con otros compuestos. El pH del suelo juega un papel muy importante con el comportamiento de los metales pesados; a medida que el pH decrece, se incrementa la solubilidad de los metales y cuando el pH aumenta se reduce la solubilidad y se incrementa la absorción de los metales en el suelo. De acuerdo a sus propiedades químicas, su movilidad en los suelos es regida por el equilibrio entre el agua, los carbonatos, silicatos y fosfatos.

En realidad, el peligro mayor que pueden presentar los metales pesados contenidos en las aguas residuales usadas para riego, es que pueden acumularse en los cultivos y entrar a la cadena de alimentación de tal forma que rebasan los

límites máximos tolerables para preservar la salud de los consumidores.

Entre las prácticas para mejorar las propiedades del suelo o amortiguar los efectos negativos provocados por metales tóxicos destaca lo siguiente:

- El empleo de mejoradores químicos en el agua o en el suelo (yeso, azufre, H_2SO_4 , calcita)
- Mejorar la uniformidad de la pendiente o nivel del terreno para mejorar la capacidad de infiltración del mismo.
- Establecer un drenaje artificial si la capa freática constituye un problema.
- Arar la tierra en profundidad
- Incrementar la carga orgánica (eliminar algunos elementos tóxicos, como resultado de la degradación y mineralización).

Los criterios recomendados para el manejo de suelo, al usar aguas negras son:

- Se debe evitar que el pH del suelo caiga por debajo de 7.5 ya que esto pondría a disposición los metales pesados para los cultivos.
- Las zonas donde se recomienda usar aguas negras deben ser áridas o semiáridas y cálidas o semicálidas.
- No regar con aguas crudas donde el manto freático sea menor de dos metros

Entre los metales pesados de mayor importancia están:

a) Plomo

Es tóxico para las plantas y animales incluyendo al hombre. Está considerado como contaminante ya que no tiene función específica en los sistemas biológicos, tomando en cuenta que dicho elemento tiende a verse acumulado en suelos y plantas a través del aporte por aguas de riego. Se encuentra como constituyente menor del suelo y las plantas, el contenido normal de plomo en el suelo es inferior a 50 ppm y en términos medios es de 15 ppm. Su contaminación es irreversible y por lo tanto acumulativo, limitando la actividad enzimática microbiana. Penetra en las plantas por las raíces cuando se

encuentra en el suelo y en las hojas cuando se encuentra en la atmósfera.

b) Cadmio

En la actualidad es uno de los elementos más tóxicos para las plantas y el suelo. En el suelo las concentraciones de cadmio son inferiores de 1 mg (0,007 - 1.1 ppm). La acumulación de cadmio en suelos agrícolas redonda en un aumento de pH, encontrándose que esto no era efectivo para todos los suelos y plantas, se puede corregir la entrada del metal a la planta por medio de una alcalinización del suelo ya que precipita el metal, pero el suelo se deflocula, desestructurándose y perdiendo su CIC así como su poder buffer.

Las plantas no tiene mecanismo para excretar el cadmio una vez absorbido y lo retienen en sus tejidos; la acumulación es mayor en las raíces que en la parte aérea de la planta y esto tiende a restringir el movimiento del catión a las cadenas alimenticias. El cadmio es persistentemente tóxico aún en concentraciones muy pequeñas ya que se encuentra fuertemente en las cadenas alimenticias. La diferencia en el grado de toxicidad para diversos cultivos es importante; por ejemplo, la espinaca y la soya son más sensibles al cadmio, mientras que el tomate y la col son resistentes, la fitotoxicidad depende de la especie, lo más común que pasa en las plantas es una clorosis, reducción en el contenido de clorofila, marchitez y en ocasiones necrosis porque las altas concentraciones de cadmio inhiben la fotosíntesis y la fijación de CO_2 .

c) Cromo

Su comportamiento es gobernado por el pH del suelo y el potencial redox. Este comportamiento puede ser modificado por complejos orgánicos de cromo y el efecto dominante de la materia orgánica estimula la reducción de Cr^{6+} a Cr^{3+} (cromo soluble a cromo insoluble) el Cr^{3+} es ligeramente móvil en medios muy ácidos y a un pH de 5.5 es casi completamente insoluble, por otra parte el Cr^{6+} es muy inestable y es fácilmente movilizad en suelos ácidos y alcalinos. La absorción de Cr^{3+} aumenta al elevarse el pH.

