

500040

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

SECCION DE INGENIERIA AMBIENTAL

ANALISIS DE REMOCION DE CONTAMINANTES EN EL AGUA

Trabajo presentado para obtener

el grado de maestría por:

Ma del Rosario Iturbe Argüelles

MAESTRÍA EN INGENIERÍA (SANITARIA)

Octubre de 1981

D.F.
65525

Dig. Iturbe



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



DEPA

T. UNAM
1981
ITU

- 7.4.1 Procesos ambientales
 - 7.4.1.1 Procesos físicoquímicos
 - 7.4.1.2 Procesos de transporte
 - 7.4.1.3 Procesos biológicos
- 7.4.2 Características físicas y químicas de los contaminantes
- 7.4.3 Relación entre los procesos ambientales y los contaminantes
- 7.4.4 Comportamiento de los contaminantes ante los procesos ambientales
- 7.5 *Sistema de Prevención*
 - 7.5.1 Operaciones unitarias
 - 7.5.2 Comportamiento de los contaminantes en las operaciones unitarias
 - 7.5.3 Operaciones unitarias en los sistemas de tratamiento
 - 7.5.4 Alternativas de tratamiento

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

1. INTRODUCCION

La contaminación del agua es un problema que se vuelve más -- complejo a medida que las poblaciones y las industrias aumentan.

Actualmente no puede hablarse, en las grandes zonas urbanas, -- de aguas residuales de tipo doméstico debido a la gran cantidad de contaminantes de origen industrial que existe en ---- ellas. En el D.F., por ejemplo, la producción industrial representa el 50 por ciento del total de la producción nacio--- nal.

Por otra parte los cuerpos naturales de agua y las corrientes subterráneas, que son generalmente las fuentes de abasteci--- miento de agua potable de las poblaciones, contienen, en mu--- chos casos diversos tipos de contaminantes debido a distintos

mecanismos de transporte como lluvia, desmineralización de --
los yacimientos, infiltración de aguas residuales hacia los -
mantos acuíferos, etc.

Como resultado de lo anterior el hombre y el medio ambiente -
se ven afectados y es el papel del ingeniero ambiental encon-
trar las soluciones tendientes a que esta afectación sea míni
ma o nula.

Para lograr la mínima afectación es necesario el conocimiento
de los siguientes puntos:

- fuentes de contaminación
- mecanismos de transporte de los contaminantes
- características físico-químicas-biológicas (FQB) de los-
contaminantes
- mecanismos naturales de remoción de contaminantes

Con el conocimiento de los puntos anteriores es posible desa-
rrollar la tecnología más adecuada para mejorar la calidad --
del agua.

En este trabajo se describen los subsistemas que forman el --
sistema de contaminación del agua y se presenta un análisis -
que permite establecer el comportamiento de diversos contami-

nantes tanto orgánicos como inorgánicos bajo distintas condiciones ambientales y se evalúa el potencial que las operaciones unitarias tienen para removerlos o transformarlas a partir de su semejanza con los procesos naturales de remoción.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las fuentes naturales de abastecimiento de agua potable pueden contener diversos tipos de contaminantes dependiendo de las condiciones físicas químicas y biológicas (FQB) de las fuentes.

De acuerdo con la calidad del agua de la fuente esta recibirá un tratamiento antes de llegar al usuario que puede ser doméstico o industrial y de aquí, pasa al sistema de drenaje y/o a un sistema de tratamiento cuya finalidad es renovar el agua para que sea nuevamente utilizada en diversas actividades como riego, industria, agricultura, etc.

Las aguas del sistema de drenaje y las renovadas en algunos casos, se vierten en algún cuerpo receptor pasando a formar parte nuevamente del sistema hidrológico.

" ojo"
actualmente es posible
remover cualquier sustancia
del agua el unico inconveniente
es el costo del tratamiento.

En cada uno de estos ciclos se incorporan contaminantes que -
"ni la naturaleza ni la tecnología existente pueden remover," -
aunque debe señalarse la capacidad de autopurificación en los
diversos sistemas que disminuyen la concentración de diversos
contaminantes mediante procesos naturales.

De lo anterior se desprende la necesidad de conocer el compor-
tamiento de los contaminantes ante esta posibilidad de remo-
ción natural así como de determinar la tecnología adecuada pa-
ra hacer seguras las aguas que se usan en función de su capa-
cidad de remoción de contaminantes a través de las operacio-
nes unitarias.

En la fig 1 se muestra el ciclo hidrológico como un ciclo de reuso.

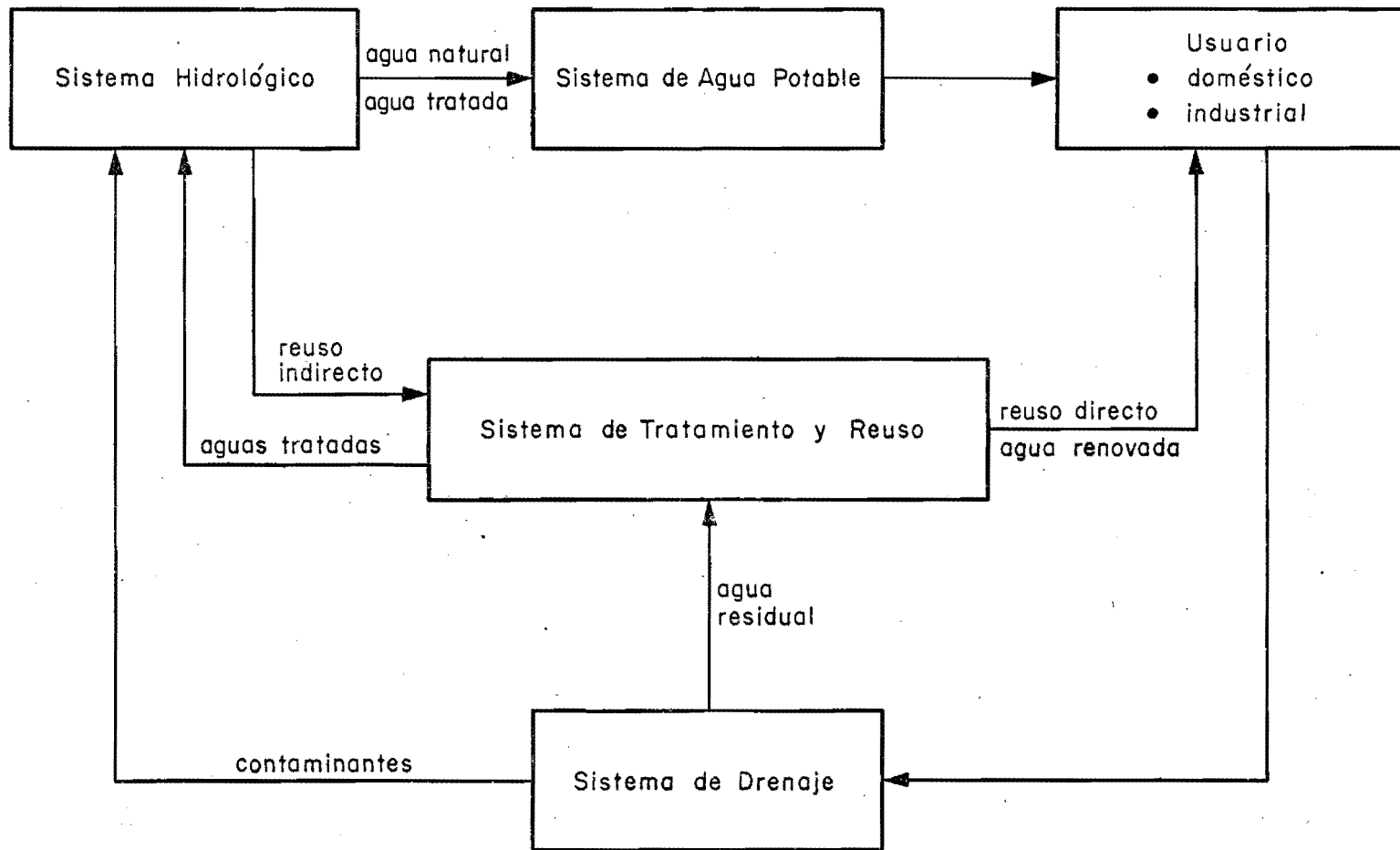


Fig 1. El ciclo hidrológico como un ciclo de reuso

3. OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo son los siguientes:

1. Señalar las diversas fuentes contaminantes
2. Determinar los contaminantes más importantes tanto por su nocividad al hombre y al medio ambiente como por su frecuencia de registro.
3. Determinar el comportamiento de los contaminantes en el medio ambiente.
4. Determinar las operaciones unitarias que mejor remuevan a los contaminantes a partir de su similitud con los procesos naturales de remoción.

5. Señalar procesos complementarios a los sistemas de tratamiento de lodos activados que aumentan la eficiencia de remoción de contaminantes.

