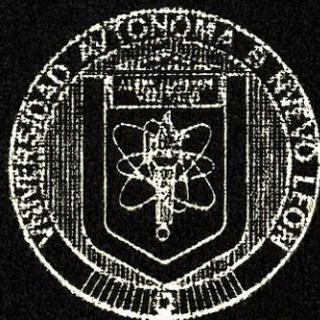


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



REUTILIZACION DE AGUAS RESIDUALES

Seminario

(Opción 11 - A)

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

P R E S E N T A

JUAN ARMANDO LUNA CAMACHO

MARIN, N. L.

ABRIL 1985

T

TD429

L8

c. 1



1080061586

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



REUTILIZACION DE AGUAS RESIDUALES

Seminario

(Opción 11 - A)

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

P R E S E N T A

JUAN ARMANDO LUNA CAMACHO

MARIN, N. L.

ABRIL 1985

T
TD 429
L8

040.628
FA1
1985



Biblioteca Central
Magna Solidaridad



UANL
FONDO
TESIS LICENCIATURA

tesis

REUTILIZACION DE AGUAS RESIDUALES

Seminario

(Opción 11-A)

Sometido al Comité de Tesis como
requisito para obtener el título de

INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León

Permiso para su publicación, reproducción total o parcial

debe ser obtenido en dicha Universidad.

APROBADA:

Asesor Principal

Asesor Técnico

Asesor Técnico

Abril de 1985.

A mis queridos padres:

ARMANDO LUNA SALDAÑA

OLGA CAMACHO DE LUNA

con cariño y respeto, como una pequeña
recompensa porque supieron inculcarme
una educación y me apoyaron para poder
realizar una carrera profesional.

A mis hermanos:

AARÓN RUBEN

DAVID

OLGA LETICIA

por el cariño y la estimación
que siempre nos ha unido.

A mi novia:

SRITA. IRIS AURORA TREVIÑO LOPEZ
con amor. Por la confianza, cariño y
apoyo que siempre me ha brindado.

A todos mis familiares y amigos,
con aprecio.

Mi sincero agradecimiento a:

Ph. D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado, por haberme brindado su asesoría y colaboración para efectuar este trabajo.

Ing. Arturo Bosquez, Sr. Arturo Manrique y Sr. Manuel Treviño R. por la ayuda y apoyo para la elaboración del trabajo.

A la Srita. Magdalena Rosales por su ayuda
desinteresada en el trabajo de mecanografía
del escrito.

A todos mis maestros, amigos y compañeros
con los cuales conviví a través de mis
estudios.

INDICE

Lista de Tablas	IX
Lista de Figuras	X
Resumen	1
Introducción	3
Revisión de Literatura	7
I Aguas Residuales	7
1.1 Parámetros de caracterización de Aguas Residuales.	8
1.1.1 Parámetros físicos	12
1.1.1.1 Sólidos	12
1.1.1.2 Temperatura	14
1.1.1.3 Color	14
1.1.1.4 Olor	15
1.1.2 Parámetros Químicos	15
1.1.2.1 Orgánicos	15
1.1.2.2 Inorgánicos y gases	19
1.1.2.3 Parámetros biológicos	19
1.2 Aguas Residuales Industriales	23
II. Tratamiento de Agua Residual	26
II.1 Procesos de pretratamiento	26
II.2 Procesos de tratamiento primario	28
II.3 Procesos de tratamiento secundario	32
II.3.1 Lodos activados	32
II.3.2 Lagunas de estabilización	36
II.3.3 Procesos adicionales para tratamiento secundario.	37

11.4	Procesos de tratamiento terciario	40
11.5	Procesos para tratamiento de lodos	42
11.6	Tratamiento de aguas negras para uso -- agrícola	43
III	Recarga de Acuíferos con Aguas Negras - Renovadas .	46
III.1	Consideraciones	46
III.2	Experiencias en recarga de acuíferos	47
III.2.1	Métodos de recarga	47
III.2.1.1	Inyección directa	50
III.2.1.2	Infiltración - percolación	51
III.2.1.3	Irrigación	54
III.3	Proyectos de aplicación al suelo	56
III.4	Beneficios	56
III.5	Problemas	57
III.6	Remociones de contaminantes por el sue- lo.	57
	Conclusiones	59
	Bibliografía	65

LISTA DE TABLAS

	PAG.
1.- Parámetros de caracterización de aguas residuales y métodos de determinación.	9
2.- Clasificación de las aguas residuales en función de su concentración.	11
3.- Aspectos generales de parámetros químicos y gaseosos.	20
4.- Contaminantes característicos de los efluentes industriales y procesos para control.	24
5.- Eficacia aproximada de los métodos convencionales de tratamiento de las aguas residuales municipales (basada en concentraciones brutas de residuos).	35
6.- Aplicación de lagunas de estabilización.	38
7.- Clasificación de las aguas de los cuerpos receptores superficiales en función de sus usos y características de calidad.	45
8.- Tratamientos aplicados a las aguas negras antes de ser recargadas a los acuíferos.	48
9.- Reutilización de aguas residuales en California del Sur.	49
10.- Comparaciones de los procesos de tratamiento terciario con los procesos del suelo.	62

LISTA DE FIGURAS

	PAG.
1.- Clasificación de partículas de acuerdo al tamaño.	12
2.- Sólidos presentes en aguas residuales domésticas de mediana concentración.	13
3.- Proceso de la demanda bioquímica de oxígeno.	18
4.- Remoción de materia suspendida por sedimentación.	29
5.- Tratamiento primario de aguas residuales	31
6.- Esquema básico de una planta de lodos activados.	34
y Proceso de Fangos activados	34
7.- Filtro goteador.	37
8.- Biofiltro.	39
9.- Infiltración - Percolación.	53
10.- Riego por encharcamiento.	55
11.- Dinámica del movimiento de aguas negras.	64

RESUMEN

Las aguas residuales transportan sustancias que se desechan en actividades domésticas, industriales y agrícolas. Bajo este amplio sentido se suele entender por reutilización el acondicionamiento de aguas residuales procedentes de desagües de población o industria con la finalidad de darles un nuevo uso.

Para poder determinar el tipo de tratamiento que se les ha de efectuar a las aguas residuales, es preciso distinguir parámetros de caracterización de dichas aguas, entre las cuales mencionaremos tres grupos de parámetros: los físicos, químicos y biológicos.

El tratamiento de las aguas residuales consiste en la remoción de sustancias contaminantes con el fin de evitar afectaciones en la calidad de los cuerpos receptores y adecuar la calidad del agua a los requerimientos de los usuarios.

El tratamiento del agua se puede clasificar en primario, secundario o terciario, dependiendo de los contaminantes removidos en cada tipo de tratamiento, así tenemos que el tratamiento primario se utiliza para remover sólidos suspendidos, ajustar pH y romper emulsiones; el secundario remueve materia orgánica biodegradable y el terciario elimina detergentes, pesticidas, microorganismos patógenos, etc.

La reutilización del agua residual se presenta como una alternativa para dar solución a los problemas de abastecimiento de agua, aunque para poder llevar a cabo un proyecto de esta naturaleza es preciso contar con la aceptación pública.

Entre los diferentes usos que se les puede dar a estas aguas están los siguientes: usos industriales, agrícolas, riego de parques y jardines, natación, pesca e incluso para agua potable a través de la recarga de acuíferos subterráneos.

INTRODUCCION

Bajo la terminología de aguas residuales se agrupan habitualmente aguas de orígenes muy diversos. Se encuentran, pues, en esta categoría las aguas de origen urbano formadas por las aguas domésticas (lavado corporal y de la ropa, lavado de locales, aguas de cocinas) y las aguas residuales -- cargadas de heces y orina; toda esta masa de efluentes está mas o menos diluida por las aguas de lavado de los servicios públicos y las aguas pluviales.

Pueden añadirse según los casos las aguas de origen industrial y agrícola. El agua así colectada en una red de -- alcantarillado, aparece como un líquido turbio, generalmente grisáceo, que contiene materias en suspensión de origen mineral y orgánico en cantidades extremadamente variables. A esta carga se asocian siempre materias grasas y coloidales.

Las aguas residuales de origen industrial tienen generalmente una composición más específica y directamente ligada al tipo de industria considerada. (14).

Las aguas negras constituyen una carga para la comunidad que las produce. Es cierto que contienen ingredientes recuperables, pero, como en el caso de la extracción del oro del agua del mar, el proceso de recuperación cuesta más que el valor de las sustancias recuperadas. No se ha ideado -- ningún proceso de tratamiento de las aguas negras domésticas para producir un caudal higiénico que resulte beneficioso. Sin embargo, como es indispensable tratar las aguas negras,

puede sufragarse una parte del costo del tratamiento, mediante la recuperación de productos útiles.

Las aguas negras naturales o las aguas resultantes de su tratamiento, se han usado para los siguientes fines: para riego; para enfriamiento de evaporadores en las instalaciones productoras de energía; para diversos fines en las instalaciones industriales, como, por ejemplo, para apagar el coque en las fábricas de acero; para la reposición de agua subterránea; para el lavado y limpieza; y para otros fines.

Entre las recuperaciones que pueden obtenerse de las aguas negras figuran: el lodo, por su valor como fertilizante y su contenido de calor; la grasa; la arena, como material para carreteras, caminos y relleno; y el gas combustible procedente de la digestión del lodo. (1)

Los sólidos de desecho producidos por las aguas residuales contienen muchos de los elementos fertilizantes. Los compuestos de nitrógeno, el humus y el agua determinan generalmente las propiedades agrícolas de los sólidos procedentes de las aguas residuales. La mayor parte de los sólidos se aplican directamente a los suelos, pero se podrían utilizar, en vez de ello, como base para fertilizantes (agregándose los otros elementos necesarios), o bien, como cargas de los fertilizantes comerciales.

El uso de los sólidos de aguas residuales está circunscrito por los riesgos higiénicos que pueden crear. Las bac-

terias, virus, protozoarios (quistes) y gusanos (huevos) patógenos pueden sobrevivir al tratamiento de aguas y estar -- incluidas entre los sólidos residuales. Aún cuando el número de supervivientes decrece apreciablemente, solo se pueden considerar como totalmente seguros los sólidos secados por -- calor. (7)

La estabilización biológica de los desechos orgánicos, puede abrir nuevos horizontes para su aprovechamiento y la -- obtención de alimentos a partir de ellos. La fotosíntesis -- es un factor importante para activar cambios biológicos (1)

OBJETIVOS:

Reutilizar un agua residual es dar un nuevo uso a las -- aguas previamente utilizadas. Bajo este sentido amplio, la reutilización de aguas residuales es un proceso general, y -- casi puede decirse natural, al que no siempre se le presta -- suficiente atención y que con frecuencia pasa inadvertido, -- no siendo raro el caso en que su existencia es ignorada en -- algunas valoraciones de recursos. (3)

A medida que va creciendo la población urbana, con el -- proporcional aumento de volumen de aguas negras y desechos -- orgánicos, resultó que todos los métodos de disposición eran tan poco satisfactorios que se hizo imperativo tomar medidas -- esenciales para remediarlos y se inició el desarrollo de -- los métodos de tratamiento, antes de la disposición final de las aguas negras. (5)

En un sentido estricto y restringido, se suele entender - por reutilización (directa) de aguas residuales el acondicio- namiento de las aguas residuales procedentes de desagües de población o industria para un uso inmediato, sin mediar nin- gún proceso de dilución ni de depuración natural, sino un -- tratamiento en instalaciones o dispositivos especialmente -- diseñados (3)

Los objetivos que hay que tomar en consideración en el tratamiento de aguas negras incluyen:

- 1) La conservación de las fuentes de abastecimiento de agua para uso doméstico.
- 2) La prevención de enfermedades.
- 3) La prevención de molestias.
- 4) El mantenimiento de aguas limpias para el baño y otros -- propósitos recreativos.
- 5) Mantener limpias las aguas que se usan para la propaga- -- ción y supervivencia de los peces.
- 6) Conservación del agua para usos industriales y agrícolas.
- 7) La prevención del azolve de los canales navegables.

Una planta de tratamiento de aguas negras se diseña pa- ra retirar de las aguas negras las cantidades suficientes de sólidos orgánicos e inorgánicos que permiten su disposición, sin infringir los objetivos propuestos. (5)

REVISION DE LITERATURA

1.- Aguas Residuales

Las aguas residuales transportan sustancias que se desechan en actividades domésticas, industriales y agrícolas. La incorporación de dichas sustancias a los cuerpos receptores, representados por el suelo, ríos, lagunas, estuarios, océanos y acuíferos, ejerce por lo general, efectos nocivos de contaminación que limitan los usos del suelo con fines agrícolas, afectan a la flora y fauna acuáticas y reducen el potencial de uso de los recursos hidráulicos. (18)

El tratamiento de las aguas negras es un proceso por el cual los sólidos que el líquido contiene son separados parcialmente, haciendo que el resto de los sólidos orgánicos complejos muy putrescibles queden convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables. (5)

El tratamiento de las aguas residuales tiene por objeto la remoción de sustancias contaminantes para evitar afectaciones en la calidad de los cuerpos receptores, así como en la adecuación de la calidad del agua a los requerimientos de los usuarios, que principalmente se encuentran representados por actividades industriales, agrícolas y recreativas. La práctica de tratamiento es recomendable para controlar la contaminación, o bien, en regiones de escasez o en zonas donde se tiene competencia entre los usuarios. Además, es particularmente importante, y de hecho obligado, el tratamiento de aguas residuales cuando la capacidad de autopurificación de los cuerpos receptores no es suficiente para asimilar la

cantidad de contaminantes que se descarga sobre los mismos.
(15)

1.1 Parámetros de Caracterización de Aguas Residuales

Podemos distinguir tres grupos de parámetros de caracterización de las aguas residuales: los físicos, químicos y biológicos. En la Tabla No. 1 se presentan las fuentes de aportación y métodos analíticos para determinar los diferentes parámetros. (10)