El cromo es tóxico cuando se encuentra en estado hexavalente al acumularse en los suelos, sin embargo esta forma no es muy común. Los suelos arenosos o histosoles son los más pobres en cromo. La aplicación de caliza, fósforo y materia orgánica se reconocen como medios efectivos en la reducción de cromato tóxico en suelos contaminados.

d) Zinc

Es un metal que tiende a reaccionar con compuestos inorgánicos así como algunos orgánicos vegetales en concentraciones elevadas puede modificar la fauna de la zona afectada, desapareciendo algunas especies y proliferando otras. La vegetación se ve afectada por toxicidad del producto al ser absorbido parte del zinc y por asfixia al obtenerse los estomas y cubrir las hojas con las partículas de los óxidos a una concentración de más de 400 ppm del elemento disminuyendo la respiración, fotosíntesis, transpiración resaltando el envejecimiento prematuro del vegetal y la muerte. La concentración del zinc en suelos dependerá del pH del suelo.

e) Arsénico

La mayor parte del arsénico que existe en el agua y en el medio ambiente proviene de la actividad humana a través del empleo de compuestos arsénico metálicos, arseniacales orgánicos etc. Al formarse el anhídrido arsénico se producen intoxicaciones en los vegetales en los cuales se acumula el elemento.

f) Hierro

El hierro es un microelemento del suelo necesario para las plantas; es el metal más abundante de la corteza terrestre que constituye el 5% de las incrustaciones de la tierra. Las fuentes naturales en el suelo son la hematita, ilemita, magnetita, óxidos de hierro deshidratado, micas y silicatos. El hierro es soluble en todos los suelos aereados, las deficiencias de este elemento se presentan en suelos alcalinos. Las concentraciones promedio de hierro varían entre 7 mg/g a 550 mg/g. En el agua fresca su rango es de 0.01 a 1.0 mg/l, en el agua de ríos es de 0.67 mg/l.

El hierro se presenta en los suelos en estado oxidado en forma de compuestos insolubles; cuando los suelos son inundados por las aguas, la descomposición de la materia orgánica tiende a eliminar el oxígeno disuelto del agua que está en contacto con el suelo y los compuestos de hierro son reducidos dando origen a compuestos solubles. Se recomienda una máxima concentración de 5 ppm en aguas para uso continuos en el riego de todos los suelos y una concentración máxima de 20 ppm en suelos de neutros a alcalinos para un periodo de 20 años. Altas concentraciones de óxidos de hierro o hidróxidos incrementan la fijación de

fósforo y molibdeno. Su presencia en estado disponible aumenta la acidez del suelo. El hierro es esencial para transportar O_2 y la energía requerida en las células.

g) Cobalto y Níquel

El cobalto y el níquel son elementos cuyo comportamiento en la naturaleza es semejante; el primero se encuentra en menor proporción en la tierra, el níquel se encuentra en la litosfera y en el suelo en concentraciones del orden de 100 mg/kg. y de 10 - 1000 mg/kg.

El cobalto se encuentra en la litosfera y en el suelo en concentraciones de 40 mg/kg. y de 1 - 50 mg/kg La contaminación por cobalto proviene de la industria del galvanizado, fundidoras de metales y aleaciones de todo tipo de metales.

En general, podemos concluir que los suelos no contienen cantidades apreciables de metales pesados; en promedio se encuentran en los siguientes niveles de concentración en mg/g de suelo Cu 20; Zn 50; Cd 0.06; Pb 10; Ni 40; Co 8. Al aplicar aguas residuales con altos contenidos de estos metales al suelo, su concentración se incrementará tanto que, de acuerdo con los principios generales del comportamiento biológico, pueden resultar tóxicos, tanto a los microorganismos del suelo como a los cultivos.

En realidad el peligro mayor que pueden presentar los metales pesados contenidos en las aguas residuales usadas para riego es que puedan acumularse en los cultivos y entrar a la cadena alimenticia de tal forma, que rebasen los límites máximos tolerables estipulados para preservar la salud de los consumidores.

6.3 Efecto de las sales en el suelo y plantas

El efecto nocivo de las sales (sodio, calcio, magnesio, carbonato, cloruros, boro etc.) se debe a que produce un incremento en la presión osmótica del suelo, por lo que se reduce la cantidad de agua que pueden absorber las raíces; compiten por los sitios de intercambio desplazando a otros compuestos esenciales para el desarrollo de los cultivos, lo que ocasiona disminuciones en la producción de los cultivos o pérdida total de la cosecha.