4. ALCANCES

- 1) A partir de la revisión bibliográfica realizada determinar las fuentes contaminantes.
- 2) Establecer la lista de contaminantes prioritarios por su frecuencia de registro y por su nocividad de acuerdo con la bibliografía revisada así como de monitoreos realizados en el D.F.
- 3) A partir de las propiedades FQB de los contaminantes determinar su comportamiento en el medio ambiente.
- 4) Con base en la similitud entre los procesos que de manera natural remueven a los contaminantes y las operaciones unitarias, determinar los procesos de tratamiento -- más adecuados.

5. METODOLOGIA

Para cumplir con los objetivos señalados se sigue la siguiente metodología

Se considera la contaminación del agua como un sistema que -- consta a su vez de cinco subsistemas: contaminante, transporte, afectado, prevención y protección (fig 2).

Impacto

El sistema contaminante es el que produce al material contaminante. En este sistema es necesario determinar las fuentes de contaminación que pueden ser municipales, industriales y naturales.

El sistema de transporte es el que se encarga de trasladar al material contaminante a lo largo de su recorrido. Este sistema está formado por los diversos cuerpos de agua naturales --

así como por el sistema de drenaje.

El sistema afectado por uso y reuso del agua es el que sufre las consecuencias de la contaminación. De este sistema se obtiene información acerca del uso que se da al agua, problemas sobre su calidad, así como efectos y riesgos específicos en la salud humana así como en el medio ambiente.

El sistema de prevención debe localizarse entre el sistema -- contaminante y el de transporte para evitar que el material - contaminante sea transportado hasta el hombre o medio ambiente.

El sistema de protección evita que la contaminación sobrepase un límite prefijado cuando ha llegado al sistema afectado. - Por esta razón se ubica entre el sistema de transporte y el - afectado.

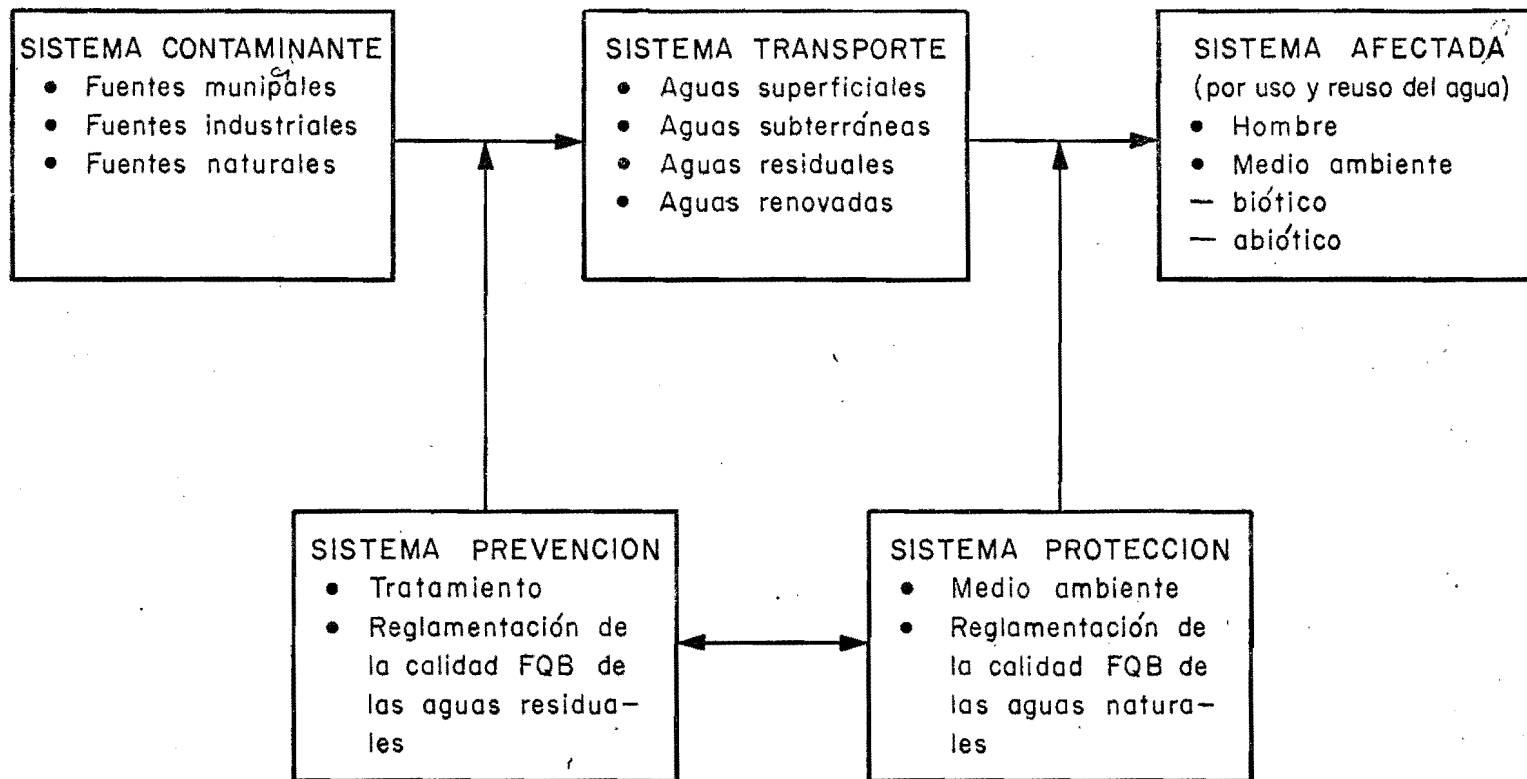


Fig 2. Metodología

6. HIPOTESIS DE TRABAJO

Dentro de la metodología señalada se consideraron las siguientes hipótesis

- Es posible predecir el comportamiento de un contaminante en el medio ambiente a través de los sistemas de tratamiento, al conocer sus propiedades físicas, químicas y biológicas.
- Existe una autopurificación natural en los diversos sistemas acuáticos debido a los procesos ambientales.
- Algunas operaciones unitarias ejercen mayor influencia que otras en la remoción y transformación de los contaminantes debido a la relación que dichas operaciones guar-

dan con los procesos ambientales.

Se entiende por remoción la reducción de concentración del --
contaminante debido a su entrada a una operación unitaria o a
un sistema de tratamiento.

7. DESARROLLO DEL TRABAJO

En este capítulo se describe cada uno de los sistemas que ---
constituyen el sistema de contaminación del agua.

Se hace especial énfasis en los sistemas de protección y prevención ya que a partir de ellos puede desarrollarse la tecnología más adecuada para que el hombre y el medio ambiente resulten menos afectados.

7.1 *Sistema Contaminante*

7.1.1 Fuentes contaminantes

Las fuentes de contaminación pueden ser de origen natural, industrial y doméstico.

Fuentes naturales

La contaminación en las fuentes naturales se debe a diversos factores. El transporte de contaminantes en el agua de lluvia, principalmente en las zonas urbanas, es una fuente natural de contaminación.

La mayor parte de las aguas superficiales y subterráneas contienen elementos químicos adicionales a los de su estructura original entre los cuales están las sales disueltas que tienen su origen en los suelos y formaciones rocosas de las cuencas. Estos elementos son arrastrados por la acción de la lluvia transportándolos hasta los acuíferos donde se pueden acumular en grandes cantidades. Los yacimientos minerales y la interacción mineral-agua originada por el contacto con corrientes de agua e infiltraciones por lluvia, representa un origen importante de incorporación de metales pesados al recurso hidráulico. Las rocas al intemperisarse sufren transformaciones mecánicas, químicas, biológicas, etc., mediante las cuales los componentes minerales que las forman quedan expuestos al ambiente, de tal manera que al efectuarse el contacto con el agua se incorporan a la misma y así queda definido el principal mecanismo natural de aporte de metales pesados a las corrientes de agua (ref 1):

La utilización de fertilizantes, plaguicidas y herbicidas en las actividades agrícolas produce la contaminación del suelo cuyo arrastre por lluvia es una fuente de contaminación.

Los acuíferos en zonas cercanas a las costas pueden ser contaminados por la penetración de agua salada proveniente del mar, la cual está directamente relacionada con la diferencia de la presión hidrostática entre los acuíferos y el cuerpo marítimo. En ocasiones esta diferencia de presiones se produce naturalmente, pero en la mayoría de los casos se debe a la explotación de los acuíferos sin que su recarga llegue a compensar las presiones negativas producidas.

Fuentes industriales

La dispersión de contaminantes en el ambiente está influenciada en gran parte por las descargas de las industrias a través del aire, agua o desechos sólidos.

En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) - ha establecido 21 clases de industrias para la regulación de su contribución a la contaminación del ambiente. A continuación se muestra la lista de las 21 industrias que se consideran las principales fuentes de contaminación en este país --- (ref 2).