La composición de las aguas residuales depende de la cantidad disponible de agua de abastecimiento y del uso de la misma, así, una zona densamente poblada con suministro de agua deficiente, mostrará mayores concentraciones de contaminantes en aguas residuales, que las que se presenten en una zona poco poblada con mejores servicios de agua potable. En este sentido, es posible clasificar las aguas residuales en función de su concentración, en débiles, medianos y fuertes; la Tabla No. 2 contiene los valores de concentración que caracterizan a las aguas residuales domésticas típicas. Por otra parte, es importante mencionar que la composición de las aguas residuales varía en función del tiempo, ocurriendo las concentraciones máximas entre las 9 de la mañana y 2 de la tarde, y las mínimas alrededor de las 4 de la mañana, cuando la demanda, y por lo tanto la descarga, son mínimas. (15)

PARAMETROS DE CARACTERIZACION DE AGUAS RESIDUALES Y METODOS DE DETERMINACION

PARAMETROS	FUENTES	METODO ANALITICO
<u>FISICOS</u>		
Sólidos	Descargas domésticas e Industriales	Gravimétrico
Temperatura	Descargas domésticas e Industriales	Termométrico
Color	Descargas domésticas e Industriales	Cloroplatinato
Olor	Descomposición de agua residual y descargas industriales.	Manual
<u>QUIMICOS ORGANICOS</u>		
Proteínas	Descargas domésticas y de comercios	Cromatografía
Carbohidratos	Descargas domésticas y de comercios	Cromatografía
Grasas y Aceites	Descargas domésticas, comerciales e industriales.	Extracción con hexano
Detergentes	Descargas domésticas e Industriales	Azul de metileno
Fenoles	Descargas industriales	Cromatografía
Pesticidas	Descargas agrícolas	
<u>QUIMICOS INORGANICOS</u>		
pH	Descargas industriales	Potenciométrico
Cloruros	Agua de abastecimiento, descargas domésticas e infiltración de agua subterránea.	Nitrato de Plata
Alcalinidad	Agua de abastecimiento, descargas domésticas e infiltración de agua subterránea.	Titulación con ácido
Nitrógeno	Descargas domésticas y agrícolas	Colorimétrico
Fósforo	Descargas domésticas e Industriales y escurrimiento superficial	Cloruro estanoso
Azufre	Descargas industriales	Infra rojo.
Tóxicos	Descargas industriales	Absorción atómica.
<u>GASES</u>		
Oxígeno	Infiltración de agua superficial	Minkler modificado
Acido sulfhídrico	Descomposición de agua residual	Cromatografía
Metano	Descomposición de agua residual	Cromatografía

P A R A M E T R O S	F U E N T E S	M E T O D O A N A L I T I C O
BIOLOGICOS		
Bacterias coliformes	Descargas domé- sticas y efluentes de plantas de tratamiento	Tubos múltiples de fermentación
Algas	Efluentes de lagunas de estabiliza- ción	Concentración y cuenta de placa

FUENTE: Manual para Tratamiento Primario y Tanques de Estabilización. SAHOP (15)

TABLA No. 2

CLASIFICACION DE LAS AGUAS RESIDUALES EN FUNCION DE SU CONCENTRACION

P A R A M E T R O	C O N C E N T R A C I O N	
	FUERTE	DEBIL
1.- Sólidos totales mg/l	1,200	350
2.- Sólidos disueltos mg/l	850	250
	525	145
	325	105
3.- Sólidos suspendidos mg/l	350	100
	75	30
	275	70
4.- Sólidos sedimentables mg/l	20	5
5.- Demanda bioquímica de oxígeno mg/l, 5 días, 20°C	300	100
6.- Carbón orgánico total	300	100
7.- Demanda química de oxígeno	1,000	250
8.- Nitrógeno mg/l	85	20
	35	8
	50	12
9.- Nitritos mg/l	0	0
10.- Nitratos mg/l	0	0
11.- Fósforo mg/l	5	12
	15	4
	20	6
12.- Cloruros mg/l	100	30
13.- Alcalinidad mg/l de CaCO ₃	200	50

FUENTE: Manual de Tratamiento Primario y Tanques de Estabilización. SAHOP. (15)

1.1.1 Parámetros Físicos

Los más importantes son los sólidos totales compuestos de material flotante, suspendido, coloidal y disuelto; así como temperatura, olor y color. (9)

1.1.1.1 Sólidos

Los sólidos totales se encuentran representados por el material que arrastran las aguas de suministro doméstico, industrial y agrícola durante su uso. Desde el punto de vista analítico, los sólidos totales se definen como el residuo que permanece después de haber evaporado el agua entre 103 y 105°C. Los sólidos filtrantes y los suspendidos, son componentes de los totales; los primeros comprenden partículas del tamaño de los iones y de los cationes, cuya magnitud oscila entre 10^{-3} y 1 micra; los segundos incluyen a los sólidos sedimentables que son de un tamaño mayor a las 10 micras. En la Fig. 1 se representa la clasificación de los sólidos de acuerdo al tamaño de la partícula. (15)

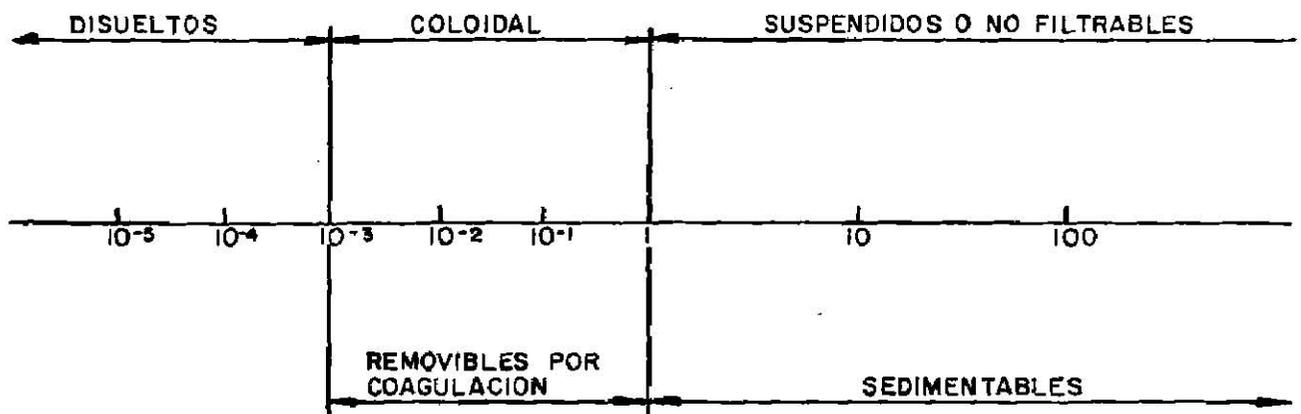


FIGURA 1.- Clasificación de partículas de acuerdo al tamaño.
FUENTE: Manual SAHOP.

Cada una de las categorías de sólidos definidas anteriormente, se dividen en función de su volatilidad a 600°C en fijos y volátiles. La fracción orgánica se oxida a temperatura de 600°C, convirtiéndose en gas y la inorgánica permanece como ceniza. Así, los términos sólidos suspendidos volátiles y sólidos suspendidos fijos, corresponden a fracciones orgánicas e inorgánicas respectivamente. A 600°C la descomposición de la fracción inorgánica se encuentra restringida a la del carbonato de magnesio, el cual se convierte en dióxido de carbono y óxido de magnesio a 350°C; el carbonato de calcio, el mayor componente de las sales inorgánicas, es estable a temperaturas menores a los 825°C. Para aguas residuales domésticas de mediana concentración, en la Fig. 2 se desglosa la composición típica en cuanto a sólidos se refiere. (2)

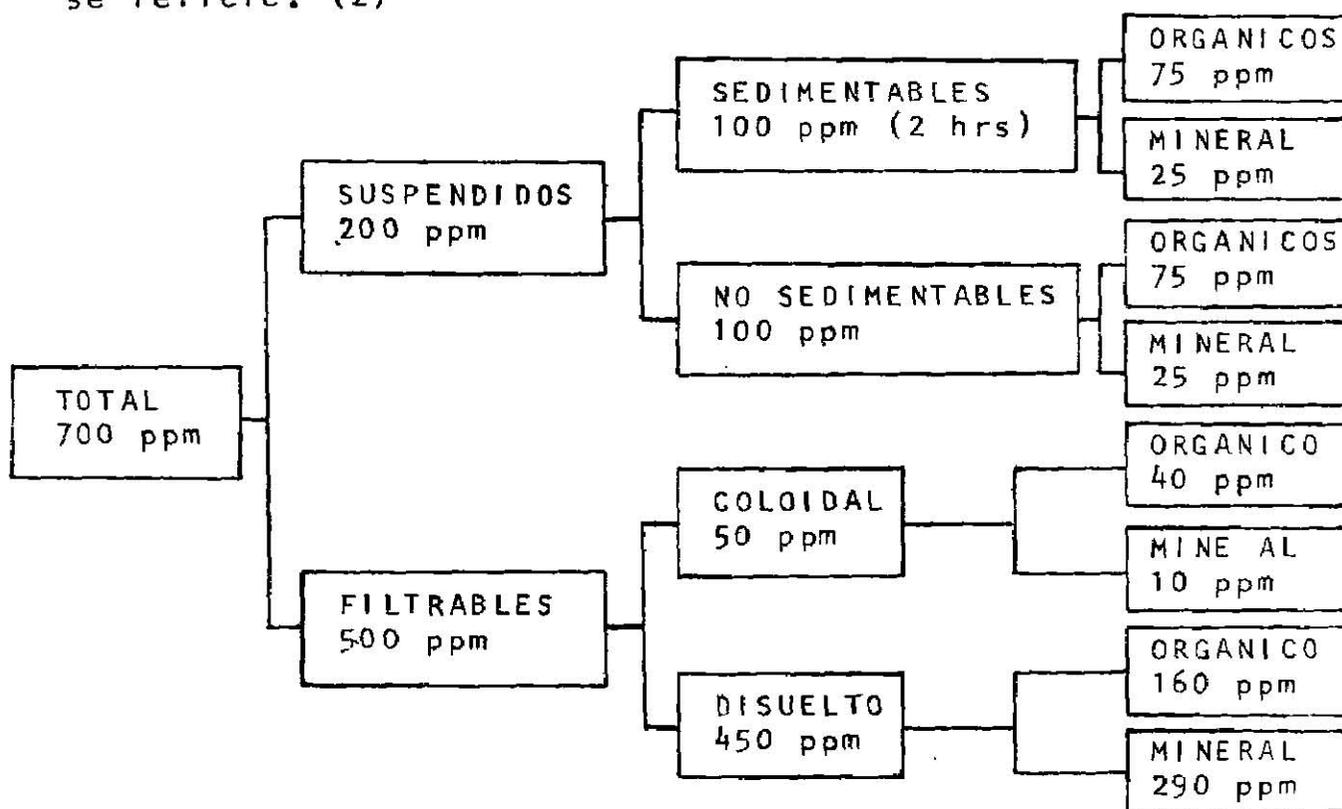


FIGURA 2.- Sólidos presentes en Aguas residuales domésticas de mediana concentración
FUENTE: Trat. de Aguas Negras y Desechos Industriales Barnes, George E.

1.1.1.2 Temperatura

La temperatura es una medida relativa de la cantidad de calor retenida o contenida en el agua residual, usualmente la temperatura de las aguas residuales es mayor que la del agua de suministro, por la adición de calor que ejercen los usos domésticos e industrial. (10)

La temperatura óptima del agua potable es de 5 a 15°C. El agua demasiado fría puede ser perjudicial a la salud y demasiado caliente no resulta refrescante. (20)

La temperatura es muy importante porque afecta a la fauna y la flora acuáticas, a la velocidad de reacción bioquímicas y a la transformación de gases. Así, por ejemplo, al incrementarse la temperatura, la velocidad de biodegradabilidad de compuestos orgánicos también se incrementa, pero la solubilidad del oxígeno en el agua disminuye. (12)

1.1.1.3 Color

El agua potable debe ser clara, es decir transparente, el agua limpia es incolora y si se presenta en capas gruesas tiene un color azulado. (20)

El agua residual doméstica presenta un color gris cuando se acaba de generar, pero posteriormente se torna de un color negro, debido a la actividad de microorganismos anaerobios, que descomponen la materia orgánica en ácido sulfhídrico y metano. (15)

Por lo que respecta a las aguas residuales industriales estas presentan color en algunos casos, tales como el de las industrias textil, celulosa y papel; petrolera y petroquímica. (10)

1.1.1.4 Olor

El olor de las aguas residuales domésticas es causado por compuestos derivados de la actividad microbiana anaeróbica. El de las residuales industriales es particular, según sea el caso, así por ejemplo, la industria petrolera presentará olores característicos, como el de la gasolina, el fenol o el ácido sulfhídrico. (6)

El olor servirá para detectar las condiciones de septicidad en que se encuentran las aguas negras a tratar y la presencia de otros líquidos industriales. Este parámetro es totalmente subjetivo. (19)

1.1.2 Parámetros Químicos

Estos parámetros se dividen en orgánicos, inorgánicos y gases.

1.1.2.1 Orgánicos

Los grupos principales son las proteínas (40-60%), carbohidratos (25-50%), grasas y aceites (10%) y la área proveniente de la orina. (1)

Las proteínas son los principales componentes que constituyen el organismo animal, los carbohidratos se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza formando azúcares,

almidones, celulosa y fibra de madera, y las grasas y aceites ocasionadas por mantequillas, margarinas, semillas de cereales, etc. (19)

Los elementos constitutivos principales de la materia orgánica son: carbón, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno; así como cantidades menores de azufre, fósforo, hierro, calcio, magnesio, sodio, potasio, etc. Otros compuestos orgánicos, a veces presentes en las aguas residuales, son los fenoles, detergentes, pesticidas y metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio. (15)

Para facilitar la detección de materia orgánica, usualmente se recurre a medir parámetros indirectos, como son las demandas bioquímicas y química de oxígeno y el carbono orgánico total. (8)

La primera determinación se basará en la medición del oxígeno disuelto en las aguas negras usado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica. (19) La demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O.), de amplia aplicación, implica determinar la variación de oxígeno disuelto en el tiempo, debido a las reacciones bioquímicas involucradas en el metabolismo microbiano de la materia orgánica. (6)

La D.B.O., como su nombre lo indica, es la cantidad de oxígeno requerida para la oxidación (estabilización) de la materia orgánica de una muestra, mediante la acción biológica.

ca de organismos microscópicos en un tiempo dado y a una temperatura determinada.