La magnitud con que el suelo puede retener o asimilar las sales está íntimamente relacionado con su capacidad de intercambio catiónico (CIC) lo cual

proporciona una medida de la reacción química del suelo y depende del contenido de arcilla, materia orgánica y óxidos de hierro y aluminio del suelo. Los principales cationes que intervienen en este proceso son calcio, magnesio, sodio, potasio, aluminio, hidronio, amonio, hierro y zinc. De todas las reacciones de intercambio catiónico que se presentan en el suelo, la más importante es la del intercambio de sodio por el calcio. Esta acumulación de sales produce un desequilibrio electrónico en las micelas del suelo, en las que sus cargas negativas hacen que las partículas se repelen y en consecuencia el suelo se desflocula y pierde su estructura lo que se traduce en una disminución de la permeabilidad del suelo al aire y al agua favoreciendo la formación de costras afectando el desarrollo normal de los cultivos.

En cuanto a la tolerancia de los cultivos a las sales, aunque éstas les afectan fisiológicamente, rara vez presentan síntomas evidentes de los daños, excepto bajo extrema salinización. Las sales más nocivas para el suelo y las plantas son las que tienen elevada solubilidad, ya que dan lugar a soluciones salinas muy concentradas, en cambio las poco solubles precipitan antes de alcanzar los niveles perjudiciales.

Las plantas afectadas por sales, generalmente aparecen normales aunque su crecimiento está detenido y puede tener hojas más oscuras, las que en muchos casos son más gruesas y jugosas como en las plantas herbáceas; sin embargo, las leñosas son una excepción, en ellas la salinidad les causa quemaduras en las hojas, necrosis y defoliación. La magnitud de esta afección varía entre las especies y etapas de crecimiento; por ejemplo, el arroz es tolerante a las sales durante su germinación, luego se torna sensible durante la primera etapa de su crecimiento, posteriormente, a medida que continúa creciendo, adquiere más resistencia a la salinidad hasta que llega a la etapa de maduración.

Para conocer la calidad del agua para riego ó bien el contenido de sales o sólidos disueltos que tiene el agua, se utiliza la clasificación de Wilcon (1948) en el cual por medio de la conductividad eléctrica (CE) y la relación de absorción de sodio se obtiene la clase de agua para riego.

6.4 Efecto de los detergentes en suelos y plantas

Se define como detergente a cualquier producto capaz de incrementar la capacidad de un medio líquido para eliminar lo sucio; un detergente está constituido por moléculas que presentan una cadena polar alifática que es hidrofílica; ó sea que absorbe el agua con gran facilidad y otra parte aromática

que es hidrofóbica, a esta naturaleza de tipo dual que presenta la molécula se debe a las propiedades de los detergentes sintéticos es decir la de ser agentes de superficie activa, que ayudan en la penetración, emulsificación, dispersión, solubilización y formación de espuma.

En México el efecto de los detergentes en los suelos ha sido poco estudiado, sin embargo, con la escasez de aguas blancas ha impulsado el uso de aguas negras con fines agrícolas, originando problemas de contaminación por detergentes.

El suelo retiene significativamente los detergentes por lo que los efectos de éstos en las plantas depende del tipo de planta que se trate, en plantas de girasol a 10 ppm se ven afectadas observando una marcada clorosis y un retardo en el crecimiento; sin embargo, al experimentar con plantas de cebada a la misma concentración, ésta no se ve afectada y si se incrementa la dosis de detergente a 20 ppm, el crecimiento se ve favorecido.

Un efecto bien marcado en el suelo, al haber acumulado cierta cantidad de detergentes es la disminución de la tensión superficial así como de la nitrificación.

Inicialmente la industria química elaboraba el jabón a partir de grasas de origen vegetal o animal que son de fácil absorción o degradación para la flora y fauna presentes en el agua. Sin embargo, dichas grasas fueron cada día más solicitadas para la alimentación humana y otros usos, lo cual creó la necesidad de lograr un jabón con productos químicos que pudiesen suplir al natural y fue entonces cuando se inventaron los detergentes.

La industria química de los detergentes se creó en 1950; demostraban que sus propiedades limpiadoras eran mucho más efectivas que los jabones ya que podían utilizarse tanto en aguas duras como blandas.

A medida que se fue poniendo de manifiesto que los detergentes persistían en el ambiente, se realizaban pruebas en las aguas de desecho, las pruebas no consistían en estudiar las aguas tóxicas, sino en probar las espumas que son el problema principal en el manejo de las aguas negras. El origen de la espuma se debe a los surfactantes de los detergentes; se había supuesto que las bacterias ambientales descompondrían rápidamente a los surfactantes como en el caso de los jabones, por lo que se creía que serían biodegradables, pero éstos experimentaban solamente una lenta degradación y la mayor parte de las veces persistían sin degradarse y escapaban a los tratamientos de aguas residuales. Posteriormente el problema se modificó haciéndolos más vulnerables a las

bacterias, en México se sigue usando el mismo detergente por lo que la contaminación por detergentes ha venido aumentando.