1. Industria Maderera
2. Servicios de Lavanderías y Autolavados
3. Manufactura de Compuestos Químicos Orgánicos
4. Manufactura de Hierro - Acero
5. Refinerías de Petróleo
6. Manufactura de Compuestos Químicos Inorgánicos
7. Industria Textil
8. Industria Peletera
9. Manufactura de Metales no Ferrosos
10. Materiales de Construcción
11. Producción de Pinturas, Tintas e Imprentas
12. Producción de Jabones y Detergentes
13. Plantas de Energía Eléctrica y Vapor
14. Producción de Plásticos y Productos Sintéticos
15. Industria del Papel
16. Industria Hulera
17. Producción de Compuestos Químicos Misceláneos
18. Producción de Maquinaria y Elementos Mecánicos
19. Industria Laminadora
- 20. Industria Minera
21. Extracción de Carbón

En la tabla 1 se presenta una lista de las industrias asentadas en el D.F., que vierten sus residuos al drenaje y los contaminantes que éstas arrojan.

Fuentes domésticas

La presencia de contaminantes en los residuos líquidos domésticos proviene de los desechos fisiológicos del cuerpo. Los metales pesados contenidos en los alimentos ingeridos por el hombre, no son asimilados totalmente siendo arrojados en los desechos. Las concentraciones de carga orgánica así como de diversos organismos patógenos encontrados en las aguas residuales tienen su origen en este tipo de desechos.

Las actividades propias de la subsistencia y desarrollo de la comunidad humana producen condiciones de contaminación.

Las actividades de agricultura y ganadería requieren grandes volúmenes de agua de diversas calidades, las cuales en su mayoría son retornadas al medio ambiente con cierto grado de contaminación.

Las aguas descargadas se infiltran convirtiéndose en agua freática que después de utilizada puede contener gran cantidad de materiales contaminantes.

El riego con aguas residuales implica la existencia de gran cantidad de materia orgánica que en muchos casos alimenta de nutrientes a las siembras. Cierta cantidad de estos compues-

tos orgánicos son degradados hasta convertirlos en material -
inerte pero algunos compuestos permanecen biológicamente acti
vos. En el volumen de agua vertido al suelo se tiene una ---
gran cantidad de microorganismos patógenos que al encontrar -
condiciones favorables de crecimiento se reproducen rápidamen
te.

Las diversas actividades domésticas contribuyen a la incorpo-
ración de detergentes en las aguas residuales. En varios es-
tudios se ha encontrado que la mayoría de las sustancias acti
vas al azul de metileno, pueden penetrar a grandes profundida
des los estratos del suelo contaminando los acuíferos subte--
rráneos (ref 1).

Los desechos sólidos municipales comunmente concidos como ba-
sura consisten en material heterogéneo que contiene residuos-
orgánicos e inorgánicos derivados de las actividades cotidia-
nas de las comunidades.

Según el manual de control ambiental un desecho doméstico tí-
pico está formado por .

Metales	7 %
Telas (fibra natural y sintética)	4 %
Plásticos	1.9 %

Cuero	<1 %
Hule (natural y sintético)	1.1 %
Vidrio	8 %
Madera	2 %
Desperdicios (alimentos)	15.5 %
Papel	51.5 %
Fracción no clasificada	5 %

De acuerdo con los métodos de disposición de incineración, relleno sanitario y composteo, al incorporarse al medio ambiente actuarán de la siguiente forma:

- a) La incineración provoca la incorporación de contaminantes variados como: CO , SO_2 , SO_3 , productos de síntesis y combustión incompleta como aldehídos, cetonas, hidrocarburos de bajo peso molecular, óxidos de azufre, nitrógeno, metales pesados, fibras de asbesto, etc.
- b) Los óxidos metálicos y metal vaporizado se presenta exclusivamente en la parte metálica de la basura.
- c) En la disposición por relleno sanitario y composteo pueden alcanzar y contaminar las corrientes receptoras compuestos tales como aldehídos, cetonas, ácidos orgánicos, sulfatos, fosfatos, nitritos y nitratos, fenoles mercap-

tanos, sulfatos de calcio y magnesio, bicarbonato de fierro, calcio y magnesio, óxidos de estaño, zinc y cobre - en aguas ácidas, etc. (ref 1).

7.1.2 Contaminantes principales

Se han realizado diversos estudios en Estados Unidos para conocer los contaminantes que se encuentran con mayor frecuencia en las aguas residuales. Estos contaminantes se conocen como prioritarios y son los que proceden de las tres fuentes citadas en el inciso anterior.

En la tabla 2 se presenta la lista de contaminantes encontrados en la planta de tratamiento Clayton en Atlanta Georgia -- (ref 2). Es importante señalar en esta tabla el incremento en la concentración de algunos compuestos al entrar en contacto con el cloro.

La mayoría de estos contaminantes se presentan también en las aguas residuales del D.F. según se ha mostrado en monitoreos realizados.

7.2 Sistema de Transporte

El sistema de transporte como su nombre lo indica transporta-

TABLA 2. CONTAMINANTES PRESENTES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CLAYTON GEORGIA Y SU REMOCION
(REF 2)

COMPUESTO	INFLUENTE	EFLUENTE SECUNDARIO	EFLUENTE SECUNDARIO CLORADO	PORCIENTO REMOVIDO	TOXICIDAD
ACENAFTENO	0.9	0.05	0.04	94	
BENCENO	7.7 +	0.6	1.1	92 ++	
TETRACLOROMETANO	-	-	-	-	
CLOROBENCENO	-	-	-	-	
1,2,4 - TRICLOROBENCENO	0.6	0.1	0.3	85	
1,2 - DICLOROETANO	8.4 +	1.3	1.1	85 ++	
1,1,1 - TRICLOROETANO	1791 +	36.1	30.8	98 ++	
1,1 - DICLOROETANO	6.7 +	0.6		92 ++	
1,1,2 - TRICLOROETANO		2.5	1.8		
CLOROETANO	-	-	-	-	
BIS (2 - CLOROETIL) ETER		0.1			
1,2,4,6 - TRICLOROFENOL	-	-	-	-	
TRICLORO METANO (CLOROFORMO)	17.1 +	0.4	0.6	98 ++	X
1,2 - DICLOROBENCENO	43.9	1.2	10.1	97	X
1,3 - DICLOROBENCENO	3.1	0.4	1.3	86	X
1,1 - DICLOROETILENO	43.2 +	1.2	0.6	97 ++	
1,2 - TRANS-DICLOROETILENO	0.9 +				
DICLOROFENOL	-	-	-	-	
1,2 - DICLOROPROPANO	-	-	-	-	
2,4 - DIMETILFENOL	-	-	-	-	
2,6 - DINITROTOLUENO	-	-	-	-	
1,2 - DIFENILHIDRACINA		0.1			
ETILBENCENO			1.3		
FLUOR ANTENO	0.6	0.05	0.1	17	X
BIS (2 - CLOROISOPROPIL) ETER		0.3	0.1		
BIS (2 - CLOROETOXI) METANO	-	-	-	-	

TABLA 2. (CONTINUACION)

COMPUESTO	INFLUENTE	EFLUENTE SECUNDARIO	EFLUENTE SECUNDARIO CLORADO	PORCIENTO REMOVIDO	TOXICIDAD
DICLOROMETANO	647 +	182	141	72 ++	X
BROMOFORMO	-	-	-	-	-
DICLOROBROMOMETANO	0.7 +				
TRICLOROFLUORO METANO	59 +				
DICLORODIFLUOROMETANO	9.2 +				
NAFTALENO	10.9	4.1	0.4	62	
NITROBENCENO	0.1	0.01		90	
2 - NITROFENOL	-	-	-	-	
4,6 - DINITRO-O-CRESOL	-	-	-	-	
N - NITROSO DIMETILAMINA	-	-	-	-	
N - NITROSO DIFENILAMINA			0.2		
N - NITROSO DI-N-PROPILAMINA			0.1		
PENTAFLOROFENOL	30		13		X
BIS (2-ETILEXIL) FTALATO	50	11		78	
BUTILBENCILFTALATO	18	1.6	3.7	91	
DI-N-BUTIL FTALATO	13	5	1.8	62	
DI-N-OCTIL FTALATO	-	-	-	-	
DIETILFTALATO	1.4	0.3	0.2	79	
DIMETIL FTALATO		0.1	0.1		
1,2 - BENZO ANTRACENO	-	-	-	-	
BENZO (a) PIRENO	-	-	-	-	
ACENAFTILENO	0.2	0.04		80	
ANTRACENO		0.07			
FLUORENO	1.7	0.1		94	
FENANTRENO	3.2	0.3	0.3	91	
PIRENO		0.1	0.2		
TETRACLORO ETILENO	560 +	5.3	4.4	99 ++	X
TOLUENO	70 +	0.7	1.5	99 ++	

TABLA 2. (CONTINUACION)