La prueba que determina la demanda bioquímica de oxígeno, valúa la pérdida de oxígeno disuelto que acompaña al proceso de descomposición inducido y mantenido por los organismos saprofitos existentes en las aguas negras o en las aguas poluidas. Por lo tanto, la DBO es una medida de la cantidad de materia capaz de descomponerse (materia orgánica significativa) y también es una medida de la demanda de oxígeno ejercida directa e indirectamente por los organismos vivientes que son los responsables de la descomposición. Se especifican siempre el tiempo y la temperatura de incubación, ya que la descomposición es un proceso lento y ya que las actividades vitales de las bacterias y otros organismos, así como las reacciones químicas, son estimuladas por altas temperaturas y retardadas por bajas temperaturas. A menos que se establezcan otras condiciones, el tiempo para la prueba es de cinco días y la temperatura a 20°C. (11)

La cantidad de oxígeno requerida para la estabilización completa del agua contaminada por polución, puede tomarse como una medida de su contenido de materia orgánica. La cantidad requerida en diversos períodos de tiempo y el efecto de la temperatura pueden verse en la Figura 3. Puede observarse en dicha figura que para cada temperatura, las curvas son más suaves durante los primeros días que siguen a un cambio brusco en la gráfica. Durante los primeros días, que

forman la llamada primera fase, se está oxidando la materia carbonada. Durante la segunda fase, tiene lugar la nitrificación (1)

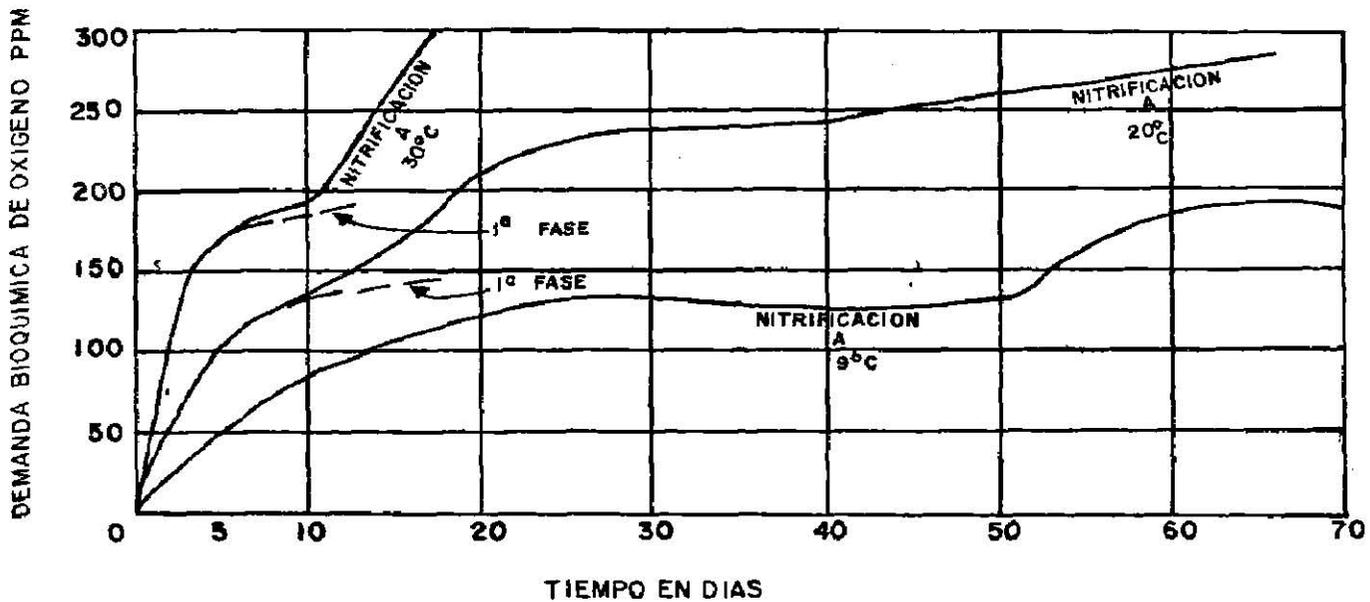


FIGURA 3.- Proceso de la demanda bioquímica de oxígeno.

(Según Theirault, Bull. 173, U. S. Public Health Service, 1927)

En general, la prueba para la determinación de la D.B.O. ha desplazado a las pruebas que determinan el nitrógeno y el oxígeno consumido en el control de tratamiento de aguas negras y su disposición. La prueba de la DBO posee una ventaja muy importante sobre esas otras pruebas, la que consiste en que la prueba de D.B.O. refleja el carácter de las aguas negras en lo que se refiere a la capacidad de descomposición (putrecibilidad) de la materia orgánica como un todo. Es una medida del nivel de inmundicia de las aguas negras. (11)

La demanda química de oxígeno (D.Q.O.) es usualmente mayor que la D.B.O., puesto que mayor cantidad de sustancias

son oxidables químicamente que bioquímicamente. Para muchos tipos de desechos la D.Q.O. se correlaciona con la D.B.O.; - cuando se trata de desechos domésticos típicos, la D.Q.O. es de 1.2 a 1.5 veces mayor que la D.B.O. (15)

También el parámetro carbono orgánico total (C.O.T.), - es una medida indirecta del contenido de materia orgánica. - Su obtención se realiza mediante la combustión catalítica de muestra en un horno a alta temperatura y la determinación -- posterior del bioxido de carbono producido que es proporcional a la cantidad de carbono presente en la muestra; para -- asegurar la ausencia de carbono inorgánico, la muestra es -- acidificada y aereada a fin de eliminar el CO_2 inorgánico, - el método infrarrojo es el que sirve para determinar el CO_2 producido. (15)

1.1.2.2 Inorgánicos y Gases

Tienen importancia en la estabilización del agua y en - el control de la calidad de la misma, así como condicionan- - tes y limitantes, del crecimiento biológico. En la Tabla No. 3 se presentan aspectos generales de los parámetros químicos inorgánicos y gases por lo que respecta a su significado y - efectos relevantes. (15)

1.1.2.3 Parámetros biológicos

Son de importancia en el tratamiento de aguas residua- - les las bacterias, hongos, algas, protozoarios, notíferos, - crustáceos y virus. (15)

TABLA No. 3

ASPECTOS GENERALES DE PARAMETROS QUIMICOS Y GASEOSOS

PARAMETRO	SIGNIFICADO	EFFECTOS DE MAYOR RELEVANCIA
pH	Medida de la acidez del agua	Los pH mayores de 7.5 y menores de 6.5 afectan a los organismos involucrados en el tratamiento biológico.
Alcalinidad	Medida del contenido de iones hidroxido, bicarbonatos y carbonatos.	Limitante de actividad biológica.
Nitrógeno amoniacal	Nutriente biológico	Interviene en el metabolismo bacteriano.
Nitratos	Nutriente biológico	Se toma en fases terminantes de procesos biológicos.
Fosfatos	Nutriente biológico	Interviene en el metabolismo microbiano.
Metales pesados	Indica contaminación industrial	Afectan el metabolismo microbiano por ser tóxicos.
Oxígeno	Medida de actividad biológica	Se requiere para la respiración de organismos aerobios de importancia en el tratamiento de aguas residuales.
Acido sulfhídrico y metano	Indica condiciones sépticas	Se forman en la descomposición anaerobia de la materia orgánica.

FUENTE: Manual para Tratamiento Primario y Tanques de Estabilización. SAHOP. (15)

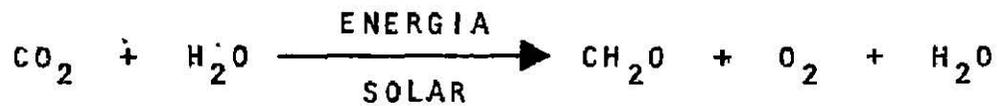
El tracto intestinal de los animales de sangre caliente incluyendo al hombre, contienen bacterias conocidas como organismos coliformes. Estos organismos no son dañinos al hombre y son útiles al destruir materia orgánica en un proceso biológico de tratamiento de aguas negras. La bacteria coliforme incluye a los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*, de los cuales *E.coli* es enteramente de origen fecal. (19)

Las bacterias son organismos unicelulares, microscópicos, de tamaño que varía de 0.5 a 10 micras, que se alimenta con material orgánico e inorgánico soluble, se multiplican por división. Conforme a la temperatura, las bacterias pueden ser criófilas, mesófilas y termófilas, si el rango en que mejor funcionan se encuentra entre 12° y 18°C para las primeras, 25° y 40°C para las segundas y 55° a 65°C para las terceras. En función del metabolismo las bacterias se clasifican en autótrofas y heterótrofas, si la fuente de carbón proviene de sustancias inorgánicas para las autótrofas y de materia orgánica para las heterótrofas. A su vez, las bacterias mencionadas pueden ser aerobias, anaerobias y facultativas, en función de las necesidades de oxígeno para su respiración, así, las aerobias requieren oxígeno, las anaerobias no y las facultativas viven en una u otra condición. (21)

Los hongos son organismos multicelulares, no fotosintéticos (su fuente de energía es diferente a la solar), y heterótrofos. La mayoría de los hongos son aerobios estrictos

y tienen la propiedad de vivir a pH muy bajos, del orden de 2 unidades y altos cercanos a 9, lo cual los hace ser importantes en el tratamiento de desechos industriales y en la digestión o composteo de desechos sólidos. (11)

Las algas son organismos unicelulares o multicelulares autotrofos y fotosintéticos. Esta última propiedad tiene importancia en el tratamiento de aguas residuales, mediante lagunas de estabilización aerobias, puesto que en la reacción de fotosíntesis se forma oxígeno, según la siguiente ecuación:



Los protozoarios son organismos microscópicos, usualmente unicelulares. Son en su mayoría aerobios, heterotrofos y utilizan a las bacterias como fuente de energía al ingerirlas, con lo cual ejercen una acción de pulimiento en los procesos biológicos.

Los natóferos son organismos aerobios, heterotrofos y multicelulares. Son muy efectivos en el consumo de bacterias dispersas y pequeñas partículas de materia orgánica. Su presencia indica una alta eficiencia de remoción en los procesos aerobios biológicos.

Los crustáceos son también organismos aerobios, heterotrofos y multicelulares, indican efluentes con bajos contenidos de materia orgánica y altas concentraciones de oxígeno.

geno disuelto. (15)

Los virus son organismos de tamaño menor, que solo pueden verse con el microscopio electrónico. Son parásitos - - obligados que requieren de un huésped para vivir. Dado que algunos virus producen enfermedades y son concentrados en la materia fecal humana, se requiere eliminarlos usualmente mediante la cloración de los efluentes de las plantas de tratamiento. (8)

1.2 Aguas Residuales Industriales

Las diferentes industrias generan contaminantes en función de los procesos productivos específicos que utilizan en la elaboración de sus productos. Por tanto, debe considerarse cada industria en particular y en ocasiones cada planta - del grupo industrial en la definición del tipo de contaminantes que generan.

Entre los contaminantes que producen las industrias en general, se encuentran los sólidos suspendidos y disueltos, las grasas y aceites, fenoles, azufre, ácidos, bases, tóxicos, material orgánico degradable y no degradable, etc. - - Particularizando a nivel de agregación de subgrupo industrial, en la Tabla No. 4 se dan los principales contaminantes, los efectos de los mismos y los procesos de tratamiento para control de efluentes, para los subgrupos refinación de petróleo, papel y celulosa, textiles, hierro y acero, industria química, alimentos y minerales no metálicos. (12, 15)

TABLA No. 4

CONTAMINANTES CARACTERISTICOS DE LOS EFUENTES INDUSTRIALES Y PROCESOS PARA CONTROL

SUBGRUPO INDUSTRIAL	PRINCIPALES CONTAMINANTES	EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES	PROCESOS DE TRATAMIENTO USUALES
Refinación de petróleo	Grasas y aceites, materia orgánica, fenoles y derivados de azufre.	Las grasas y aceites, los fenoles y los compuestos de azufre interfieren con los procesos de tratamiento biológico, haciendo que los tiempos de retención sean mayores que los requeridos para aguas residuales domésticas y por tanto se incrementan los costos de tratamiento.	Primario: Separación de grasa por flotación. Secundario: lagunas aeradas, lodos activados. Terciario: Adsorción con carbón activado
Papel y celulosa	Materia orgánica, sólidos suspendidos y disueltos, ácidos y bases, color y tóxicos.	Los tóxicos compuestos sulfurados interfieren con los procesos de tratamiento secundario.	Primario: Sedimentación recuperación de materias primarias. Secundario: lagunas aeradas, lodos activados. Terciario: Adsorción con carbón activado, precipitación con cal, intercambio iónico.
Textiles	Alta alcalinidad, color, materia orgánica, sólidos suspendidos.	Las alcalis provocan condiciones indeseables en los cuerpos receptores dañando la flora y fauna acuáticas. El color disminuye la transferencia de oxígeno en el agua, restringiendo la actividad fotosintética.	Primario: cribado, sedimentación, flotación, neutralización y precipitación. Secundario: Lagunas aeradas, lodos activados. Terciario: Adsorción de color con carbón activado, oxidación química.

SUBGRUPO INDUSTRIAL	PRINCIPALES CONTAMINANTES	EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES	PROCESOS DE TRATAMIENTO USUALES
Hierro y acero	Bajo pH, ácidos, cianuros, fenoles, grasas y aceites y sólidos suspendidos.	Los tóxicos como cianuros y fenoles son dañinos para la flora y fauna acuáticas.	Primario: Neutralización, sedimentación. Secundario: para los efluentes del proceso de coquizado se aplican lodos activados o lagunas aeradas. Terciario: Coagulación química.
Industria química	Varían según el tipo de industria y pueden ser inocuos o extremadamente tóxicos. En términos generales los efluentes incluyen ácidos, bases, materia orgánica, color, nutrientes y tóxicos.	Son variables según el efluente industrial	Primario: Sedimentación, flotación, neutralización, filtración. Secundario: Para efluentes de industria química orgánica, se aplican lodos activados o lagunas aeradas. Terciario: Carbón activado, coagulación, oxidación química.
Alimentos	Materia orgánica, sólidos suspendidos, bacterias coliformes.	En general son de menor intensidad que los provocados por aguas residuales de origen doméstico.	Primario: Sedimentación. Secundario: Lodos activados, lagunas aeradas, lagunas facultativas. Terciario: Desinfección.
Minerales no metálicos	Sólidos suspendidos y disueltos.	Causan turbidez en el agua y alteran la salinidad de la misma.	Primario: Sedimentación. Secundario: Coagulación. Terciario: Intercambio iónico.