Los detergentes sintéticos están básicamente formados por 4 elementos fundamentales.

a) Agentes tensoactivos

Actúan produciendo variaciones en la tensión superficial, disminuyen la fuerza adhesiva de las partículas adheridas a una determinada superficie.

b) Cargas alcalinas

Utilizadas para formar la parte bruta o constructiva del detergente, además actúa como saponificadores y pueden poseer propiedades bactericidas.

c) Fosfatos

Tiene un efecto cinérgico para ayudar a la acción de los demás elementos, actuando como suavizadores del agua y tienen la propiedad de flocular y emulsionar lo sucio. Los más utilizados son el tripolifosfato de sodio y el fosfato trisódico.

d) Productos auxiliares

Tienen como función generar alguna propiedad del detergente así pueden actuar como blanqueadores ópticos, tinturas, fluorescentes agentes solubilizantes, agentes de carga o abrasivos industriales entre otras.

El uso de detergentes es el causante del 50% de los fosfatos presentes en las aguas residuales y cerca de las metrópolis son los que se responsabilizan del 70% de los fosfatos. Debido a el alto contenido de fosfatos presentes en los detergentes sintéticos estos pueden generar una contaminación especial: la eutroficación que consiste en el incremento de materiales nutrientes en un cuerpo natural ó de agua, originado por la entrada de aguas residuales. Estos materiales estimulan el crecimiento explosivo de algas y en general plantas acuáticas.

Después del crecimiento explosivo de estos organismos se presenta un gran aumento de materia orgánica que al oxidarse, consume oxígeno y por lo tanto el agua del fondo presenta un bajo contenido de dicho elemento, lo cual origina la

muerte de gran cantidad de organismos acuáticos que requieren mucho oxígeno para su respiración.

El problema de la eutroficación es mucho mas grave en masas de agua estática que en aquellas que tienen movimiento. Parece claro que la solución real del problema de la contaminación por detergentes es el remplazamiento de los detergentes duros por otros compuestos químicos de superficie activa que puedan ser degradados en el medio ambiente, ya que se ha visto que el costo de estos agentes blandos no es mayor que el de los detergentes duros.

VII LAS AGUAS NEGRAS PARA USO AGRICOLA

Aún con todos los posibles problemas potenciales que incluye la existencia de patógenos, la generación de enfermedades, los posibles efectos negativos en el suelo y las plantas; se han venido utilizando las aguas negras con y sin tratamiento en el riego agrícola.

El uso de afluentes de los desagües en la agricultura no es una practica nueva y diversas instituciones han elaborado reglamentos para el uso de los efluentes, como el emitido en una reunión de expertos organizada por la Organización Mundial de la Salud, en donde se llegó a la conclusión de que el tratamiento primario en las aguas negras es suficiente para el riego de cultivos que no son de consumo humano directo. El tratamiento secundario la desinfección y filtración se consideran necesarios, cuando estas aguas van a ser utilizadas en cultivos para consumo directo.

Las aguas negras de la Ciudad de México se han venido utilizando sin tratamiento previo alguno para fines agrícolas, desde principios de siglo, cuando se construyó el gran canal de desagüe, el cual irriga gran extensión del Valle del Mezquital, que a su vez queda incluido dentro del Distrito de Riego No. 03 Tula, Hidalgo; éste abarca unas 85,000 ha con un caudal de 31 m³ por segundo, las cuales se utilizan principalmente para la siembra de alfalfa, maíz, frijol y hortalizas, con rendimientos sin el empleo de fertilizantes, semejantes ó superiores a los obtenidos en otros distritos de riego donde se sí aplican fertilizantes.

La calidad del agua residual, si es bien empleada puede permitir el ahorro de tratamientos que, en muchos casos, sólo la justifica la rutina. Las aguas residuales ejercen efectos benéficos al suelo, ya que la materia orgánica y los nutrientes, lo acondicionan y favorecen al desarrollo de las plantas, al mejorar su estructura y fertilidad; por lo que respecta a metales pesados en el agua de riego, está dentro de los límites, si se aplica durante muchos años en forma continua puede suceder que estas pequeñas cantidades se acumulen saturando los sitios de intercambio catiónico y quedan disponibles para ser absorbidos por los cultivos, mermado su productividad y representando peligro para el consumidor.