COMPUESTO	INFLUENTE	EFLUENTE SECUNDARIO	EFLUENTE SECUNDARIO CLORADO	PORCIENTO REMOVIDO	TOXICIDAD
DIELDRIN		0.05	0.04		
γ - CLORDANO	0.3	0.2	0.8	33	X
α - CLORDANO	0.1	0.3	0.6	0	X
CLORDANO		0.2	0.1		X
4,4' - DDT		0.4	0.5		
4,4' - DDE		0.05	0.2		
4,4' - DDD	0.17	0.14	0.2	17	
a - ENDOSULFAN - ALFA		0.1			
b - ENDOSULFAN - BETA		0.1	0.04		X
ENDOSULFAN SULFATO			4.8		X
ENDRIN			0.4		X
HEPTACLORO	-	-	-	-	
HEPTACLORO EPOXIDO			0.36		
a - BHE - ALFA		0.13			
b - BHC - BETA			0.44		
LINDANO	0.14	0.15	0.16	0	
Δ - BHC	-	-	-	-	
ANTIMONIO	<1	<1	<1	<1	
ARSENICO	60	30	30	50	X
BERILIO	4	5.1	2.9	70	
CADMIO	1.1	<1	<1		
CROMO	56	16	15	71	
COBRE	21	31	31	0	X
CIANURO	28	7	4	75	X
PLOMO	117	47	22	60	
MERCURIO	9.6	0.7	1.6	93	
NIQUEL	560	1400	865	0	X

TABLA 2. (CONTINUACION)

COMPUESTO	INFLUENTE	EFLUENTE SECUNDARIO	EFLUENTE SECUNDARIO CLORADO	PORCIENTO REMOVIDO	TOXICIDAD
NIQUEL	560	1400	865	0	X
SELENIO	3.8	3.8	7	0	
PLATA	9.6	7.1	7.1	26	X
TALIO	<1	<1	<1	<1	
ZINC	1700	500	300	71	

NOTAS

- 1) Las concentraciones están dadas en microgramos/litro
- 2) + Concentración en el efluente primario
- 3) ++ Remoción del efluente primario
- 4) - Compuesto no detectado
- 5) La columna toxicidad indica que la concentración en el efluente es aproximadamente igual o excede el límite para la vida acuática en agua dulce o salada o bien los límites en que se señalan efectos en la salud humana.

los contaminantes originados por las diversas fuentes mencionadas en el inciso 7.1 afectando al hombre y al medio ambiente.

Los medios conductores de contaminantes son los cuerpos superficiales, las aguas subterráneas, las aguas residuales y las aguas renovadas.

7.2.1 Cuerpos receptores

Los principales cuerpos naturales de agua que transportan contaminantes son los ríos, y las corrientes subterráneas aunque también los lagos y el mar son medios de transporte de contaminantes.

Los líquidos provenientes de los desechos industriales y municipales al descargarse en corrientes superficiales son transportados por estos produciéndose diversas reacciones y cambios que dependen de las condiciones y factores que imperan en estas corrientes.

Los sólidos provenientes de los desechos sólidos industriales y municipales así como los productos de tratamiento de las aguas residuales que se disponen en rellenos sanitarios se infiltran, por efecto de lluvia, hacia las corrientes subterrá-

neas o superficiales siendo arrastrados por estas.

Las partículas y los gases que se producen por la combustión de ciertos materiales (carbón, gasolina, diesel, etc) en los procesos industriales y de vehículos automotores, al escapar por los dispositivos de desalojo de gases son arrastrados a los cuerpos de agua por la lluvia.

Los compuestos químicos, en un desecho líquido, pueden estar en forma soluble o insoluble. Los compuestos solubles se transportan en la masa de agua del cuerpo receptor siendo su distribución en el tiempo y en el espacio función de diversos factores hidrodinámicos como velocidad, difusión, movimiento global del agua en el cuerpo, etc. Los compuestos insolubles que no sedimentan, viajan en la corriente hasta alcanzar un punto de equilibrio o forman otros compuestos por efectos FQB.

Existe una capacidad de autopurificación de las corrientes que transportan contaminantes debida a diversos procesos naturales por los cuales se remueven algunos contaminantes. La capacidad de autopurificación de una corriente se determina por medio de los coeficientes de desoxigenación, reaeración y difusión turbulenta.

La autopurificación involucra dos procesos principales

- 1) El abatimiento del oxígeno disuelto disponible debido a la degradación bacteriológica de los desechos domésticos e industriales.
- 2) El reemplazo del oxígeno disuelto por absorción del oxígeno de la atmósfera. Este proceso llamado reaeración - está en función directa de la turbulencia.
- 3) La descomposición anaeróbica de depósitos bentónicos de materia orgánica sedimentada es otro proceso que modifica el balance de oxígeno en una corriente contaminada resultando una demanda local de oxígeno disuelto; si las algas están presentes agregarán oxígeno por fotosíntesis durante el día y lo consumirán durante la noche por respiración.

7.2.2 Sistemas de drenaje

La principal función de los sistemas de drenaje es la captación y conducción de las aguas residuales domésticas e industriales hasta un sistema de tratamiento o hasta su lugar de disposición final.

Los desechos que se transportan en el drenaje son los que se han mencionado en el inciso 7.1 propios de descargas domésticas e industriales los cuales forman mezclas al agregarse --- agua pluvial que entra al sistema así como arrastre de materiales debido a los sedimentos y basura que se captan. Al entrar esta mezcla a un sistema de tratamiento se remueven gran cantidad de contaminantes además de la propia autopurificación que puede existir en el drenaje pero al entrar en contacto con la cloración, que existe en la mayoría de las plantas de tratamiento, se forman otro tipo de compuestos organoclorados resultando una nueva mezcla compleja de contaminantes que son transportados hasta su lugar de disposición final o de reuso del agua tratada.

7.3 Sistema Afectado

La contaminación del agua afecta tanto al hombre, por el reuso que pueda hacer del agua tratada, como al medio ambiente biótico y abiótico por las descargas de aguas contaminadas en los cuerpos receptores que indirectamente también afectarán al hombre.

El hombre como usuario directo de aguas renovadas puede ser afectado de diversas formas, dependiendo de los usos a que se destinen: acuicultura, riego, recreación, recarga de acuíferos.

ros, etc., o indirectamente por la ingestión de Necton y Bentos resistentes que pueden contener cantidades de metales pesados que afectarán su salud.

La existencia de gran cantidad de compuestos químicos orgánicos y metales pesados en las aguas residuales, constituyen -- uno de los problemas que merecen más atención e investigación por sus efectos adversos a la salud.

Existe evidencia, para algunos de estos compuestos, de ser -- factores importantes en la incidencia de cáncer aunque todavía se desconoce la relación de dosis respuesta, así como las relaciones sinérgicas de estos compuestos. Se conocen compuestos químicos que producen mutaciones en diversas células y hay evidencia de una correlación entre tales mutaciones y la incidencia de cáncer; queda aún la duda de qué concentraciones en el agua pueden ser significativas para que sean causa de incidencia de cáncer o de mutaciones.

Los compuestos químicos orgánicos de alto peso molecular se -- consideran de bajo riesgo a la salud excepto aquellos que --- reaccionan con el cloro y que producen compuestos carcinóge--nos como el cloroformo y los trihalometanos.

En 1977 la EPA determinó los siguientes compuestos, encontra-

dos en aguas residuales de origen industria, como cancerígenos (ref 4).

acrilonitrilo

benceno

bencidina

hexaclorobenceno

bifenilos polibromados

hidrocarburos aromáticos policíclicos

tricloroetileno

La biota acuática se ve afectada por los metales pesados de la siguiente forma: (ref 1)

a) Efectos letales

- Eliminación de comunidades biológicas más sensibles
- Desnaturalización protéica y bloqueo respiratorio y metabólico
- Efectos sinérgicos y antagónicos, entre especies químicas y daño a los sistemas biológicos
- Alteración de la permeabilidad

b) Efectos subletales morfológicos

- Daños en organos acumuladores con necrosis final
- Cambios en coloración
- Metamorfosis

c) Efectos subletales fisiológicos

- Inhibición de síntesis protéica
- Desactivación enzimática
- Inducción de formas resistentes
- Mutagénesis
- Inhibición de las tasas respiratorias y efectos sobre --
los sistemas de transporte de electrones
- Cambios selectivos de permeabilidad
- Inhibición de la madurez sexual y tasas de reproducción-
- Inhibición de la alimentación

d) Cambios ectológicos

- Inaccesibilidad a las áreas de desove
- Alteración en la fijación de organismos sesiles

- Alteración de la relación presa - depredador

Los efectos específicos en niveles tróficos y su acción vía - cadena alimenticia comprenden los daños a fitoplancton, zoo-- plancton, necton, bentos y microorganismos (bacterias).

Efectos en mamíferos

- Alteraciones del sistema nervioso central
- Mutagénesis
- Teratogénesis
- Alteración de organos vitales (higado, riñón)
- Inhibición enzimática y síntesis protéica

Aún cuando se desconocen todavía los mecanismos de dosis-res- puesta de los compuestos químicos orgánicos que afectan la sa- lud del hombre y las concentraciones en el agua que producen- efectos adversos a la misma es evidente que una manera de evi- tar estos problemas es minimizando, cuando no se es posible -- eliminar totalmente, las concentraciones de estos compuestos- en las aguas tratadas. La reglamentación para prevenir la -- contaminación y la reglamentación para la calidad FQB de las- aguas renovadas para protección del usuario son fundamentales para poder lograr que el hombre y el medio ambiente no resul-

ten afectados por la contaminación del agua.