FUENTE: Manual de Tratamiento Primario y Tanques de Estabilización. SAHOP. (15)

11.- Tratamiento de Agua Residual

Como se mencionó al principio de este trabajo, el objetivo del tratamiento de agua residual es la remoción de sustancias contaminantes a fin de evitar afectaciones en la calidad de los cuerpos receptores y adecuar la calidad del agua a los requerimientos de los usuarios. (13)

Desde el punto de vista de los contaminantes removidos en los tratamientos, estos se clasifican en primario, secundario y terciario. El tratamiento primario se utiliza para remover sólidos suspendidos, ajustar pH y romper emulsiones. El secundario remueve materia orgánica biodegradable, entre 80% y 95% y el terciario elimina sustancias orgánicas refractarias (detergentes, pesticidas, nutrientes), metales pesados y microorganismos patógenos. (19, 21)

Otra etapa del tratamiento la constituye el pre-tratamiento que se usa para uniformizar el influente de la planta, remover grasas y aceites y eliminar sólidos de tamaño muy grueso, tales como basura y material sedimentable mayor de 10 micras. También el tratamiento de lodos forma parte del tratamiento de agua residual y consiste en digerir o acondicionar los sólidos producidos en el pretratamiento y fases primaria, secundaria y terciaria. Finalmente, la última etapa del tratamiento de agua residual la constituye la disposición del agua y lodos tratados en el medio ambiente. (15)

11.1 Procesos de Pretratamiento

Se incluyen en el procedimiento de retención de basura

mediante rejillas, remoción de arenas y separación de grasas y aceites.

Las rejillas son utilizadas para remover material muy grueso, que puede dañar los equipos de proceso o inducir condiciones indeseables en la operación de los dispositivos de tratamiento. Se componen de barras espaciadas, con claros que van de 2 a 15 cms. Pueden ser limpiadas en forma manual o automática. (2)

Las cámaras desarenadoras evitan el paso de las partículas de arena que actúan como material abrasivo en las partes móviles del equipo de proceso. (15) Con este propósito se construyen los desarenadores, los cuales constan de un estanque de sedimentación, donde por control de la velocidad la materia orgánica, que es de menor gravedad específica, se sostiene en suspensión, mientras la materia mineral, por ser de mayor gravedad, se deposita en el fondo. (2) Las cámaras se diseñan para remover partículas de arenas no menores de 0.25 milímetros, con un peso específico de 2.65 (15)

La separación de grasa y aceite se logra utilizando tanques desnatadores que permiten remover de la superficie las grasas y aceites flotantes. En particular, en la industria petrolera se utilizan separadores de grasa denominadas API, en las cuales se aprovecha la diferencia en densidades entre el agua y el aceite para lograr la separación deseada. (19)

11.2 Procesos de Tratamiento Primario

El tratamiento primario es básicamente la separación de los sólidos suspendidos en todo lo posible, bien por su sedimentación o por su flotación, además de la remoción de los mismos en forma de lodos o espumas o natas para su destino final. Los tratamientos primarios de aguas residuales eliminan la mayor parte de materia sólida y rebajan moderadamente la D.B.O. Esto se consigue dejando que los sólidos se sedimenten y eliminando todas las espumas sobrenadantes. (2)

En el tratamiento primario intervienen los procesos de neutralización, coagulación, flotación, sedimentación y algunos otros como cribado fino y cloración. (4)

La neutralización tiene por objeto el ajuste del pH a valores que faciliten la consecución de los procesos o eviten daños a los microorganismos que intervienen en los procesos biológicos. (15)

La coagulación o desestabilización de partículas coloidales suspendidas, como tratamiento primario, tiene por objeto mejorar las eficiencias de remoción de los procesos de flotación y sedimentación. (4)

La flotación es utilizada para separar partículas sólidas o líquidas de una fase líquida, se induce inyectando gases, los cuales forman burbujas pequeñas que en su ascenso arrastran las partículas hasta la superficie en donde son removidas. Existen tres tipos de flotación, a presión atmos

férica, con gases presurizados y al vacío. Este proceso es más eficiente en la remoción de sólidos suspendidos, que el de sedimentación y puede eliminar el proceso de separación de grasas (API) con ventajas, así cuando la concentración de grasa influente es de 150 ppm o más se logran eficiencias de remoción entre 90 y 95%, pero si es de 25 ppm se reduce a -- 65-70% lo cual en este caso resulta desventajoso. (8, 15)

La sedimentación tiene por objeto la eliminación de sólidos suspendidos y es usualmente utilizada en todas las -- plantas de tratamiento con remociones de D.B.O. del orden -- del 30%. (15) El proceso de sedimentación depende de facto-- res como la gravedad específica de la materia, la viscosidad del líquido (que depende de la temperatura) y de las dimen-- siones superficiales y de la profundidad del estanque de se-- dimentación. En la Fig. 4 se aprecian datos indicativos de que: a) tanto más se sedimenta cuanto más se encuentra en el estado inicial y b) después de las primeras horas de sedimen-- tación el rendimiento es poco, de modo que no se justifican tanques mayores que aquellos que proporcionarían un período de retención de dos horas. (2)

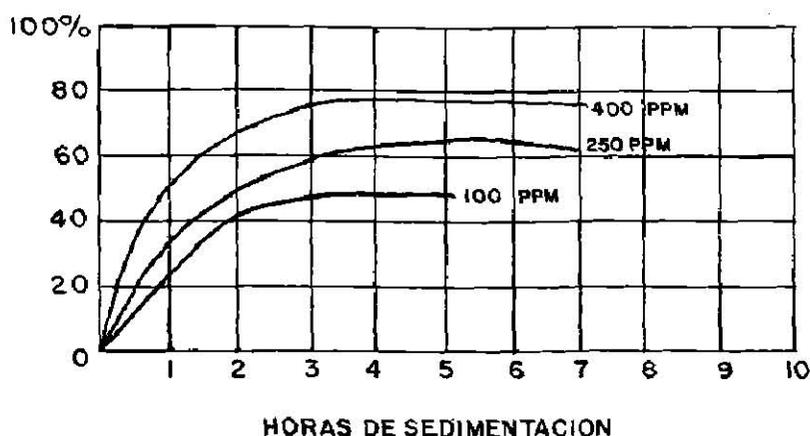


FIGURA 4.- Remoción de materia suspendida por sedimentación (FUENTE: Tratamiento de Aguas Negras y Desechos Industriales) George E. Barnes (2)

El cribado fino en ocasiones sustituye al proceso de sedimentación. Las aberturas de las rejillas son de tamaño menor o igual a 0.5 cms. para remover partículas flotantes - sedimentables.

La cloración en el tratamiento primario se utiliza para remover materia orgánica coloidal de influentes domésticos e industriales, así como organismos patógenos en efluentes domésticos diluidos. Las eficiencias de remoción de demanda bioquímica de oxígeno son del orden del 30%. (15)

El proceso de tratamiento primario consiste normalmente en una serie de pasos:

- 1.- Cribado. Los grandes objetos flotantes se suprimen haciendo pasar el agua residual a través de tamices. Algunas plantas emplean un mecanismo denominado desmenuzador que criba y muele los materiales. Las sustancias molidas o desmenuzadas quedan en el agua y serán retiradas más tarde en una cisterna de decantación.
- 2.- Eliminación de impurezas. Arena, tierra, cenizas y pequeños guijarros se dejan sedimentar en el fondo de una cámara de impurezas. Este es un proceso muy importante para ciudades con sistemas combinados de alcantarillados municipales y abiertos. Las impurezas obtenidas en el proceso se eliminan utilizandolas para relleno de tierras.
- 3.- Eliminación de sedimentos. Las aguas residuales, incluso después de suprimir las impurezas, aún contienen só-

lidos en suspensión. Estos sedimentarán si se reduce la corriente en los albañales, lo que se consigue en una cisterna de sedimentación apropiada. Los sólidos en suspensión van al fondo y la masa sólida, llamada fangos brutos, se recogen para su eliminación.

El tratamiento primario se completa cuando el efluente, del que se han eliminado impurezas y fangos, es tratado con gas cloro antes de descargarse en una corriente de agua. Este gas se añade para destruir bacterias patógenas. (17)

Todos los pasos del tratamiento primario están representados en la Fig. 5

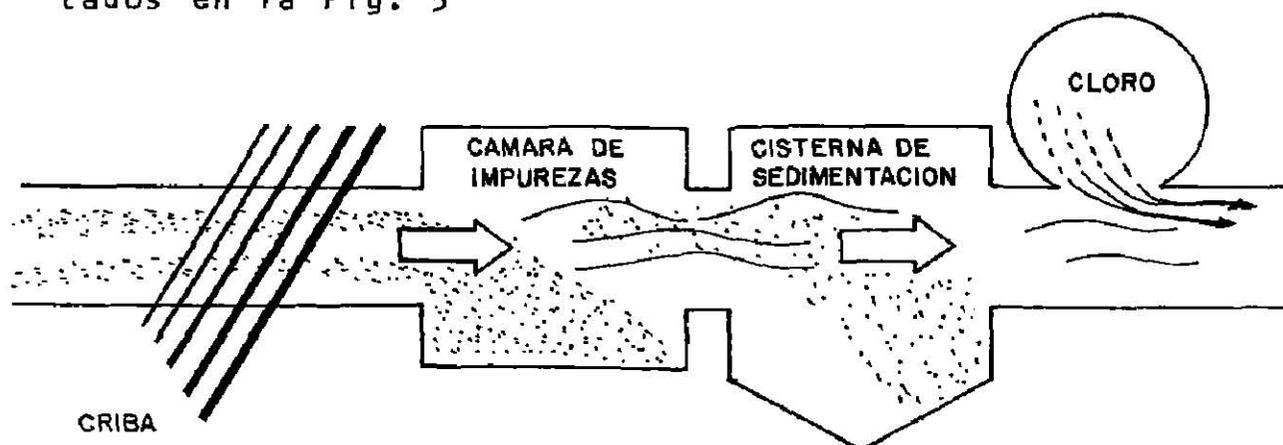


FIGURA 5.- Tratamiento Primario de Aguas Residuales.

FUENTE: Química Ambiental, Stocker. (17)

El tratamiento primario elimina aproximadamente el 30 a 35% de la D.B.O., el 60% de los sólidos en suspensión (en el que se incluyen el 20% del nitrógeno total y el 10% del fósforo total), pero ninguno de los minerales disueltos. Es obvio que en la actualidad, cuando las concentraciones de contaminantes se consideran en partes por millón, el simple tratamiento primario de las aguas residuales deba suplemen--

tarse con métodos adicionales. (18)

11.3 Procesos de Tratamiento Secundario

Se llama tratamiento secundario al proceso de purificación suplementario por medio de procesos biológicos, además de la clarificación posterior cuando ésta sea necesario, a que son sometidos los efluentes de un tratamiento primario. (2). En el transcurso del tratamiento secundario se emplean procesos biológicos para rebajar más la D.B.O. de las aguas residuales y eliminar las materias adicionales en suspensión. Los procesos empleados se aproximan a los de degradación natural. (15)

Es decir, se facilita el metabolismo de los microorganismos establecidos bajo condiciones propicias para su alimentación y crecimiento. Y por tanto, la remoción del material orgánico coloidal y disuelto contenido en el efluente del tratamiento primario. (7)

Dentro de los procesos de tratamiento secundario se encuentran los lodos activados, las lagunas de estabilización y algunos otros donde los microorganismos crecen en un medio que los soporta y no se encuentran suspendidos en el agua. (15)

11.3.1 Lodos activados

Los lodos activados están formados por flóculos pardos que consisten, principalmente, en materia orgánica procedente de las aguas negras, poblados por miríadas de bacte-

rias y otras formas de vida biológica. Estos lodos activados con sus organismos vivos, tienen la propiedad de absorber o de adsorber 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 sustancias más simples. Otras bacterias usan estos desechos y producen compuestos aún más simples, continuando así el proceso hasta que los productos finales de desecho no pueden ser usados ya como alimento por las bacterias. (5)

En este proceso el efluente de tratamientos primarios se mezcla con partículas floculantes denominados lodos activados, los cuales sostienen microorganismos, materia orgánica inerte y sustancias inorgánicas y provienen de un sedimentador secundario, las partículas absorben las sustancias orgánicas coloidales que son consumidas por las bacterias, estas a su vez son ingeridas por los protozoarios y así sucesivamente, hasta completar el ciclo alimenticio. (15)

El tipo de microorganismos que predominan en este proceso son los aerobios, por lo que se requiere suministrar oxígeno mediante aireación u oxigenación directa. Un sistema eficaz de fangos activados puede eliminar hasta el 90% de --

los sólidos en suspensión y de la D.B.O. (13)

En el proceso de los fangos activados, la velocidad de la acción bacteriana se va aumentando haciendo entrar en íntimo contacto aire y fango con bacterias, con el efluente del tratamiento primario. Lo esencial del proceso puede verse en la Fig. 6. Aguas residuales, aire y lodo activado, permanecen en contacto varias horas en la cisterna de aireación. Durante este tiempo los residuos orgánicos se degradan por la acción bacteriana. La reacción global en esencia, tiene lugar según la siguiente ecuación:

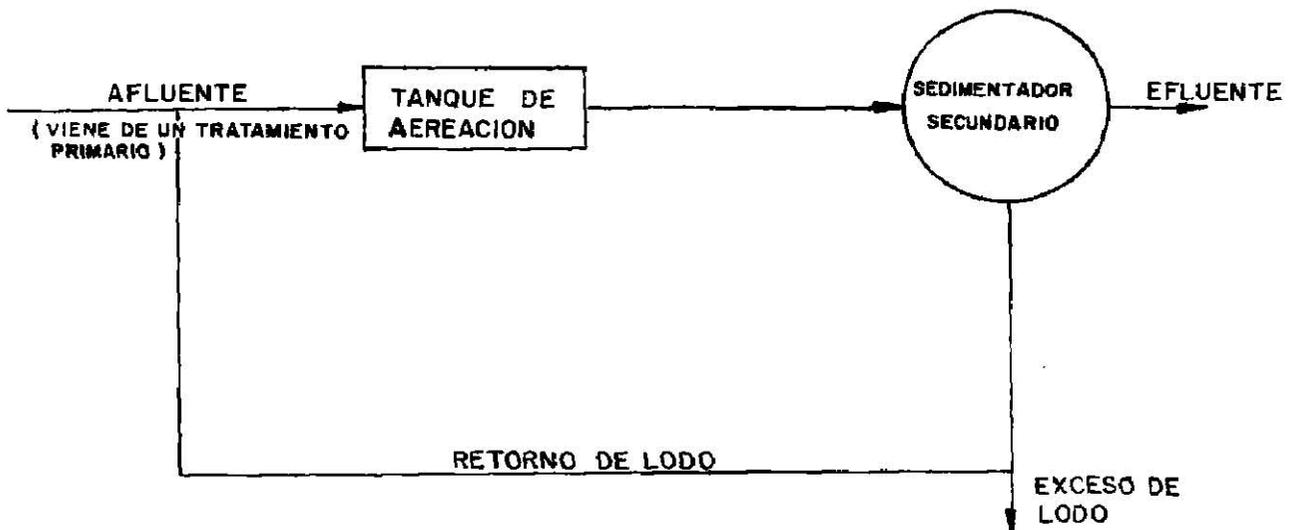
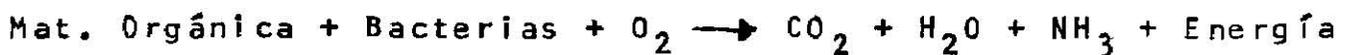


FIGURA 6.- Esquema Básico de una planta de lodos activados.