En el Valle de Cuernavaca se usan aguas negras de origen industrial, las cuales son tratadas para el control de la contaminación del agua en el corredor industrial del Valle de Cuernavaca; la cual arroja un gasto de 232 lt/seg y que se

destina al riego de caña de azúcar, maíz y plantas ornamentales.

En Monterrey las aguas negras se han rehusado, debido a la escasez cada día mayor de aguas de calidad, el agua se utiliza sin ningún tratamiento en cultivos agrícolas de trigo, maíz, sorgo, cítricos y hortalizas.

En Mexicali, se ha establecido una área piloto con el fin de difundir ampliamente resultados agronómicos concretos del uso de aguas negras con tratamientos previos en lagunas aeróbicas; los cultivos regados son trigo, maíz, avena, cebada, sorgo forrajero y grano, cártamo y algodón.

Otras regiones donde se usa una menor proporción de aguas negras son Michoacán, Guanajuato, Jalisco, Querétaro, Durango, Puebla y Tlaxcala.

Para normar sobre la calidad y el uso de las aguas residuales se han definido varios criterios como son: color, olor, grasa, aceites, detergentes, fenoles, plaguicidas, compuestos tóxicos, demanda química y bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, coliformes, cultivos y tipo de agua.

Para que el agua tenga un mínimo de riesgo para la salud se recomienda para el uso agrícola:

- a) El contenido de coliformes fecales no sea mayor de 1,000 NMP 100 ml.
- b) Las concentraciones máximas permisibles para parámetros agronómicos son:
 - salinidad: sólidos suspendidos a 2,000 ppm
 - boro de 2.5 ppm
 - conductividad eléctrica de 3,000 umhos/cm
 - cloruros 250 ppm
 - relación de absorción de sodio, RAS a 18 meq/l
- c) concentraciones máximas permisibles de sustancias tóxicas en agua donde se detectan descargas industriales son:

Máximos permisibles (ppm)

Plomo	5.0
Cadmio	0.05
Cromo	5.0
Arsénico	5.0
Aluminio	5.0

Mercurio	0.005
Cianuro	0.10

- d) Mantener las concentraciones posible en las aguas negras de materia orgánica (DBO) y de nutrientes (N; P; K) para que se incrementen o restablezcan condiciones de suelos orgánicos.

Estos puntos se deben considerar en la elección del sistema de tratamiento o manejo sanitario de las aguas negras.

7.1 Ventajas del uso de aguas negras

1. Contribuye en forma importante al abatimiento de los caudales de aguas negras, por lo tanto a la contaminación.
2. Se fomenta el desarrollo agropecuario, ya que el abastecimiento de aguas negras es continuo durante todo el año.
3. Son una fuente de abastecimiento de agua para riego con bajo costo y seguro durante todo el año.
4. Aumenta el valor de los cultivos haciéndolos pasar de temporal a riego.
5. Se aprovechan efectivamente los nutrientes contenidos en las aguas negras como N- P- K al igual que otros micro nutrientes lo que disminuye la demanda de fertilizantes para la obtención de altos rendimientos.
6. Se incorporan cantidades significativas de materia orgánica, lo cual modifica positivamente la estructura del suelo.
7. Esta práctica de aprovechamiento de agua residual proporciona un tratamiento adicional, comparable a un nivel secundario para el agua de infiltración que en muchos casos ayuda a la recarga de mantos subterráneos.
8. Mejora el medio ambiente circundante de los núcleos urbanos por permitir la creación de zonas verdes y agrícolas.
9. En suelos alcalinos como los que se encuentran en las regiones áridas y semiáridas se presentan una capacidad de amortiguamiento de ellos hacia los elementos metálicos tóxicos.

10. Se retarda la capacidad de saturación de los sistemas de drenaje.
11. En muchas zonas y en casos particulares es más económico utilizar aguas negras tratadas que aguas blancas.
12. Es muy amplio el espectro de uso del agua, por lo que su calidad no debe estar siempre a nivel potable.