7.4 Sistemas de Protección

El sistema de protección tiene por objeto conocer los mecanismos naturales de remoción de contaminantes así como las características FQB de los mismos ya que conociendo los mecanismos de autopurificación de los cuerpos receptores se tienen las herramientas necesarias para prevenir la contaminación.

7.4.1 Procesos ambientales

Por procesos ambientales se definen los que de manera natural remueven o transforman a los contaminantes que son vertidos en los cuerpos de agua (ref 5).

A continuación se muestra la clasificación de los procesos ambientales.

Proceso	Clasificación
Físicoquímicos	Fotólisis
	Hidrólisis
	Oxidación
Transporte	Volatilización
	Sorción

Biológicos

Bioacumulación

Biodegradación

Para conocer la influencia que un proceso ambiental tiene sobre un contaminante es necesario conocer las siguientes propiedades físicas y químicas

- Estructura química
- Peso molecular
- Punto de fusión
- Punto de ebullición
- Presión de vapor
- Solubilidad en agua
- Coeficiente de partición ($\log P$)

7.4.1.1 Procesos físicoquímicos

Fotólisis. La fotólisis de compuestos químicos disueltos en sistemas acuáticos ocurre a longitudes de onda mayores de --- 290 nm. ya que el ozono en la estratósfera filtra la luz de longitudes de onda mayores. La transformación fotoquímica -- puede llevarse a cabo por uno o más procesos dependientes. - La fotólisis "directa" tiene lugar cuando el compuesto absorbe luz y después se produce una reacción de transformaciones- (rearrreglo, disociación, oxidación, etc.). La fotólisis "in-

I N D I C E

1. INTRODUCCION
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
3. OBJETIVOS
4. ALCANCES
5. METODOLOGIA
6. HIPOTESIS DE TRABAJO
7. DESARROLLO DEL TRABAJO
 - 7.1 Sistema Contaminante
 - 7.1.1 Fuentes contaminantes
 - 7.1.2 Contaminantes principales
 - 7.2 Sistema de Transporte
 - 7.2.1 Cuerpos receptores
 - 7.2.2 Sistemas de drenaje
 - 7.3 Sistema Afectado
 - 7.4 Sistema de Protección

Se faltan a este trabajo las tablas y sus respectivos ítems. Favor solicitar al autor

directa" tiene lugar cuando existe una sustancia que absorbe luz formando especies químicas excitadas o radicales libres - que interactúan con el compuesto produciendo una reacción.

La tasa de reducción del compuesto químico, tanto en el caso de fotólisis directa como indirecta, puede expresarse por una reacción cinética de primer orden.

La rapidez del decaimiento de la concentración del compuesto, por fotólisis directa es:

$$- dc/dt = K_p (C) = K_a \phi (C)$$

donde

$-dc/dt$ rapidez de decaimiento del contaminante

K_p constante de reacción de primer orden

C concentración del compuesto

K_a constante de absorción de la luz del compuesto

ϕ reacción del campo cuántico

La rapidez del decaimiento de la concentración del compuesto ($-dc/dt$) bajo condiciones de fotólisis indirecta es:

$$- dc/dt = K_2 (C) (X) = K'_p (C)$$

donde

K_2 constante de reacción de segundo orden

C concentración del compuesto

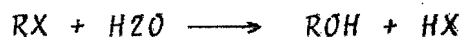
X reactivo intermediario

$K_p = K_2 (X)$

La estimación de los valores de K_p , $K_a (X)$, K_p' se realiza para velocidades instantáneas o bien para el promedio de valores medidos en un intervalo de tiempo ya que dependen de la intensidad de luz y esta varía con el día, latitud, estación, etc.

La influencia de la fotólisis en los contaminantes estudiados se determinó, en algunos casos, midiendo la disminución de la concentración del contaminante, con el tiempo, en condiciones óptimas de contacto con la luz.

Hidrólisis. La hidrólisis de compuestos orgánicos generalmente se debe a la introducción de un grupo hidróxido (-OH) dentro de una estructura química, con la pérdida de un grupo funcional (-X). La reacción es la siguiente:



La tasa de velocidad de cambio de la reacción se puede activar por la presencia de un ácido (ión hidronio H_3O^+) y/o de una base (ión hidroxilo OH^-).

La tasa de decaimiento de la concentración del compuesto debida a hidrólisis es la siguiente:

$$-dc/dt = K_n (C) = (H^+) (C) + K_B (OH^-) (C) + K_n (C)$$

donde

$-dc/dt$ rapidez de decaimiento de la concentración del compuesto

K_h constante de la reacción del primer orden para un pH determinado

K_A, K_B constantes de reacción de segundo orden del ácido y/o base que activen el proceso

K_n constante de la reacción de primer orden para cualquier valor de pH.

Mabey y Mill (ref 6) han estimado los valores de K_A, K_B y K_n para gran número de estructuras hidrolizables.

Oxidación. La oxidación se entiende como la introducción de un átomo de oxígeno a un compuesto químico lo que puede inducir a la descomposición hasta dióxido de carbono y agua o co-

mo la pérdida de electrones de los compuestos.

La expresión que muestra la tasa de decaimiento de la concentración de un compuesto por la reacción con un oxidante (O_x) es la siguiente:

$$- dc/dt = K_{OX} (O_x) (C)$$

donde

$-dc/dt$ tasa de decaimiento de la concentración del contaminante

K_{OX} constante de reacción de segundo orden, en la reacción del oxidante con el compuesto

(O_x) concentración del oxidante

(C) concentración del compuesto

Al igual que en la estimación de los valores de K_p , K_a , y K_p' en fotólisis, se toma el promedio de valores medios en un intervalo de tiempo, así mismo el valor de (O_x) se define en términos del promedio de la concentración efectiva del oxidante en un intervalo de tiempo.

7.4.1.2 Procesos de transporte

Volatilización. La volatilización de compuestos químicos or-



DEPFI

gánicos y metales del agua a la atmósfera es importante para los que presentan alta presión de vapor o baja solubilidad. La importancia de la volatilización para muchos compuestos se ha registrado en diversos estudios sin embargo es difícil --- aplicar los datos en una evaluación ambiental debido a la incompleta información sobre los factores que influyen en la volatilización (turbulencia, temperatura, etc.). El proceso de volatilización, en un marco ambiental acuático, como el propuesto por Liss y Slater (ref 7) describe la rapidez de volatilización (R_v) de un compuesto químico mediante una reacción cinética de primer orden:

$$R_v = - d (C_w) / dt = K_v (C_w) \quad (1)$$

donde
$$K_v = 1/L (1/K_L + RT/K_c K_g)^{-1} \quad (2)$$

donde

- R_v rapidez de volatilización de un compuesto químico, -
 C , en moles/l-h
- C_w concentración del compuesto químico, C , en agua, en-
 M ; M = moles/l
- K_v constante de volatilización, en h^{-1}
- L profundidad a la que se realiza el experimento
- K_L coeficiente de transferencia de masa en la fase lí-
quida, en $cm h^{-1}$

H_c	constante de la ley de Henry, en Torr M^{-1}
K_g	coeficiente de transferencia de masa en la fase gaseosa, en cm h^{-1}
R	constante del gas, en (lt-atm/mole grados centígrados)
T	temperatura, en grados Kelvin

$$K_L = D_L/d_L \quad (\text{fase líquida}) \quad (3)$$

$$K_g = D_g/d_g \quad (\text{fase gaseosa}) \quad (4)$$

D	coeficiente de difusión
d	espesor de la capa considerada como frontera
h	horas

Existen muy diversas aproximaciones para estimar estos coeficientes de transferencia de masa; una simplificación se basa en que si H_c mayor de 3000 Torr M^{-1} , el valor de R_v se determina por el valor de K_L ya que la difusión predominante es la que se realiza a través de la fase líquida. Para compuestos con alto grado de volatilidad, la ec. 5 se utiliza sobre un amplio rango de condiciones ambientales:

$$(K_v^c)_{amb} = (K_v^c / K_v^o)_{lab} (K_v^o)_{amb} \quad (5)$$

donde

K_v^c constante de volatilidad del compuesto, en h^{-1}
 K_v^o constante de reacción del oxígeno, en h^{-1} en el labo
ratorio o en el ambiente

El subíndice "amb" se refiere a condiciones ambientales a diferencia del subíndice "lab" que se refiere a condiciones de laboratorio.

Si H_c menor de $10 \text{ Torr } M^{-1}$, únicamente el segundo término de la ec. 2 es significativo entonces:

$$K_v = H_c \text{ Kg/LRT} \quad (6)$$

En este caso domina la difusión a través de la fase gaseosa.-
Si H_c es menor de $3000 \text{ Torr } M^{-1}$ pero mayor de $10 \text{ Torr } M^{-1}$, ambos términos de la ec. 2 son significativos.

Sorción. La sorción de compuestos químicos a materia orgánica e inorgánica suspendida a los sedimentos es un proceso importante en el ambiente acuático; en gran cantidad de experimentos no es posible identificar si se presenta absorción o adsorción por lo que en este caso se habla de sorción.