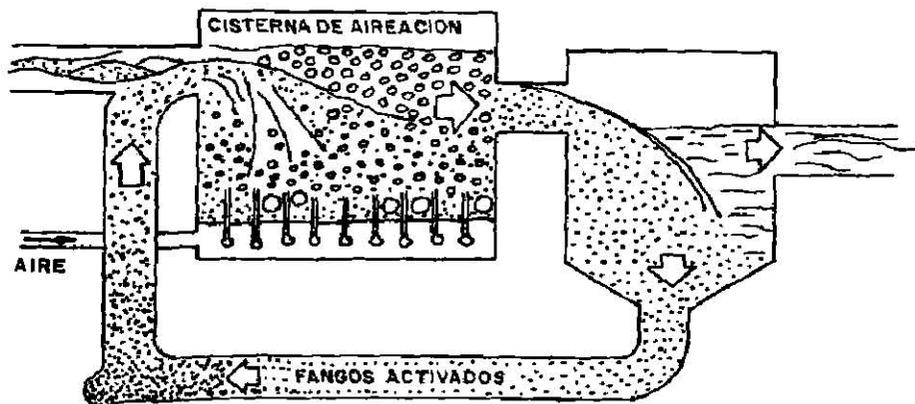


FIGURA 6.- Proceso de fangos activados.

Se ha introducido una mejora reciente en el proceso empleando oxígeno puro en vez de aire. Desde hace tiempo se sabe que pueden mantenerse mas bacterias en un espacio reducido bombeando menos aire si se emplea oxígeno puro.

Desde la unidad de aireación el efluente fluye hacia -- una cuba de sedimentación secundaria donde se recoge el fango biológicamente activado. Parte del mismo se emplea para sembrar la próxima carga de residuos procedentes de las cubas de sedimentación primarias. Este reciclaje del fango es esencial, sin el no habría suficiente actividad biológica en la unidad de aireación. El efluente que procede de la -- cuba de sedimentación secundaria puede verterse en las aguas naturales o ser enviado al tratamiento terciario.

La eficacia de los procesos de tratamiento primario y secundario se pone de manifiesto mediante los datos comparativos de la siguiente tabla.

TABLA No. 5

EFICACIA APROXIMADA DE LOS METODOS CONVENCIONALES DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES (BASADA EN CONCENTRACIONES BRUTAS DE RESIDUOS)

	EFICIENCIA DE ELIMINACION DEL TRATAMIENTO	
	Primario	Primario mas Secundario
Demanda bioquímica de oxígeno	35%	90%
Demanda química de oxígeno	30%	80%
Materia orgánica refractaria	20%	60%
Sólidos en suspensión	60%	90%
Nitrógeno total	20%	50%
Fósforo total	10%	30%
Minerales disueltos	--	5%

FUENTE: Química Ambiental: Contaminación del Aire y del Agua.

11.3.2. Lagunas de Estabilización

Las lagunas de estabilización son cuerpos de agua, excavados en tierra, poco profundas, que se diseñan con el propósito de tratar aguas residuales siguiendo procesos biológicos. Se les denomina también lagunas de oxidación. (19)

Las lagunas de estabilización han sido utilizadas con éxito para tratar aguas residuales de pequeñas comunidades; se clasifican en aerobias, facultativas, anaerobias, de maduración o terciarias y aereadas. (15)

Las aerobias tienen una profundidad menor que 1 metro, con objeto de permitir el paso de la energía solar que induce a la fotosíntesis y por tanto, se mantienen las condiciones adecuadas de oxígeno disuelto producido por las algas.

Las facultativas presentan profundidades entre 1 y 2.5 metros, de tal forma que en la zona mas profunda se mantienen condiciones anaerobias, en la zona media se tienen condiciones facultativas y en la superficie aerobias.

Las anaerobias son lagunas profundas que reciben altas cargas de materia orgánica y por tanto, mantienen condiciones de ausencia de oxígeno. (15, 19)

Las lagunas de maduración o pulimiento se utilizan para completar la remoción de contaminantes, principiada en otros procesos biológicos. En las lagunas aereadas el suministro de oxígeno se realiza mediante sistemas de difusión o aereadores mecánicos superficiales.

En la Tabla No. 6 se presentan las aplicaciones mas recomendables de las lagunas de estabilización o sistemas de las mismas. (15)

11.3.3 Procesos Adicionales Para Tratamiento Secundario

Dentro de estos procesos se tienen a los filtros rociadores, biodiscos, filtros anaerobicos, filtros sumergidos, lechos biológicos fluidizados y biofiltros activados. (15)

Un filtro rociador o goteador es un dispositivo que se pone en contacto con las aguas negras sedimentadas con cultivos biológicos. En los filtros rociadores el tratamiento se efectúa al hacer pasar el agua residual a través de tramos con un empaque contenido en una columna que sustenta los crecimientos bacterianos. En la Fig. 7 se puede observar un filtro goteador. (5)

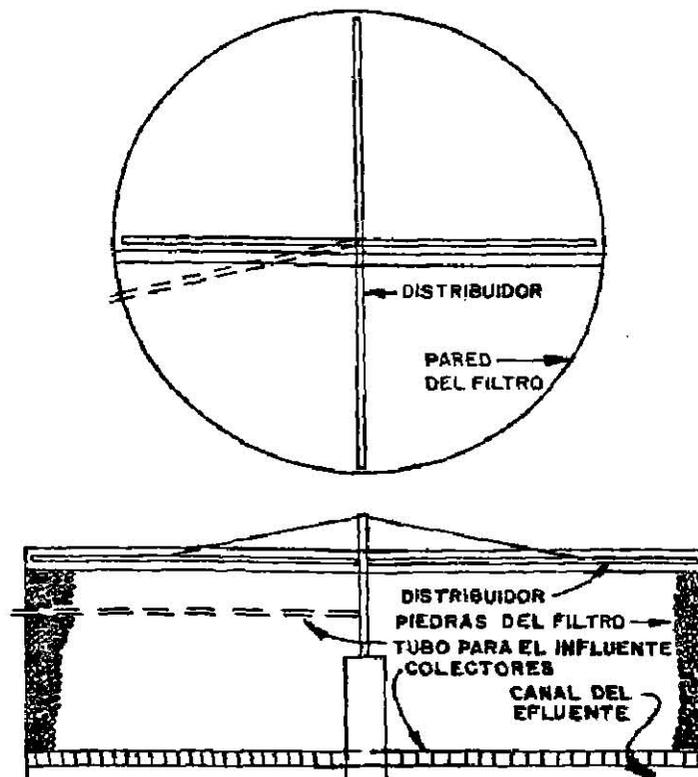


FIGURA 7.- Filtro goteador.

APLICACION DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION

Tipo de laguna o sistema	Aplicaciones
1.- Aeróbica	Remoción de nutrimentos, tratamientos de desechos orgánicos solubles, producción de biomasa (algas)
2.- Anaeróbica	Tratamiento de efluentes primarios y aguas residuales industriales.
3.- Facultativas	Tratamiento de Aguas residuales crudas y efluentes primarios Industriales.
4.- Aereada	Tratamiento de aguas residuales crudas y efluentes primarios e industriales.
5.- Anaerobicas mas facultativas converciculación de la anaeróbica a la facultativa	Tratamiento completo de aguas residuales domésticas e industriales.
6.- Anaeróbica mas facultativa mas aerobica con recirculación de aerobica a la anaeróbica.	Tratamiento completo de aguas residuales domésticas e industriales, con eficiencias altas de remoción de bacterias.

FUENTE: Manual para Tratamiento Primario y Tanques de Estabilización. SAHOP.

En los biodiscos el medio de crecimiento biológico son estructuras cilíndricas que rotan propiciando el contacto -- entre los microorganismos y el agua residual. (15)

Los biofiltros combinan el proceso de lodos activados -- con el proceso de contacto. En este proceso el agua resi- -- dual se combina con lodos de recirculación de la biocelda y con lodos provenientes del clarificador secundario. Es un -- proceso que incluye recirculación y una alta velocidad de -- aplicación a un filtro goteador de poco espesor. En este -- caso, la recirculación incluye el regresar parte del efluen- -- te del filtro o del tanque de sedimentación secundaria, al -- tanque de sedimentación primaria. Los lodos del tanque de -- sedimentación secundaria son generalmente muy ligeros y pue- -- den recircularse continuamente al tanque de sedimentación -- primaria, en donde se recolectan juntos los dos tipos de lo- -- dos y se bombean al digestor. Consúltese la Fig. 8 (5)

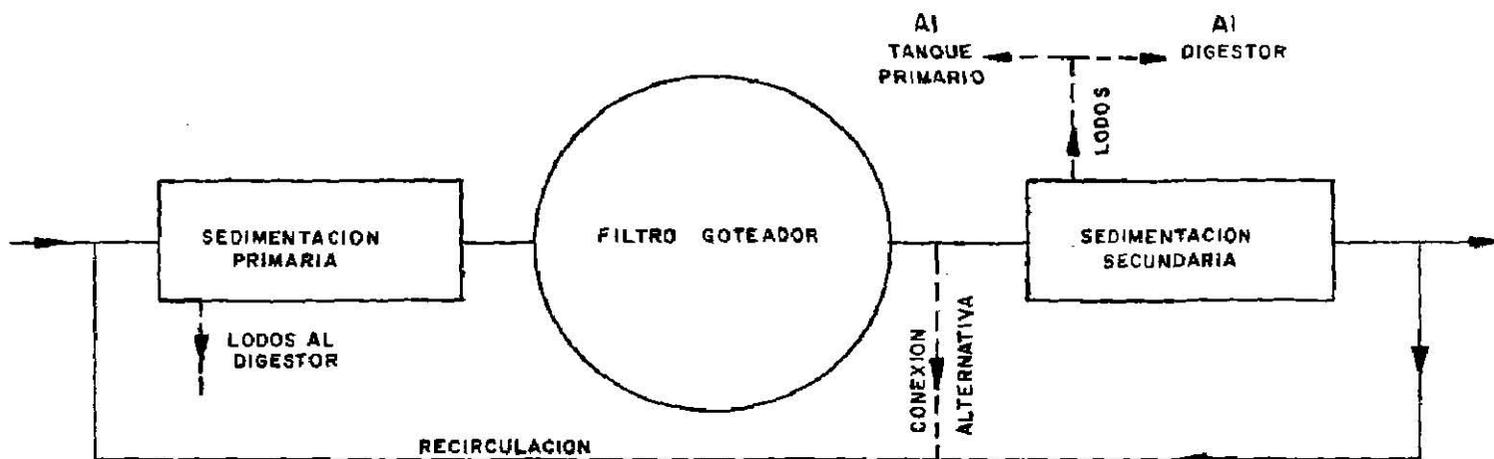


FIGURA 8.- Biofiltro

FUENTE: Manual de Tratamiento de Aguas Negras.
Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. (5)

Los filtros anaerobicos tienen como ventaja la producción de gases combustibles y alto grado de estabilización de la materia orgánica que es acompañada de cantidades pequeñas de sólidos. En este caso el empaque de la columna es similar al utilizado en los filtros rociadores, pero los tiempos de retención en ocasiones son superiores a los tres días. -- (15).

11.4 Procesos de Tratamiento Terciario.

Los procesos de tratamiento terciario o avanzado no son de uso general. Sin embargo, llegarán a emplearse mucho más en el futuro. Los tratamientos primario y secundario de las aguas residuales disminuyen la D.B.O. del agua y eliminan -- las bacterias nocivas. No obstante, no pueden eliminar con eficacia otros compuestos orgánicos e inorgánicos en disolución. Si el agua debe alcanzar las normas de calidad, tales contaminantes deberán ser eliminados. Ello requerirá de un tratamiento terciario. (17)

Los procesos más comunes son aereación, absorción con carbón activado, precipitación química, intercambio iónico, separación con membrana y desinfección.