7.2 Desventajas del uso de aguas negras

1. Los compuestos tóxicos y organismos patógenos contenido en las aguas negras pueden ocasionar contaminación de suelos y cultivos afectando la cadena trófica que incluye al hombre.
2. Algunos compuestos como son los metales pesados pueden estar presentes en las aguas residuales en concentraciones tóxicas para las plantas y el hombre, pues su presencia en el humano es acumulativa.
3. Cuando las aguas negras no se tratan convenientemente pueden causar problemas a la salud pública.
4. Puede existir el peligro de contaminación de acuíferos y mantos subterráneos por filtración de las aguas negras.
5. El contenido de sales de las aguas negras ocasiona problemas en terrenos con mal drenaje disminuyendo la calidad de los suelos y en consecuencia la productividad.
6. Se incrementa la incidencia de plagas y enfermedades, lo que incrementa el consumo de plaguicidas.
7. Las aguas residuales con un alto contenido de sólidos en suspensión puede tapar los sistemas de riego por aspersión o presurizados.
8. Existen riesgos a la salud del ganado que se alimentan de productos agrícolas regados con aguas negras o que beben agua contaminada.
9. Este riego debe ser selectivo, por lo que debe restringirse su uso sólo para algunos cultivos, los cuales deben ser tolerantes a las sales o que los

vegetales que se riegan no se consuman en crudo.

10. El aprovechamiento de las aguas residuales en el riego agrícola en distritos de riego provoca efectos nocivos para la salud pública, molestias por malos olores que son ofensivos e insectos y roedores dañinos a los seres vivos.
11. La superficie agrícola regada con aguas negras se han incrementado sin tener información de sus uso y manejo por lo que se también al respecto requiere mayor investigación.
12. En México las aguas negras de las ciudades llevan concentraciones de hasta 22 mg/lts de diferentes surfactantes, los cuales pueden ocasionar reducción de la fertilidad.
13. En el suelo tendrá efectos negativos, como:
 - Eutraficación
 - Alcalinización
 - Defloculación del complejo de cambio del suelo y en consecuencia desestructuración
 - Pérdida de la CIC y el poder de reacción del suelo

VIII RECOMENDACIONES .

1. Controlar las descargas de contaminantes desde la fuente misma, verificando que las descargas de los efluentes, principalmente de las industrias cumplan con las normas establecidas.
2. Profundizar los estudios químicos y biológicos para la utilización de aguas negras conforme a su origen, su dureza, su disponibilidad, la zonificación de cada uno de los afluentes; así como para cada uno de los agentes y elementos que causen mayor grado de toxicidad a los seres vivos y/o deterioro y contaminación del medio ambiente.
3. Continuar con estudios específicos del grado de contaminación de aguas negras para la producción de cultivos; así como de estudios microbiológicos de descomposición de materia orgánica y de determinación de virus y bacterias patógenas y su relación con la cadena alimenticia.
4. Dar prioridad al estudio de los efectos de los metales pesados en hortalizas debido a la peligrosidad de estos elementos.
5. Difundir los reglamentos de uso de aguas negras y vigilar la correcta aplicación de éstos.
6. Realizar un proyecto multidisciplinario en cada una de las instituciones de enseñanza superior que origine el "Plan Nacional de Aprovechamiento Integral de Aguas Negras" para su utilización municipal, industrial, agrícola y doméstico.
7. Dada la diversidad de los usos a que se destinen las aguas negras, se deben realizar estudios que permitan determinar el tipo de tratamiento que se les deberá dar, según el uso al que se quiera destinar.
8. El uso de aguas negras en terrenos agrícolas es una fuente adicional segura y constante, para garantizar la satisfacción de la demanda.
9. Las aguas negras como recurso hidráulico han venido a substituir con ventaja a las aguas blancas, al obtener buenos rendimientos sin el uso de fertilizantes; sin embargo es necesario evaluar sus efectos en humanos y animales antes de continuar su uso indiscriminado.

10. No es conocido con exactitud el efecto sobre los suelos, animales y el hombre a largo plazo, por lo que se sugiere el establecimiento de líneas de investigación que realicen los estudios correspondientes y generen alternativas al respecto.
11. Favorecer conjuntamente a las instituciones de enseñanza, gobierno de los estados, municipal y federal la tecnología de aprovechamiento y reutilización de las aguas negras para beneficio de la sociedad en su conjunto así como de nuestro entorno ecológico.
12. Controlar las descargas de contaminantes desde la fuente misma; verificando las descargas de los efluentes, principalmente los de las industrias y vigilar que éstas cumplan con las normas establecidas.
13. Fomentar las explotaciones agrícolas con el uso de aguas negras en la producción de plantas ornamentales, plantaciones forestales y/o productos que no sean de consumo humano.
14. Establecer las diferentes normas de calidad que las aguas procedentes del tratamiento de aguas negras deberán tener para cada una de las muchas posibilidades de uso en los diferentes sectores.
15. Instituir campañas de divulgación para que se lleven a la práctica proyectos de tratamiento de aguas negras, que coadyuven a la disminución de la contaminación.