Mientras más hidrofóbico sea un compuesto químico, hay más po

sibilidad de que éste sea sorbido por el sedimento.

La ecuación isotérmica de Freundlich puede expresar la capacidad de sorción de compuestos orgánicos a partículas:

$$C_s = K_p C_w^{1/n}$$

donde

C_s concentración del compuesto en fase particulada

C_w concentración del compuesto en agua

K_p coeficiente de partición para sorción

$1/n$ factor exponencial

Para efectos ambientales puede considerarse que $1/n$ es igual a uno ya que la concentración del compuesto en solución se -- considera baja en comparación con la capacidad de sorción con las partículas. En la medición de K_p es necesario dar el --- tiempo necesario para que se alcance el equilibrio entre las fases; la información de literatura establece que este tiempo varía de unos cuantos minutos a varios días.

Para compuestos químicos orgánicos neutros el grado de sor--- ción a sedimentos está dominado por la interacción con el con tenido orgánico de la partícula.

En el caso de los metales, los mecanismos principales son so
rción por coprecipitación y adsorción iónica por cargas eléc--
tricas.

7.4.1.3 Procesos biológicos

Bioacumulación. La bioacumulación de compuestos químicos en
varias especies vivas presenta efectos ecológicos significativ
vos y es especialmente importante en compuestos químicos hi--
drofóbicos que sean solubles dentro de los tejidos grasos y -
lípidos.

El factor de bioacumulación se define como la concentración -
de un compuesto en un tejido entre su concentración en agua.

Los datos de bioacumulación representan un parámetro important
e en la evaluación de compuestos químicos en medios acuáti--
cos.

Kenaga y Goring (reg 8) han establecido una correlación entre
el factor de bioacumulación, el coeficiente de partición octan
ol agua y la solubilidad del compuesto en agua, esta correlat
ción se usa en la determinación del potencial de bioacumula--
ción de un compuesto.

7.4.4 Comportamiento de los grupos de contaminantes ante los procesos ambientales

A continuación se presenta una explicación detallada de cada grupo de contaminantes que forman la tabla 3 respecto a la influencia que sobre ellos tienen los procesos ambientales.

Inorgánicos y metales. De acuerdo con las características físicas y químicas de los metales estudiados se obtuvo que en general el principal proceso ambiental es el de sorción aunque existe susceptibilidad a la volatilización y a la bioacumulación.

En lo que respecta a sorción, se presentan 2 casos, cuando el metal se encuentra en forma soluble existe sorción debido a los diferentes cargas eléctricas entre el metal (catión con carga positiva) y la materia particulada, cuando se encuentra en forma insoluble (coloidal o floculada) se sorbe sobre la materia particulada por efectos de coprecipitación.

La bioacumulación se presenta solo en los metales pesados --- (Sb, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ta, Ag, Zn, Mn, Fe) mientras que en los alcanos (Na, K) y alcalinotérreos (Ca, Mg) no se presenta.

El antimonio puede volatilizarse cuando se encuentra en forma de estibáina, (SbH_3), la que se forma por reducción del antimonio en los sedimentos. La volatilización del arsénico es importante cuando la actividad biológica o condiciones de alta reducción producen arsinia, (AsH_3), o metil arsénicos. En el caso del cianuro, cuando se forma ácido cianhídrico --- existen condiciones de alta volatilidad ya que a pH menores de 10 la mayoría de los cianuros libres forman HCN .

La presión de vapor del mercurio es relativamente alta respecto a otros metales y puede entrar a la atmósfera del ambiente acuático de diversas formas, el grado de vaporización del mercurio y de sus compuestos decrece de la siguiente forma Hg , Hg_2Cl_2 , HgS , HgO .

La especiación química se refiere al potencial del metal para que con base en sus estados de oxidación pueda combinarse en el ambiente acuático con los ligandos existentes y/o formar complejos organometálicos.

Plaguicidas Clorados. Los procesos ambientales que influyen en el comportamiento de los plaguicidas son: sorción, volatilización y bioacumulación. Los procesos químicos presentaron información insuficiente excepto para el heptacloro en que se tiene una rápida hidrólisis. La acroleina y la isoforona no

son susceptibles a la sorción. La alta solubilidad en agua y el bajo coeficiente de partición ($\log P$) de estos dos compuestos sugiere que la sorción no es un proceso importante en sistemas acuáticos.

Para el clordano, endrin y hexaclorociclohexano no se obtuvieron datos suficientes para concluir sobre el efecto de la sorción en ellos. Para el lindano todo hace suponer que la sorción es importante sin embargo los datos experimentales no son suficientes.

El transporte aguas abajo se realiza por tres mecanismos:

- a) En forma de sales solubles
- b) Sorbido a materia orgánica o inorgánica suspendida
- c) Por medio de la biotransformación en los sedimentos por los organismos bentónicos e incorporación en la cadena alimenticia.

Respecto a la volatilización no se tienen datos suficientes o existen contradicciones en los casos de endrin, heptacloro epóxido y hexaclorociclohexano; paraacroleína y clordano los resultados experimentales indican que la volatilización puede

ser un proceso importante, pero los resultados experimentales son insuficientes para concluir con certeza; para todos los demás plaguicidas la volatilización es un proceso importante.

La mayoría de los compuestos de este grupo son bioacumulables excepto la acroleína, endosulfán y lindano para los cuales la carencia de datos no permite ninguna conclusión.

En general existe en este grupo capacidad de biodegradación.

Bifenilos Policlorados PCBs. Los procesos más importantes para este grupo son: volatilización, sorción y bioacumulación; en menos grado fotólisis.

Hidrocarburos Alifáticos Halogenados. El principal proceso que influye en la remoción para este grupo es la volatilización. Los únicos compuestos para los cuales no existió información suficiente respecto a su sensibilidad a este proceso son: hexacloroetano, bromodiclorometano y dibromoclorometano.

Eteres Halogenados. Respecto a este grupo resulta difícil decir cual es el proceso más importante debido a las limitaciones para determinar con seguridad sus propiedades físicas.

En general se presentó incertidumbre respecto a volatilización y transporte aguas abajo; los procesos de sorción y fotólisis no son importantes; la hidrólisis solo es importante para el bis 2 (clorometil) eter.

Aromáticos Monocíclicos. El proceso más importante en este grupo es volatilización y en menor grado sorción; la hidrólisis solo es significativa en 2,3 y 2-4 nitrofenol para los que también son importantes sorción, fotólisis y oxidación.

Biodegradación se presenta para fenol, 2, 3, diclorofenol y pentaclorofenol para éste último también son importantes sorción, transporte aguas abajo, fotólisis y bioacumulación.

La fotólisis es importante para fenol y para 2, 4 y 2, 6 dinitrotolueno.

Esteres del Acido Ftálico. El bis (2 etilhexil) ftalato es el compuesto más estudiado de este grupo, ya que para muchos de los ésteres ftalatos existen pocos datos. La solubilidad de los componentes de este grupo varían de muy solubles hasta moderadamente soluble; todos estos compuestos son probablemente adsorbidos en las partículas suspendidas y en la biota.

Su facilidad de transporte dependerá en gran parte de las con

diciones hidrogeológicas del sistema acuático; los únicos que posiblemente podrían ser sensibles a la volatilización por su baja solubilidad son bis (2-etilhexil) y butil bencil ftalatos.

Gran variedad de organismos son capaces de acumular esteroides - ftalatos; esto se debe probablemente a que son altamente lipofílicos.

Existen sistemas microbianos capaces de degradar los esteroides-ftalatos bajo condiciones aeróbicas; esta degradación es menor en condiciones anaeróbicas y es inexistente para bis (2 - etilhexil) ftalato.

La hidrólisis es insignificante; la bioacumulación y biodegradación son los procesos más importantes en este grupo.

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos. El comportamiento de estos compuestos depende en gran parte de su número de anillos y están agrupados de acuerdo a este factor. Los procesos más importantes de este grupo son: sorción, fotólisis y biodegradación. Estos compuestos pueden ser adsorbidos en las partículas suspendidas.

Nitrosaminas y Compuestos Similares. La fotólisis es el pro-

ceso más importante aunque para la mayoría de estos compues--
tos no se obtuvieron datos suficientes que permitieran deter-
minar con certeza su comportamiento en el ambiente. 3-3 di--
clorobencidina y 1,2 difenilhidracina son sensibles a los pro
cesos de sorción y bioacumulación; la hidrólisis no es un pro
ceso importante y no hay aún evidencia de microorganismos que
biodegraden estos compuestos.

7.5 Sistema de Prevención

El sistema de prevención consiste en el desarrollo de la tec-
nología más adecuada que permita la máxima remoción de conta-
minantes en las aguas residuales.

A partir de los mecanismos naturales de remoción y de las pro
piedades FQB de los contaminantes es posible predecir la remo
ción de un contaminante en una operación unitaria lo que a su
vez permitirá diseñar los sistemas de tratamiento con los pro
cesos y operaciones unitarias más idóneos para cada caso.

7.5.1 Operaciones unitarias ↓

A continuación se presenta una descripción de las principales
operaciones unitarias y su influencia en la remoción de los -
contaminantes.