La aereación se utiliza para remover bioxido de carbono, acido sulfhídrico y algunos compuestos productores de olor y se fundamenta en los fenómenos de transferencia de gases. -- (15)

La técnica más evolucionada para la eliminación de estos compuestos es la adsorción sobre carbón activado. La --

adsorción es utilizada para remover materia orgánica, color, detergentes, fenoles, pesticidas y metales pesados. La práctica más normal es hacer pasar el agua residual a través de recipientes llenos de este adsorbente. Hoy en día la mayor parte del carbón usado es en forma granular, pero se está -- investigando su empleo en forma de polvo. La forma pulverizada requiere de un menor tiempo de contacto, pero es más -- difícil de manejar. El carbón pierde gradualmente su capacidad de adsorción a medida que se acumulan en su superficie materiales orgánicos. (17) Además del carbón activado también existen otros metales absorbentes como la silica gel o arcillas como la kaolinita y mormoneolonita. (15)

La precipitación química sirve para remover sólidos -- disueltos o iones como los de calcio, magnesio, fósforo, etc. Para remover el material producido en la precipitación se -- recurre al proceso de sedimentación y en algunos casos al de filtración, este último tiene por objeto la separación de -- sólidos del agua, mediante el paso a través de un medio poroso. (15)

El intercambio iónico es utilizado para remover calcio, magnesio, fierro, manganeso y metales pesados. Se basa en -- acciones reversibles entre la resina y los iones.

La separación con membrana (electrodialisis) y osmosis inversa, se hacen pasan los iones a tramos de membranas -- aprovechando gradientes eléctricos o hidráulicos. (17)

La desinfección tiene por objeto la eliminación de microorganismos patógenos; en la cloración de efluentes secundarios se logra remover entre 95 y 98% del contenido de organismos coliformes, los cuales son más resistentes que los organismos patógenos. (15)

11.5 Procesos para tratamientos de Lodos

Entre estos se encuentran la digestión aeróbica y anaeróbica, la centrifugación, el espesamiento, la filtración al vacío y los lechos de secado. (5)

Los procesos de digestión conllevan a la estabilización de la materia orgánica y eliminación de microorganismos. (15)

Los demás procesos sirven para concentrar los sólidos, acondicionándolos para su disposición final. La disposición de efluentes y lodos generados debe efectuarse tomando en cuenta los efectos que se producirán en el medio ambiente representado por los recursos de agua, suelo y aire, es decir a menos que la capacidad de autopurificación de los cuerpos receptores lo permita, no se dispondrán efluentes líquidos o sólidos sin el tratamiento adecuado. (15)

Los efluentes líquidos crudos de pretratamiento, primario, secundario y terciario podrán ser dispuestos sobre aguas superficiales, suelos, inyectarse mediante pozos profundos al subsuelo y evaporarse para su incineración posterior. (5)

Los lodos generados en los tratamientos después de ser digeridos o acondicionados podrán ser incinerados, destinados a relleno sanitario o dispuestos sobre los océanos. (15)

11.6 Tratamiento de Aguas Negras para uso Agrícola

La reutilización de aguas residuales en agricultura es relativamente frecuente y por desgracia muchas veces incontrolada, llegándose a utilizar directamente aguas negras o con sólo un tratamiento primario. Las aguas residuales municipales y ciertas aguas industriales, como las de refrigeración, son en general aptas para el riego; debe cuidarse -- que la salinidad e índice RAS sean bajos y que las sustancias tóxicas no rebasen los límites admisibles para el cultivo en cuestión, en especial en lo que respecta al boro. -- El riego de cultivos arbóreos, granos para siembra, algodón, azúcar, pastos, etc. no reúne problemas especiales, pero -- existe el problema de contaminación bacteriológica de hortalizas y verduras; aquellos vegetales que se comen crudos deberían regarse con aguas esterilizadas y aquellos que se comen cocidos pueden regarse con aguas sin esterilizar hasta -- aproximadamente un mes antes de la cosecha. (3)

Ante el estudio, en apartados anteriores, de las propiedades físicas, químicas y biológicas, fácilmente se puede deducir, respecto a las características del suelo y obligaciones sanitarias, que las aguas residuales urbanas deben -- sufrir una serie de tratamientos previos antes de poder ser extendidas sobre la superficie de cultivo.

Estos tratamientos previos deberán orientarse a la eliminación de los componentes que se encuentren en exceso respecto a los límites que las autoridades sanitarias imponen en cada país, y que ciertamente, deberán ser eficaces en cuanto a los aspectos de mantenimiento del equilibrio ecológico presente en la zona de aplicación, eficacia nutritiva del efluente y respecto a las normas sanitarias que salvaguardan la salud de las comunidades humanas y animales que residen en la zona de aplicación. Estos tratamientos pueden comprender desde un simple desarenado (caso de algunos vertidos sobre suelos forestales), hasta un procesado completo del agua residual, con pulido final incluido, de forma que es fundamental conocer el destino que se les va a dar a los efluentes. (16)

En la Tabla No. 7 se pueden observar las diferentes características que deben presentar las aguas para poder ser utilizadas con fines agrícolas.

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

CLASE	USOS	(1) PH	(2) TEMPERATURA (°C)	(3) O.D. (mg/l)	(4) BACTERIAS COLIFORMES N.M.P. (ORGANISMOS/100ml)	(5) ACEITES Y GRASAS (mg/l)	(6) SOLIDOS DISUELTOS (mg/l)	(7) TURBIDIDAD (U.T.J.)	(8) COLOR (ESCALA PLATINO COBALTO)	(9) OLOR Y SABOR	(10) NUTRIENTES NITROGENO Y FOSFORO	(11) MATERIA FLOTAANTE TOXICAS	(12) SUSTANCIAS TOXICAS
DA	Abastecimiento para sistemas de agua potable e industria alimenticia con desinfección únicamente. Recreación (contacto primario) y libre para los usos DI, DII y DIII.	6.5 a 8.5	C.N. más 2.5 (a)	4.0	200 fecales (b)	0.76	No mayor de 1000	10	20	Ausentes	(c)	Ausente	(d)
DI	Abastecimiento de agua potable con tratamiento convencional (coagulación, sedimentación, filtración y desinfección) e industrial.	6.0 a 9.0	C.N. más 2.5 (a)	4.0	1000 fecales (e)	1.0	No mayor de 1000	C.N.	(f)	(g)	(c)	Ausente	(d)
DII	Agua adecuada para uso recreativo, conservación de flora, fauna y usos industriales	6.0 a 9.0	C.N. más 2.5 (a)	4.0	10000 coliformes totales como promedio mensual; ningún valor mayor de 20,000 (h)	Ausencia de pesticidas - visible.	No mayor de 2000	C.N.	C.N.	C.N.	(c)	Ausente	(d)
DIII	Agua para uso agrícola e industrial.	6.0 a 9.0	C.N. más 2.5 (a)	3.2	1000 (j) y libre para los demás cultivos.	Ausencia de pesticidas - visible.	(i)	C.N.	C.N. más 10	Ausente	(c)	Ausente	(d)
DIV	Agua para uso industrial (excepto procesamiento de alimentos).	5.0 a 9.5		3.2									(d)

U.T.J. = Unidades de turbiedad Jackson
 mg/l = Miligramos por litro
 °C = Grados centígrados

pH = Potencial hidrógeno
 O.D. = Oxígeno disuelto
 N.M.P. = Número más probable
 C.N. = Condiciones naturales

FUENTE: Legislación ambiental de México. SSA.

III.- Recarga de Acuíferos con aguas negras renovadas

III.1

Conforme la población de una región va creciendo, las necesidades de agua también van en aumento, hasta un punto donde la demanda iguala a la disponibilidad. A partir de ese momento, empiezan a aparecer problemas de escasez de agua. Existen diferentes soluciones al problema, las cuales deben ser consideradas a fin de optimizar el costo marginal.

Las soluciones a considerar son: Transferencia de cuencas, reducción en el consumo per cápita, aumento en la disponibilidad de recursos en la cuenca.

La transferencia de cuencas no es otra cosa que traer el agua de otras cuencas. En esta alternativa no hay problema cuando existe un sobrante de agua en la cuenca productora. Pero si no existe, entonces existen competencias en el uso.

La disminución del consumo per-cápita se refiere a reducir el consumo doméstico, industrial, etc. El consumo doméstico se reduce a través de aparatos reductores, método del "albañil", etc. El consumo industrial con aparatos, planeación de cascada, distritos de control.

El aumento de la disponibilidad de recursos en la cuenca se refiere a la inyección de aguas negras tratadas en acuíferos. (15)

III.2 Experiencias en Recarga de acuíferos

En la actualidad existe la tecnología necesaria para -- recargar las aguas residuales renovadas, en acuíferos, para una variedad de usos subsecuentes. Con un sistema adecuado, el agua recuperada puede ser hasta de calidad potable. Hay numerosos proyectos en operación, alrededor del mundo, con -- diversos grados de buen éxito.

En la Tabla No. 8 podemos observar los tratamientos - - aplicados a las aguas negras antes de ser recargadas a los - acuíferos, mientras que en la Tabla No. 9 podemos observar - las diferentes reutilizaciones que se les da al agua resi- - dual en California del sur. (15)

III.2.1 Métodos de Recarga

Hay tres métodos para lograr la transferencia del agua en el almacenamiento subterráneo (acuífero confinado o li- - bre).

- 1) Inyección Directa. Es el almacenamiento subterráneo por medio de pozos de inyección. Este método tiene la tasa - de aplicación más alta, ya que una gran cantidad de agua se inyecta a través de un conducto pequeño. (pozo)
- 2) Infiltración - Percolación. Mediante lagunas de almace- - namiento construidas sobre suelos altamente permeables. - Este sistema es considerado como tasa de aplicación media, ya que puede recargar una lámina de 5 a 50 mts. de agua - por año a través del fondo de las algunas de infiltración. Los suelos comunmente son depósitos naturales de arena y grava. La función primaria es la infiltración -percola- -

TRATAMIENTOS APLICADOS A LAS AGUAS NEGRAS ANTES DE SER RECARGADAS A LOS ACUIFEROS

LUGAR	PROCESOS DE TRATAMIENTO	METODO DE RECARGA	TIPO DE USO	CANTIDAD DE AGUA RECARGADA
San José CA.	SP, LA, C, F, CL	Percolación	Recarga de Acuífero	$17 \times 10^6 \text{ m}^3$
Whittier Harrow CA	SP, LA, C, F, CL	Percolación	Recarga de Acuífero	$9 \times 10^6 \text{ m}^3$
Water Factory 21 C. A.	SP, LA, C, F, RA, CA, OI, CL	Inyección directa	Contra intrusión salina, recarga de acuífero.	$6 \times 10^6 \text{ m}^3$
China Basín	SP, FP.	Percolación	Recarga de acuífero	$0.3 \times 10^6 \text{ m}^3$
Palo Alto	SP, LA, C, F, CL, Ozonación	Inyección directa	Contra intrusión salina	$0.2 \times 10^6 \text{ m}^3$
Tel Aviv	LO, C-Mg, L	Percolación	Recarga de Acuífero	$20 \times 10^6 \text{ m}^3$

- SP Sedimentación Primaria
- LA Lodos Activados
- C Clarificación
- F Filtración
- CL Cloración
- RA Remoción de Amoníaco
- CA Carbón Activado
- OI Osmosis Inversa
- FP Filtros Percoladores
- LO Lagunas de Oxidación
- C-Mg Tratamiento Cal-Magnesio
- L Lagunas de mejoramiento

FUENTE: Manual para Tratamiento Primario y Tanques de Estabilización. SAHOP. (15)

REUTILIZACION DE AGUAS RESIDUALES EN CALIFORNIA DEL SUR

LUGAR	CONDADO	CAUDAL REUTILIZADO 1/SEG. ACTUAL PREVISTO	TIPO DE AGUA RESIDUAL	TIPO DE TRATA- MIENTO	USO	INICIO DE LOS TRABAJOS
Santee	San Diego	175	D	S	Rc	1959
Whittier Narrows	Los Angeles	610	DI	S	Rg	1962
Pomona	Los Angeles	400	D	S	Rg	1926
S. José Creeck	Los Angeles	1750	DI	S	Rg	1971
Los Coyotes	Los Angeles	550	DI	S	SU	1969
Long Beach	Los Angeles	(500)	DI	S	I	1972
Hemet S. Jacinto	Riverside	110	D	S	Rg	1955
Orange	Orange	(660)	DI	T	B	1973
Sepúlveda	Los Angeles	(1750)	DI	S	Rc/Rg	1973
Glendale	Los Angeles	(880)	DI	S	Rc	1973
Hyperion	Los Angeles	--	DI	S	I/R	1980
Burbank	Los Angeles	260	DI	S	I	1966

D = aguas residuales domésticas exclusivamente I = usos industriales

DI = aguas residuales domésticas e industriales B = barrera de control intrusión marina

S = tratamiento secundario

T = tratamiento terciario

Rc = usos recreativos

Rg = recarga de acuíferos subterráneos

SU = sin utilización actual

I = Las cifras entre paréntesis son caudales previstos para plantas de inmediata entrada en funcionamiento.

ción del agua aplicada.

3) Irrigación. Este método involucra tasas de infiltración lentas a través de suelos de baja permeabilidad. Las tasas de recarga pueden variar desde casi cero a quizás de tres a cuatro metros de lámina de agua por año, a través del área superficial del suelo donde se aplica. Para obtener mejores resultados, las áreas de infiltración también pueden ser utilizadas para la obtención de cosechas.

En los tres métodos anteriores la calidad del agua residual renovada debe ser de calidad aceptable para el reuso que se intente, antes de que esta llegue al acuífero de las aguas subterráneas locales. Sin embargo, en los métodos 2) y 3), parte de la renovación en la calidad puede lograrse en el proceso mismo de infiltración - percolación. (15)

III.2.1.1 Inyección Directa

Con el método 1), de inyección directa, el agua negra debe ser pre-tratada hasta el grado de tratamiento terciario, esto es, ya estabilizada biológicamente, sin nitrógeno ni fósforo y por último, prefiltrada antes de ser inyectada. Esencialmente existen dos procedimientos básicos para obtener agua renovada de alta calidad para aplicar inyección directa. Ellos son:

A) Una serie de tratamiento convencional, mecánico, biológico, químico, a través de plantas para tratamiento primario, secundario y terciario seguidos de una filtración.

Este método es comunmente llamado "Tratamiento Avanzado", es de alta tecnología, bastante caro, difícil de mantener y operar. Generalmente no utiliza los contaminantes nutrientes del agua negra. En lugar de eso, se les separa del agua y posteriormente se les concentra en lodos, que deben ser transportados para ser dispuestos en rellenos sanitarios con o sin incineración. Sin embargo, este sistema de tratamiento avanzado no requiere mucho espacio, pero consume mucha energía.