BIBLIOGRAFIA

1. Aguas Residuales. Estudio recopilado de diversas publicaciones. División de Educación Continua. UNAM. 1986.
2. Aquiles Claudio, T. Tratamientos de Aguas Residuales. Tesis. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. México. 1987.
3. Contaminación de Aguas Subterráneas. Un Informe Ejecutivo de la Situación en México. Perú. 1987.
4. Curso de Capacitación sobre Aguas Residuales y Plantas de Tratamiento. Departamento del Distrito Federal. Ciudad de México. Septiembre. 1987.
5. Estrategia Nacional de Atención a los Problemas de Contaminación del Agua. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Boletín IMTA. México. 1991
6. Fair, G.M. Purificación del Agua, Tratamiento y remoción de aguas residuales. Ed. Limusa. México. 1981.
7. Flores Arabia, Javier. Diseño y Construcción de Plantas de Tratamiento de Aguas Negras. Tesis. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. México. 1993.
8. Gamrasni, M. Aprovechamiento Agrícola de Aguas Negras Urbanas. Ed. Limusa. México. 1985.
9. Grados de Tratamiento de Agua Residual y Estandár de Calidad del Agua. Secretaria General de Obras Hidráulicas. México. 1989.
10. Herman e Hillebole M.D. Manual de Tratamiento de Aguas Negras. Depto. de Sanidad del Estado de Nuevo York. Ed. Limusa. México. 1976.
11. Informe de la Comisión Nacional del Agua 1989-1993. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México
12. Islas Moreno, H. El Futuro del Agua en México y Zonas Conurbanas. Tesis. UNAM. 1990

13. Iturbide, Rosario. Salinidad y Disposición de Aguas Residuales en Suelos. Tesis. UNAM. 1986.
14. Plantas Modulares para Tratamiento de Agua. CEPIS, OPS, OMS. Documento Técnico No. 8. Peru, CEPIS. 1982.
15. Rhodes Trussell R. Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ed. Watter Pollution Control Federation. 1984.
16. Tebbun T.B.H. Fundamentos de Control de la Calidad del Agua. Depto. de Ing. Civil. Universidad de Birhingan, Virginia, EUA. 1983.
17. Torres Morales, Juan Cenobio. Evaluación del Impacto de los Metales Pesados de Agua Residual . Tesis. Facultad de Ciencias. UNAM. 1992.
18. Tratamiento Biológico de Aguas Residuales. Facultad de Química. UNAM. Depto de Educación Continua. México. 1988.
19. Valter, J. Control de la Calidad del Agua. Procesos Físicoquímicos. España. 1979.
20. Winkler, Michael A. Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho. Ed. Limusa Wiley. México. 1986.
21. Yañez, F. Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales. Procesos de Lodos Activados. Ed. Talleres Gráficos de la Nación. México. 1987.

CUADRO No. 1
Programa agua limpia, diagnóstico 1991.

SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO	
Población servida con agua potable	70%
Población servida con alcantarillado	49%
CLORACION DE AGUA POTABLE	
Caudal total a localidades > 10,000 hab	120 m3/s
Caudal clorado	68 m3/s
en localidades	57
Caudal por clorar	52 m3/s
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
Caudal municipal generado	120 m3/s
Número de plantas instaladas	361
Capacidad instalada	30 m3/s
Porcentaje de Eficiencia de plantas	33%
Caudal Nacional Tratado	10%
Caudal Industrial generado	82 m3/s
Capacidad de tratamiento	15%
RIEGO CON AGUAS RESIDUALES	
Superficie bajo riego	314,000 ha
Superficie de hortalizas y otros	20,591 ha

Fuente: Memoria del taller agua y desarrollo. Cd. Obregón, Sonora. "Programa agua limpia y el manejo de agua residual". Ing. José Luis Calderón. 1991.

CUADRO No. 2
Norma para el uso de aguas residuales en riego agrícola

TIPO DE RIEGO	TIPO DE AGUA	INTERVALO MINIMO ENTRE ULTIMO RIEGO Y COSECHA DIAS	CULTIVOS NO PERMITIDOS
INUNDACION	1	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART.3-III, EXCEPTO AJO, PEPINO, JICAMA, MELON Y SANDIA
	2	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART.3-III, EXCEPTO MELON Y SANDIA
	3	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART. 3-III
	4	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART. 3-IV
SURCO	1	15	LOS SEÑALADOS EN EL ART. 3-III, EXCEPTO AJO, PEPINO, JICAMA, MELON, SANDIA, ASI COMO TOMATE VERDE O DE CASCARA LIBRE CULTIVO
	2	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART. 3-III, EXCEPTO AJO, PEPINO, JICAMA, MELON, SANDIA, ASI COMO TOMATE VERDE O DE CASCARA
	3	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART. 3-III, EXCEPTO MELON Y SANDIA
	4	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART. 3-IV
ASPERSION	1	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART. 3-III, EXCEPTO AJO, PEPINO, JICAMA, MELON Y SANDIA
	2	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART. 3-IV
	3		
	4		