Sedimentación. La sedimentación es la separación por gravedad de partículas suspendidas en el agua. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, remueve partículas gruesas y materia particulada en los tanques de sedimentación primaria y remueve flóculos de tipo químico en el proceso de coagulación. Así mismo se usa para concentrar sólidos en los tanques espesadores de lodos donde el propósito es la obtención de lodos cuya concentración sea tal que los haga fácilmente manejables.

Filtración. Esta operación tiene por objeto la remoción de sólidos suspendidos no removidos en otras operaciones del tratamiento secundario. Los sólidos suspendidos se remueven por varios mecanismos; cribado, contacto, sedimentación y adhesión. La influencia aumenta cuando la filtración es precedida de un tratamiento químico del efluente secundario. La remoción de metales mediante filtración es muy variable; existe una buena eficiencia por cromo trivalente, cadmio y zinc sin embargo no hay evidencia de remoción para el arsénico. La eficiencia de remoción de virus aumenta con la adición de coagulantes al medio filtrante y los datos de remoción son muy variables, van del 10 al 98 por ciento.

Adsorción. La adsorción tiene por objeto la remoción de con-

taminantes disueltos en las aguas residuales por su atracción y acumulación en la superficie de una sustancia adsorbente. - El carbón activado es el elemento adsorbente más ampliamente utilizado.

Este proceso es muy efectivo en la remoción de algunos compuestos orgánicos así como de los contaminantes metálicos que forman complejos orgánicos en el agua.

La remoción de contaminantes orgánicos depende del peso molecular, polaridad, solubilidad y ramificación de cada compuesto; los más eficientemente removidos son aquellos cuyo peso molecular varía entre 100 y 10 000 (ref 14).

La remoción de virus con carbón activado está en relación inversa al contenido neto de materia orgánica en el agua.

Generalmente este proceso se realiza en columnas empacadas -- donde se coloca el carbón activado pero también es frecuente la adición de carbón activado en los tanques de aereación de procesos biológicos, obteniéndose resultados semejantes. En la tabla 4 se muestran eficiencias de remoción por este proceso.

Mezcla. La mezcla es una operación unitaria importante en mu

TABLA 4 REMOCION DE MATERIALES TOXICOS CON CARBON ACTIVADO (ref 14)

Dosis de carbón (mg/ℓ)	Aldrin	Endrin	Dieldrin Residuo en mg/ℓ	DDD	DDT	DDE	TOXOFENO	AROCLOR 1242
1.0	--	----	---	41	---	34	147	---
2.0	26	15	6.3	----	6.9	--	80	7.3
2.5	--	----	---	21	-	29	----	----
5.0	15	3.4	2.4	3.7	3.7	12	31	1.6
10.0	12	1.5	1.1	----	2.2	----	2.7	1.1
12.5	--	----	---	<1	---	3.3	----	----
25.0	6.3	0.56	---	----	0.45	1.1	----	----
50.0	4.4	0.22	---	----	0.35	0.9	----	----

TABLA 4.a REMOCION DE METALES POR COAGULACION Y PRECIPITACION QUIMICA (ref 14)

Metal	Concentración Inicial mg/ℓ	Concentración Final mg/ℓ	Remoción %
Antimonio	---	---	90
Arsenico	23	23	0
Bario	---	1.3	
Bismuto	---	0.0002	
Cadmio	0.0137	0.00075	94.5
Cromo(+6)	0.56	0.05	11
Cromo(+3)	7400	2.7	99.9+
Cobre	7	0.05	93
Fierro	13	2.4	82
Plomo	15	0.5	97
Menganeso	21	0.05	95
Mercurio	---	óxido soluble	<10
Molibdeno	11	9	18
Niquel	100	1.5	99
Selenio	0.0123	0.0103	16
Plata	0.0546	0.0164	97
Zinc	17	0.3	98

chas fases del tratamiento de aguas residuales en que una sus
tancia debe estar íntimamente relacionada con otras. En un -
proceso biológico, de lodos activados, el aire debe ser mez--
clado con el lodo activado para poner en contacto a los micro
organismos con el oxígeno. En este caso la difusión de aire-
se lleva a cabo, para conseguir los requerimientos de mezcla-
do, por medio de diversos tipos de aeradors mecánicos.

Coagulación - Floculación. La coagulación es un mecanismo --
por el cual las partículas dispersas se aglomeran en partícu-
las de mayor tamaño que pueden ser removidas por técnicas de
separación estándar líquido-sólido. Las partículas dispersas
son inducidas a coagular por la adición de iones de carga ---
opuesta a la carga neta de las partículas suspendidas. Estos
iones tienden a reducir la carga de las partículas, las cua--
les se aglomeran como resultado de las colisiones que ocu----
rren. La floculación se realiza por la adición de polímeros-
naturales o sintéticos. Generalmente estos polímeros presen-
tan una carga opuesta a las partículas suspendidas aunque ---
existen polímeros de igual carga que la de las partículas que
también promueven la floculación. Normalmente esta operación
va unida a la de precipitación química coagulando o floculan-
do los precipitados formados.

Precipitación Química. La precipitación química implica la -

adición de químicos que alteran el estado físico de los sólidos suspendidos y la especie química de las sustancias disueltas convirtiéndolas en insolubles facilitando su remoción. - El grado de remoción que se obtenga depende de la cantidad y calidad de la sustancia química que se agrega, estas sustancias interactúan con las partículas presentes en el agua mediante diversas reacciones químicas.

Los factores que influyen en la precipitación química son: - Naturaleza de las partículas en el agua residual, carga superficial y agregación de partículas.

Las sustancias más comunmente usadas para ayudar esta operación son sulfato de aluminio, aluminato de sodio, sulfato férrico, sulfato ferroso, óxido de calcio (cal), hidróxido de calcio (cal hidratada), carbonato de sodio. En la tabla 4a se presenta la eficiencia de remoción de diversos contaminantes debido a este proceso.

Transferencia de gas. La transferencia de gas es la operación por la cual el gas se transfiere de una fase a otra, generalmente de la fase gaseosa a la líquida.

La aplicación más común de transferencia de gas, en el tratamiento de aguas residuales, se da en el tratamiento biológico--

co. Debido a la baja solubilidad del oxígeno, la transferencia de oxígeno, a través de la interfase aire-agua en la superficie, no es suficiente para satisfacer los requerimientos de oxígeno en los sistemas aeróbicos por lo que es necesario formar interfases adicionales con lo que se logra transferir mayor cantidad de oxígeno.

El oxígeno puede suministrarse en el agua por medio de aire o de burbujas de oxígeno puro. Existen diversos tipos de aeradores dependiendo del tipo de planta que se requiera, pueden ser aeradores superficiales o sumergidos.

Oxidación Química. La oxidación química se utiliza en tratamientos avanzados, principalmente para remover amoníaco, para reducir la concentración de residuos orgánicos y para la reducción de contenido de bacterias y virus de las aguas residuales.

En el proceso de nitrificación el amoníaco es oxidado obteniéndose nitratos.

El cloro y el ozono son los compuestos más comunmente utilizados para la remoción de microorganismos en el agua residual.- En ambos casos se lleva a cabo una oxidación química.

Procesos Biológicos. El objeto del tratamiento biológico es coagular y remover la materia coloidal no sedimentable y estabilizar la materia orgánica. Los procesos biológicos pueden ser de tres tipos: aerobios, anaerobios y facultativos. Los procesos aerobios son los que requieren oxígeno ya que las -- bacterias que estabilizan la materia orgánica son aerobios -- obligadas, es decir que únicamente viven en presencia de oxígeno disuelto. Los procesos anaerobios se realizan en ausencia de oxígeno; las bacterias que realizan la degradación de materia orgánica en estos sistemas son anaerobias obligadas, es decir, que únicamente sobreviven en ausencia de oxígeno disuelto. Los procesos facultativos se llevan a cabo en microorganismos que son indiferentes ante la presencia o ausencia de oxígeno. Este tipo de organismos se denominan facultativos.

El sistema de tratamiento de lodos activados es un proceso -- biológico aerobio y es el más utilizado debido a cuestiones económicas. En la tabla 5 se muestran eficiencias de remoción debidas a este tipo de tratamiento.

Intercambio Iónico. En este proceso los iones de una especie dada son desplazados, en la resina intercambiadora, por iones de una especie diferente en solución. Las resinas de intercambio iónico se clasifican por la carga del ión intercambia-

TABLA 5 REMOCION DE CONTAMINANTES CON UN TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS EN LOS ANGELES, CAL. (ref 14)

	Influente mg/l	Efluente mg/l	Remoción %
DQO	315	31	90
DBO	165	9	95
SS	103	9	91
Grasas y aceites	28	0.5	98
Fenoles	0.09	0.009	90
N amoniacal	20	9.6	52
Fósforo	10.1	3.3	67
Cianuro	0.30	0.13	57
Cobre	0.25	0.08	68
Zinc	0.42	0.23	46
Plata	0.019	0.012	37
Niquel	0.24	0.15	38
Plomo	0.07	0.08	--
Arsénico	0.017	0.013	24
Cadmio	0.02	0.013	35
Cromo	0.37	0.013	96
Salmonella			70
Coliformes			90 a 99
Shigella			90 a 99
Streptococosfecales			84 a 94
Pseudomonas aeruginosa			99

ble, es decir que pueden ser aniónicas o catiónicas.