B) El otro método de tratamiento que puede renovar y preparar las aguas negras para recargar los acuíferos, utiliza un proceso de tratamiento en suelo. Con éste método, los desechos primarios son utilizados para irrigar y fertilizar campos agrícolas. En este proceso el suelo y las plantas remueven los contaminantes (compuestos orgánicos, nitrógeno, fósforo, metales pesados, microorganismos, etc.) del agua, mientras esta percola lentamente a través de la zona de raíces.

El agua después puede ser recolectada a través de drenes subterráneos e inyectada mediante pozos para inyección en el acuífero. Este es un sistema que reusa el agua, recicla los contaminantes nutrientes del agua y la renueva para otro reuso, esto es para la recarga de acuíferos. (15)

III.2.1.2 Infiltración - Percolación

El método de infiltración - percolación se basa en el vertido, con gran carga, sobre un suelo, a través del cual -

se infiltra y se percola, siendo depurado el líquido durante su movimiento por el suelo y el subsuelo de una forma natural. (16)

Este utiliza una tasa media de infiltración - percolación, empleado mediante lagunas de infiltración, una parte del tratamiento puede ser obtenido en la laguna de infiltración. Sin embargo, antes de disponerse en ellas, es necesario usar un tratamiento primario convencional y quizás algún método para estabilización biológica. (Tratamiento secundario convencional). (15)

Las finalidades del sistema son, unas veces, la recarga de los niveles piezométricos, otras, el tratamiento natural de un vertido con recuperación parcial o total por bombeo o por drenes, y otras, en fin, el tratamiento natural de un vertido haciendo que se mueva a través del suelo y del subsuelo hasta su incorporación, por esta vía, a un curso normal de agua. (16)

Con un diseño y operación apropiadas, las lagunas de infiltración pueden, ellas mismas, remover alto del nitrógeno y otros contaminantes a través de actividades biológicas y de la filtración, mismas que se llevan a cabo cuando el agua percola a través del lecho de infiltración en su camino hacia el manto acuífero. (15)

Frecuentemente, sobre todo en zonas áridas, existen problemas de salinidad en las aguas subterráneas. El método de infiltración - percolación puede proteger o mejorar estas

aguas cuando el aporte es de mejor calidad que el agua existente, pues pueden existir intrusioniones de salinidad, y si el vertido invierte el gradiente hidráulico, la salinidad disminuye. (16)

En la Fig. 9 se puede observar este procedimiento

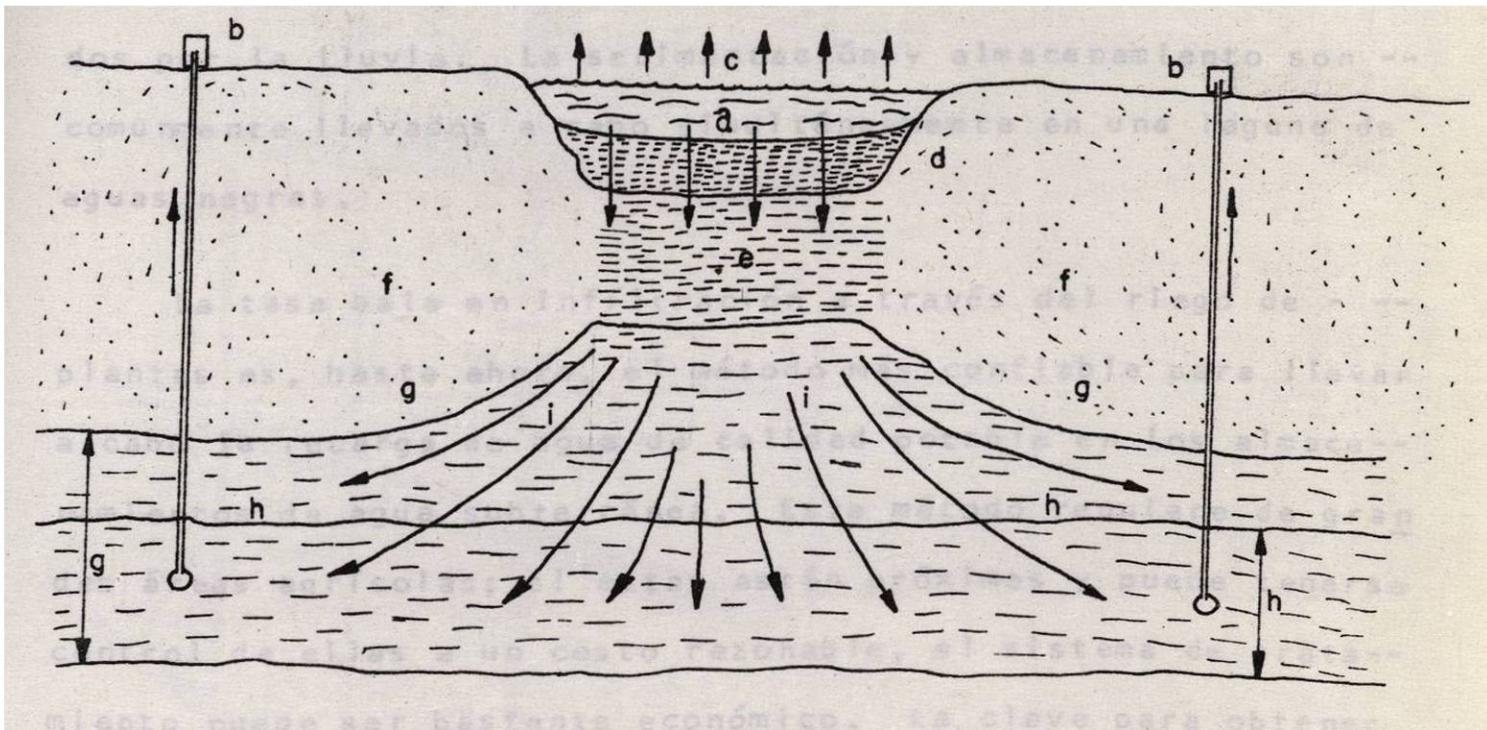


FIGURA 9.- Infiltración - Percolación

FUENTE: Aprovechamiento y Tratamientos Agrarios de las Aguas Residuales Urbanas. Seoanez Calvo, Mariano. (16)

- a. Laguna
- b.b. Bombas de extracción del agua depurada
- c. Evaporación
- d. Infiltración
- e. Percolación
- f.f. Zonas no saturadas
- g.g. Nivel actual de recarga
- h.h. Nivel piezométrico original
- i.i. Movimiento de penetración en el acuífero

111.2.1.3 Irrigación

Es de una tasa baja de infiltración a través del riego agrícola, requiere de un pretratamiento primario. Además, se debe proporcionar un almacenamiento, de tal modo que el agua sea aplicada al suelo únicamente cuando las plantas puedan utilizar el nitrógeno y otros nutrientes (contaminantes del agua) y solamente cuando los suelos no estén anegados por la lluvia. La sedimentación y almacenamiento son comúnmente llevados a cabo simultáneamente en una laguna de aguas negras.

La tasa baja en infiltración a través del riego de plantas es, hasta ahora, el método más confiable para llevar a cabo la recarga de agua de calidad potable en los almacenamientos de agua subterránea. Este método requiere de grandes áreas agrícolas; si estas están próximas y puede tenerse control de ellas a un costo razonable, el sistema de tratamiento puede ser bastante económico. La clave para obtener el grado de renovación y su confiabilidad, lo constituye la lenta tasa de infiltración, la baja permeabilidad del suelo filtrante y la acción adicional renovadora de la cosecha. La clave de la economía de este sistema es su sencillez, el bajo grado de mecanización requerida y el ingreso económico generado por las cosechas. (15)

En la Fig. 10 se puede apreciar la aplicación de este método.

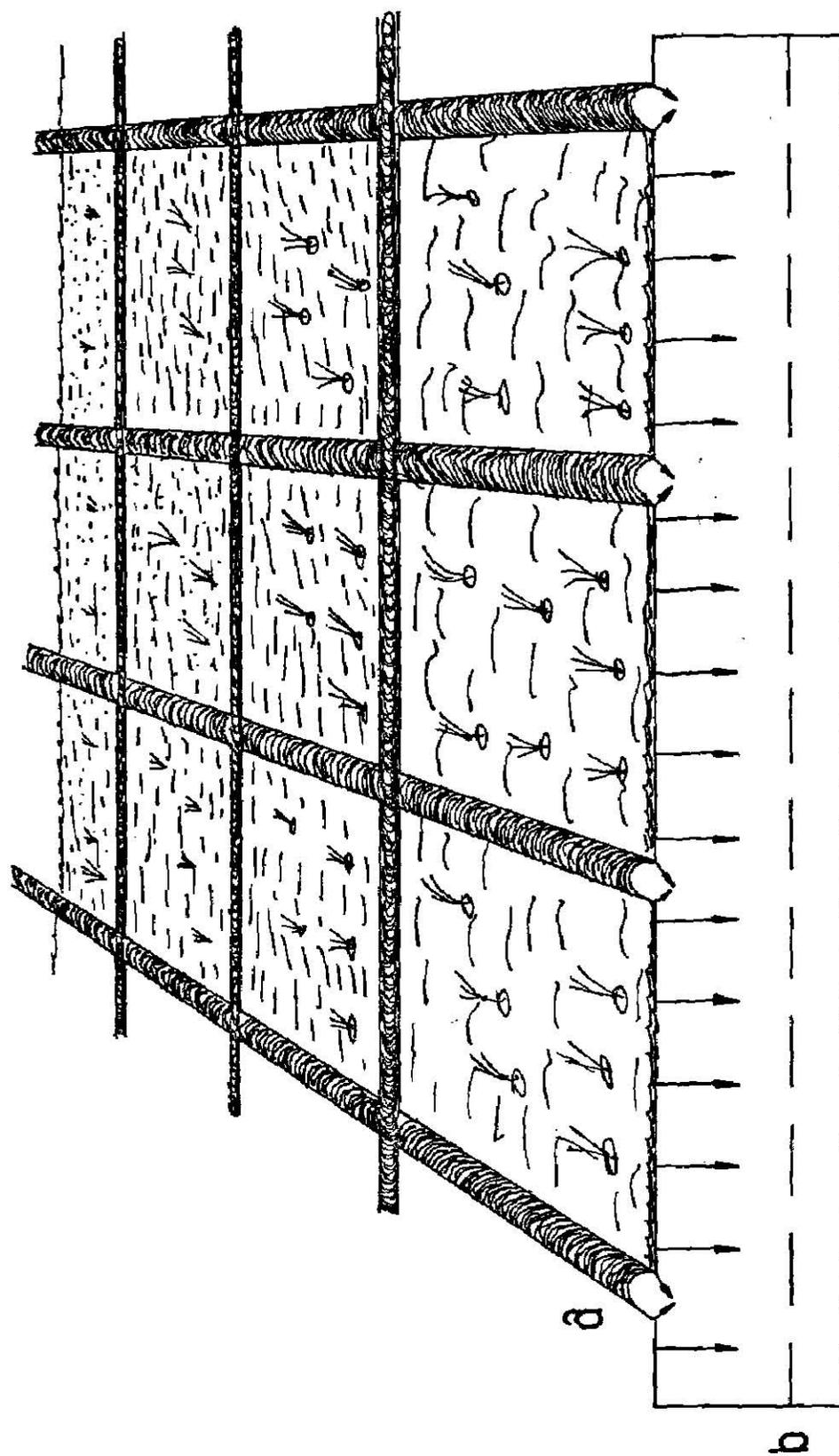


FIGURA 10.- Riego por encharcamiento

FUENTE: Aprovechamiento y Tratamientos Agrarios de las Aguas Residuales Urbanas. Seoanez Calvo, Mariano. (16)

- a) Caballones
- b) Nivel de percolación

III.3 Proyectos de Aplicación a Través del Suelo

Existen proyectos de recarga de acuíferos en diferentes partes del mundo. En el estado de California existen cinco de ellos, los cuales están recargando aproximadamente 32×10^6 mts.³ anuales (1,015 l.p.s.) De estos proyectos, tres son usados para recargar los acuíferos que se usan como fuente de agua potable y dos son para prevenir la intrusión salina de los acuíferos. En el futuro existirán otros proyectos, los cuales introducirán 320×10^6 m³/año (10,150 l.p.s.) de agua en acuíferos que se usarán como fuente de agua potable. En Israel está el proyecto Dan, el cual usa las aguas negras provenientes de Tel Avis, las cuales reciben un tratamiento terciario, para después recargarlas al acuífero, donde son diluidas y bombeadas a la red nacional de agua potable. Este acuífero será usado con este fin hasta que solamente contenga agua negra tratada, de allí en adelante se usará con fines agrícolas. En Alemania las aguas contaminadas del río Rhin son percoladas a través del subalveo, para luego ser tratadas y utilizadas para uso doméstico. (15)

III.4 Beneficios

Se considera que los beneficios que se obtienen al recargar los acuíferos con aguas negras son:

1. Disminuyen los problemas de sobreexplotación, hundimiento del suelo e intrusión de aguas salobres.
2. Resuelve problemas de cantidad de agua.

3. Proporciona tratamiento adicional al agua negra tratada.
4. Reduce costos de almacenamiento y transmisión del agua -- recargada.
5. Protege el agua de contaminaciones.

III.5 Problemas

La principal preocupación es que el agua puede contener trazas de compuestos orgánicos que pueden causar problemas en la salud humana a largo plazo. Existen cuatro factores de calidad de agua que son de particular importancia en situaciones en donde se recargan acuíferos con aguas negras, estos son:

1. Calidad Microbiológica
2. Contenido Mineral Total
3. Minerales Tóxicos, son metales pesados.
4. Sustancias Orgánicas Estables. (15)

III.6 Remociones de Contaminantes por el Suelo.

Los cambios o acciones que se llevan a cabo, cuando el agua negra tratada se usa para recargar acuíferos son los siguientes:

1. Biodegradación
2. Oxidación y Reducción Química
3. Absorción e Intercambio Iónico
4. Filtración
5. Precipitación Química o Dilución
6. Volatilización o Reacciones Fotoquímicas.