Artículo 3 Fracción III. Acelga, ajo, apio, berro, brócoli, cebolla, cilantro, col, coliflor, epasote, espinaca, hongo, lechuga, pápalo, perejil, quelite, quintonil, rábano, yerbabuena, zanahoria, pepino, calabacita, jitomate, tomatillo y tomate verde o de cáscara, con excepción de las cinco últimas, cuando se siembran con espaldara. Se equiparan a estas hortalizas los siguientes frutos: fresa, jicama, melón, sandía y zorzamora.

Artículo 3 Fracción IV: Las señaladas en la fracción III y todas las demás hortalizas y frutos en general.

Tipo de agua. Tipo 1.- Menos de 1,000 coliformes totales por cien ml y ningún huevo visible del helminto por litro de agua. Tipo 2.- De un a 1,000 coliformes fecales por 100 ml y cuando más un huevo viable de helminto por litro. Tipo 3.- De 1,001 a 100 mil coliformes fecales por 100 ml. Tipo 4.- Más de 100 mil coliformes fecales por 100 ml

Fuente: Norma Técnica Ecológica NTE-CCA-032/92. Diario Oficial de la Federación, SEPTIEMBRE 24 DE 1991.

CUADRO No. 3
Límites máximos de la calidad de las aguas residuales para
Riego Agrícola

Acroelina	0.1	Fósforo total	5.0
Aldrin	0.02	Heptacloro	0.02
Aluminio	5.0	Níquel	0.2
Antimonio	0.1	Nitratos	30.0
Arsénico	0.1	Nitrógeno total	30.0
Bicarbonatos	100.0	Plomo	5.0
Berilio	0.1 - 0.5	Potasio	250.0
Boro	0.7 - 0.3	Potencial de hidrógeno	4.5 a 9.0
Cadmio	0.01	Relación de adsorción de socio (meq/1)	18.0
Carbonato de sodio residual (meq/1)*	2.5	Salinidad efectiva (meq/1)	15.0
Cianuro	0.02	Salinidad potencial (meq/1)	15.0
Clordano	0.003	Selenio (como selenato)	0.02
Cloruro	147.5	Sodio	250.0
Cobre	0.20	Sólidos disueltos	500.0
Conductividad Eléctrica (umhos/cm)	1,000.0	Sólidos suspendidos	50.0
Cromo hexavalente	1.0	Sulfatos	130.0
DDE	0.04	Toxafeno	0.005
Dieldrin	0.02	Zinc	2.0
Hierro	5.0	Radioactividad: Alfa total (Bq/1)	0.1
Fluoruros (como F)	1.0	Radioactividad: Beta total (Bq/1)	1.0

FUENTE: Criterios Ecológicos de calidad del agua. SEDUE. Diario Oficial de la Federación, del 13 de diciembre de 1989, México.

* Manual Técnico para el Uso, Manejo y Aprovechamiento de las Aguas Residuales en Riego Agrícola. C.N.A., Documento Interno. México, 1990.

ESTA TESIS NO DEBE
 SALIR DE LA BIBLIOTECA

CUADRO No. 4
Límites máximos de contaminantes para las aguas residuales
de origen urbano o municipal que se disponga mediante
riego agrícola

PARAMETROS FISICOS Y QUIMICOS (mg/l)	NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES
POTENCIAL DE HIDROGENO (unidades DE pH)	6.5 - 8.5
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (mmhos/cm)	2,000.00
ALUMINIO	0.20
ANTIMONIO	0.10
ARSENICO	0.10
BORO	0.75
CADMIO	0.01
CIANURO	0.02
COBRE	0.20
CROMO	0.01
FIERRO	5.00
FLORUROS (Como Flúor)	1.00
MAGNESO	0.02
NIQUEL	0.05
PLOMO	0.50
SELENIO (Como Selenato)	0.02
Zinc	2.00

FUENTE: Norma Técnica Ecológica: NTE-CCAM-004/91. SEDUE
 Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de
 septiembre de 1991.