Las anteriores acciones son como a continuación se describe:

Al empezar el agua a moverse a través del suelo, las partículas en suspensión, tales como los microorganismos, así como los materiales orgánicos, son retenidos en el suelo por filtración. En el caso de los virus, el método de eliminación es por efectos antagónicos de la población bacteriana nativa. Los virus más pequeños son removidos por adsorción en arcillas, materia orgánica y otros materiales del suelo con carga negativa. Ya que los virus consisten de una parte central nucléica con una cubierta de proteína, su conducta físico-química es similar a la de las proteínas. Su punto isoeléctrico normalmente es a un pH de 5. A un pH arriba de 5, tienen carga negativa. Cuando los virus tienen carga positiva, son adsorbidos como cationes en arcilla y materia orgánica. Cuando son de carga negativa, la adsorción es menor y como en la adsorción aniónica, esto ocurre como atrapamientos en cationes adsorbidos en una capa doble, por medio de puentes de cationes, y otros mecanismos, tales como las fuerzas de Vander-Waals. (15)

CONCLUSIONES

La recarga de acuíferos con aguas negras tratadas es -- una técnica económica para lograr mejoras en calidad, alma-- cenamiento y transporte del agua.

La recarga de acuíferos para uso agrícola es casi acep-- tada universalmente como un método seguro y barato. Sin em-- bargo, hay una gran diferencia de opiniones sobre si y bajo que condiciones, el reuso intencional para propósitos pota-- bles debe ser permitido.

Los que están a favor de la recarga de acuíferos para -- agua potable se basan en la alta calidad del agua negra que se obtiene, la cual satisface las normas de calidad de agua, y también en el tratamiento adicional que recibe el agua a -- través del suelo. Los que están en contra, defienden que -- aún existen riesgos no cuantificados en efectos crónicos en la salud por trazas de contaminantes.

La recarga de acuíferos debe ser incorporada, donde sea factible en los esquemas de reuso del agua, debido a sus -- múltiples beneficios. La ventaja de la recarga de los acuí-- feros por el método de distribución superficial, es que los mantos acuíferos usados como fuentes de agua, pueden ser re-- cargados en las vecindades de las áreas metropolitanas y -- agrícolas donde la sobreexplotación es más severa, con los -- beneficios adicionales de la filtración y las obras de con-- ducción de acuíferos. Por razones económicas y físicas, la

recarga de aguas negras requiere de una recarga intensiva en áreas relativamente pequeñas.

La recarga de acuíferos logra un número de beneficios en la calidad del agua, los cuales son importantes para el reuso con fines potables. Los contaminantes orgánicos e inorgánicos y los patógenos se remueven durante la percolación hacia la zona acuífera.

Es indiscutible que la mejora resultante en calidad generalmente reduce los riesgos de salud por el reuso con fines potables. Todo esto significa que el agua negra de recarga no necesita cumplir con las normas de calidad de agua potable.

Los datos muestran que la filtración en el suelo es un tratamiento muy efectivo, para ciertos compuestos. Los metales pesados pueden ser removidos por precipitación. Aún de que existan condiciones anaeróbicas existen los procesos de oxidación biológica, si acaso hay concentraciones de nitratos en el agua. Parece ser que no es favorable la desnitrificación completa en el tratamiento terciario cuando se va a usar percolación, más aún, la nitrificación del agua puede ser importante para evitar una demanda fuerte de oxígeno por el amoníaco en el suelo.

Los compuestos orgánicos de cloro son difíciles de remover en el suelo, si la concentración de cloro es alta. Por lo que la cloración del agua negra antes de la recarga parece no ser un proceso de tratamiento favorable, si la inten-

ción es lograr desinfectar o remover los virus antes de la percolación se debe usar ozonación para este propósito. -- Este tratamiento, además, induce mejores remociones de compuestos orgánicos. La filtración en el suelo puede ser muy valiosa como un proceso para el reuso del agua, sin embargo, hay algunas limitaciones, ya que es un método de tratamiento predominantemente biológico el cual requiere grandes tiempos de residencia. Por lo que se debe utilizar otros procesos de tratamientos antes y/o después de la recarga.

En estos artículos se recomienda la necesidad de llegar hasta un tratamiento terciario, antes de recargar las aguas negras, aunque algunos consideran que el suelo puede ser -- considerado como un tratamiento terciario, tal como se puede observar en la Tabla No. 10. El único problema que existe -- en usar el suelo como tratamiento terciario, es que hay ciertos procesos que a través del tiempo se saturan, por lo que dicho proceso funcionaría en un tiempo limitado, si acaso se opera en forma continua.

El buen desempeño de un programa de recarga con aguas -- negras depende grandemente de el cumplimiento de tres condiciones básicas.

1. La calidad del agua negra tratada debe ser compatible con la capacidad purificadora del suelo, de tal manera que no existirá contaminación del acuífero.
2. Se debe llevar a cabo un monitoreo del acuífero en la zona de recarga para seguir el movimiento del agua negra -- tratada, así como los cambios de calidad físicos, quími--

TABLA No. 10

COMPARACIONES DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO TERCIARIO CON LOS PROCESOS DEL SUELO

<p>PROCESOS DE TRATAMIENTO TERCIARIO REQUERIDOS PARA EL AGUA NEGRA</p>	<p>PROCESOS DE TRATAMIENTO QUE SE APLICAN CUANDO EL AGUA PASA A TRAVES DEL SUELO</p>
<p>1.- Oxidación 2.- Filtración 3.- Desinfección 4.- Clarificación 5.- Intercambio iónico 6.- Adsorción con carbón activado 7.- Osmosis inversa 8.- Remoción de amoníaco 9.- Nitrificación 10.- Coagulación</p>	<p>1.- Oxidación 2.- Filtración 3.- Desinfección (Remoción de bacterias y virus) 4.- Precipitación 5.- Intercambio iónico 6.- Adsorción 7.- Remoción de amoníaco 8.- Nitrificación 9.- Clarificación 10.- Reducción 11.- Biodegradación 12.- Adsorción</p>

FUENTE: Manual Para Tratamiento Primario y Tanques de Estabilización. SAHOP.

cos y biológicos del agua de recarga.

3. Las lagunas de recarga deben ser rodeadas por un número suficiente de pozos de producción, los cuales bombearán el agua a los usos compatibles con la calidad. (15)

Finalmente, en la FIG. 11 podemos observar claramente con la finalidad de comprender mejor, la dinámica del movimiento de aguas negras.

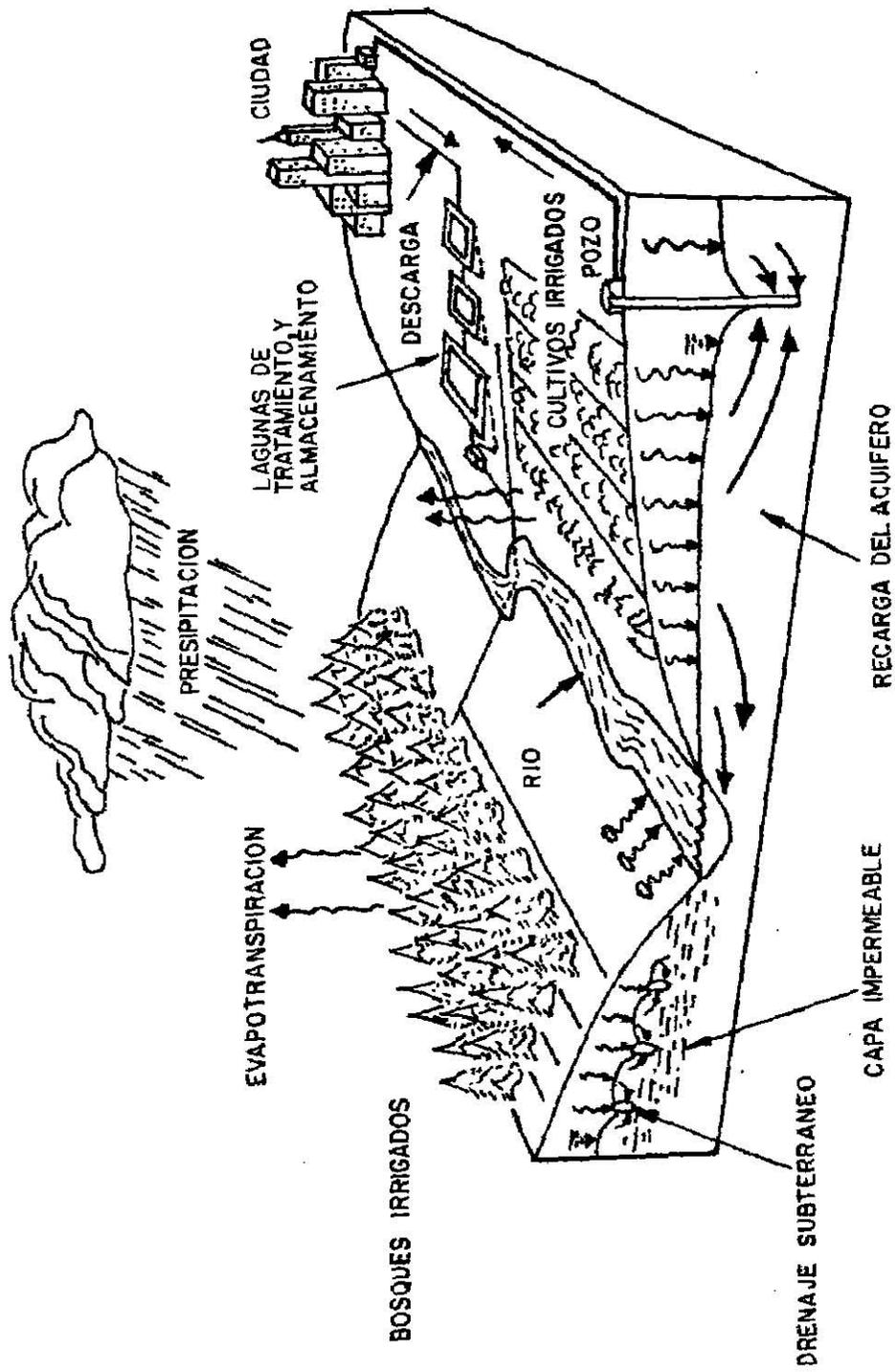


FIGURA 11.- Dinámica del Movimiento de Aguas Negras.

FUENTE: Manual de Tratamiento Primario y Tanques de Estabilización.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Babbitt, Harold E. y Baumann, E. Robert. 1980. Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Negras. C.E.C.S.A. México, D. F. 386, 412 p.
- 2.- Barnes, George E. 1967. Tratamiento de Aguas Negras. - Manuales UTEHA número 337/Doble, Sección 6 Tecnología. México, D. F. 25, 26, 35, 48-50 p.
- 3.- Custodio, Emilio y Llamas, Manuel R. 1976. Hidrología Subterránea. 1a. Ed. Tomo II. Ed. Omega. Barcelona, España. 2208, 2214, 2218 p.
- 4.- Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. 1979 Manual de Tratamiento de Aguas. LIMUSA. México, D. F. 87, 91 p
- 5.- Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. 1980 Manual de Tratamiento de Aguas Negras. LIMUSA. -- México, D. F. 47, 60, 75, 78 p.
- 6.- Fair, Gordon Maskew et al. 1979. Abastecimiento de -- Aguas y Remoción de Aguas Residuales. Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales 1. LIMUSA. México, D. F. 23, 24 p.

- 7.- Fair, Gordon Maskew et al. 1979. Purificación de --
Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales.
Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales 2. --
LIMUSA. México, D. F. 27, 29 p.
- 8.- Gomella, C. y Guerre, H. 1977. Tratamiento de Aguas --
para Abastecimiento Público. Editores Técnicos --
Asociados, S. A. Barcelona, España. 27 p.
- 9.- Hardenbergh, W. A. y Rodie, Edward B. 1981. Ingenie--
ría Sanitaria. C.E.C.S.A. México. 365, 367 p.
- 10.- Nordel, Eskel. 1981. Tratamiento de Agua para la In--
dustria y otros usos. C.E.C.S.A. México. 385 p.
- 11.- O. S. P. (Oficina Sanitaria Panamericana). 1972. Tra--
tamiento de los Residuos Líquidos, Domésticos e --
Industriales. Fac. de Ing. Civil, Escuela de Gra--
duados U. A. N. L. Monterrey, México. 5-10 p.
- 12.- Powell, Sheppard T. 1974. Acondicionamiento de Aguas --
para la Industria. LIMUSA. México, D. F. 28, 29 p.
- 13.- Rivas Mijares, Gustavo. 1967. Tratamientos del Agua --
Residual. Biblioteca de la Academia de Ciencias --
Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela. Ve--
nezuela. 127 p.

- 14.- Rodier, J. 1981. Analisis de las Aguas; aguas naturales, aguas residuales y agua de mar. Ed. Omega, S. A. Barcelona. 501 p
- 15.- S.A.H.O.P. 1981 Manual para Tratamiento Primario y Tanques de Estabilización. SAHOP. Monterrey, México.
- 16.- Seoanez Calvo, Mariano. 1978. Aprovechamiento y Tratamientos agrarios de las aguas residuales urbanas. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid, España. 42, 89 p.
- 17.- Stocker, H: Stephen y Seager, Spencer L. 1981. Química Ambiental: Contaminación del Aire y del Agua. Editorial Blume, S. A. Barcelona, España. 302 - 309 p.
- 18.- Verrey, Jack M. 1968. Agua: su calidad y tratamiento. Ed. UTEHA. México, D. F. 402 p.
- 19.- Vidales Albárran, Humberto. 1979. Plantas de Tratamiento de Aguas Negras. Normas de proyectos para diseño. SAHOP. México. 8-11, 23, 26, 29, 30, 38 p.
- 20.- Wolfgang, Purschell. 1976. La calidad del agua y su tratamiento. Tratado general del agua y su distribu-

ción, Tomo 3. URM0, S. A. de Ediciones. España.
12-14 p.

- 21.- Wolfgang, Purschell. 1976. El tratamiento de las --
aguas residuales domésticas. (Técnicas de depura--
ción). Tratado General del Agua y su Distrib
Tomo 6. URM0, S. A. de Ediciones. España. 15, -
16, 26, 32 p.