Se estima que en el futuro el uso de este proceso estará enfocado a la remoción de nitrógeno amoniacal, nitratos y iones metálicos. Existe una alta eficiencia de remoción para el cadmio, cromo y selenio; actualmente hay poca información acerca de la eficiencia de remoción para contaminantes biocidas. En la tabla 6 se muestran eficiencias de remoción de contaminantes debidas a este proceso.

Osmosis Inversa. Por medio de esta técnica se desmineraliza el agua y se remueven los sólidos disueltos. En este proceso el agua se separa de las sales disueltas mediante la filtración obtenida a través de una membrana semipermeable que trabaja a una presión mayor que la presión osmótica y en sentido inverso, también se remueven compuestos orgánicos solubles de bajo peso molecular. En la tabla 7 se muestran eficiencias de remoción de diversos contaminantes por efecto de este proceso.

Electrodiálisis. En este proceso, los componentes iónicos de una solución, se separan por medio de una membrana selectiva de iones y semipermeable. La aplicación de un potencial eléctrico entre dos electrodos produce una corriente eléctrica que pasa a través de la solución causando una migración de ca

TABLA 6 EFICIENCIAS DE REMOCION POR INTERCAMBIO IONICO (ref 14)

	Remoción (%)
Cadmio	99.9
Cromo	96
Selenio	99.7
Calcio	98
Magnesio	99.9+
Sodio	88
Potasio	86
N amoniacal	81
Sulfatos	98
N - NO ₃	88
Cloruros	89
PO ₄	99
Silice SiO ₂	0

NOTA: La remoción de todos los metales traza fue de 95%

TABLA 7 EFICIENCIAS DE REMOCION POR OSMOSIS INVERSA (ref 14)

	Porcentaje de remoción		
	(1)	(2)	(3)
Arsénico	90-95	---	---
Bario	90-95	---	---
Boro	---	50	---
Cadmio	90-98	68-70	66-98
Cromo	90-97	93-98	82-98
Fluoruros	90-97	88-98	---
Cobre	90-97	82-96	99
Plomo	90-99	---	99
Fierro	90-99	95-98	94-99
Manganeso	90-99	---	---
Mercurio	90-97	---	---
Niquel	---	---	98-99
Selenio	90-97	---	---
Plata	90-97	---	96
Zinc	90-99	---	97

(1) Datos de: Culp, "Remoción de virus y bacterias en tratamientos avanzados", Junio 1972

(2) Datos de: Hindin and Benet, "Recuperación de agua por osmosis inversa", Water and Sewage Works. Febrero 1969

(3) Datos de: Estado del Arte. Revisión de aspectos en la salud por la recuperación de las aguas residuales para recarga de acuíferos. Noviembre de 1975

tiones hacia el eléctrodo negativo y de aniones hace el eléctrodo positivo.

Con este proceso se obtiene una alta eficiencia de remoción de sólidos iónicos disueltos.

Desinfección. Aún cuando la cloración con cloro gas ha sido el método más utilizado para la destrucción de bacterias y virus es necesario considerar que la formación de compuestos organoclorados originados por esta práctica de desinfección puede ocasionar efectos adversos. En la tabla 8 se muestran algunos de estos compuestos.

La eficiencia del cloro como proceso de desinfección en el tratamiento de aguas residuales depende del tiempo de contacto, concentración de cloro, la presencia de partículas, el mezclado, el pH, la temperatura y las características de los microorganismos presentes.

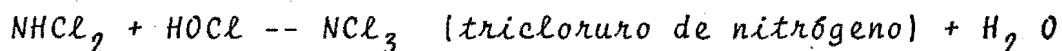
Otras formas de cloración se realizan con hipoclorito de calcio $Ca(OCl)_2$; hipoclorito de sodio $NaOCl$ y dióxido de cloro, ClO_2 . El hipoclorito de sodio y de calcio se usan frecuentemente en plantas de tratamiento muy pequeñas donde la simplicidad y seguridad de tratamiento son más importantes que el -

TABLA 8 COMPUESTOS POSIBLEMENTE CANCERIGENOS EN UNA PLANTA DE
 LADOS ACTIVADOS (ref 14)

2-3 Oxido de butileno
 B Propiolactona
 Tiourea
 Etil carbamatos
 2-Tiouracil
 4-Etoxifenilurea
 Bencidina
 4,4' - Dihidroxi-a, b-dietil estilbina
 2 - Naftilamina
 4,4' - Bis (dimetilamino) benzofenona
 P - Fenilazofenol
 P - Fenilazoanilina
 9-10 - Dimetil antraceno
 1,2 - Benzantraceno
 7 - Metil -1,2 - benzantraceno
 9,10 - Dimetil -1,2 - benzantraceno
 1,2,5,6 - Dibenzantraceno
 3/4 benzopireno
 1,2,4.5 Dibenzopireno
 20 - Metilcloranteno
 2 - Nitrofluoreno
 2 - Fluorenamino
 N-2 - Fluorenil acetamida
 7,9 - Dimetilbenzo (c) acridina
 7,10 - Dimetilbenzo (c) acridina
 Dibenzo (a,h) acridina
 Dibenzo (a,j) acridina

costo. El uso de dióxido de cloro, para el tratamiento de --
aguas residuales, no esta aún bien definido pero presenta al-
gunas propiedades que puede ser importantes como el hecho de-
que no reaccionen con el amoniaco ni con sustancias orgáni---
cas.

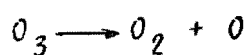
El efluente de muchas plantas de tratamiento contienen canti-
dades significativas de nitrógeno, principalmente forma de --
amoniaco o nitratos. Debido a que el ácido hipocloroso es un
agente oxidante muy activo reacciona fácilmente con el amonia-
co formando tres tipos de cloraminas en reacciones sucesivas:



Estas cloraminas formadas tienen propiedades desinfectantes.-
pero menores que el hipoclorito original. Con suficiente ---
tiempo de contacto las monocloraminas son tan efectivas como-
el cloro.

El ozono es un agente altamente oxidante con propiedades bac-

tericidas muy semejantes a las del cloro. La ozonación tiene como principal objetivo la desinfección del agua tratada, sin embargo presenta otras propiedades como el control de olor y la remoción de compuestos orgánicos solubles refractarios por lo que en algunas ocasiones se utiliza en vez de carbón activado. Cuando el ozono se agrega al agua tratada, éste se convierte de inmediato a oxígeno molecular muy activo de la siguiente forma:



Debido a este fenómeno no persisten, en el efluente tratado, residuos químicos como en el caso de los residuos del cloro. La ozonación no produce sólidos disueltos y no es afectado por iones amonio ni por el pH. Este proceso es muy recomendable cuando en el caso de usar cloración se tendría que realizar una decloración.

Existen desinfectantes físicos que son luz y calor.

Las altas temperaturas son muy eficaces en la destrucción de bacterias; la luz solar es también un buen desinfectante y en particular la luz ultravioleta tiene acciones altamente germicidas; existen lámparas que emiten rayos ultravioleta que prácticamente esterilizan el agua. La eficiencia del proceso

depende de la penetración del rayo dentro del agua. La materia suspendida y las moléculas orgánicas disueltas absorben la energía UV interfiriendo su poder bactericida por lo que su uso es difícil en sistemas de agua con materia particulada.

En la tabla 3 se relacionan a cada contaminante con las operaciones unitarias que más posibilidad tiene de influir en su remoción y la transformación. Esta tabla se construyó tratando de identificar a las operaciones unitarias con el proceso ambiental que le sea más semejante.

7.5.2 Comportamiento de los contaminantes en las operaciones unitarias

A continuación se presentan las principales operaciones unitarias que remueven o transforman los contaminantes presentes en las aguas residuales.

- Inorgánicos y Metales

Las operaciones unitarias que mejor remueven los metales son: sedimentación, coagulación, filtración, precipitación química, adsorción, tratamientos aerobios, intercambio iónico, ósmosis inversa y electrodiálisis.

- Plaguicidas Clorados

Las operaciones unitarias que ejercen una mejor remoción son: sedimentación (por efectos de sorción), coagulación (por efectos de coprecipitación y sorción, filtración (iden coagulación), adsorción, sistemas aerobios, sistemas facultativos y osmosis inversa.

- Binefilos Policlorados PCBs

Las principales operaciones unitarias que remueven estos contaminantes son las siguientes: sedimentación, filtración y adsorción (sorción), oxidación química, sistemas aerobios y facultativos (bioacumulación) y osmosis inversa.

- Hidrocarburos Alifáticos Halogenados:

Las principales operaciones unitarias que remueven estos contaminantes son: mezcla, transferencia de oxígeno (volatilización) y oxidación química.

- Esteres Halogenados

Las principales operaciones unitarias que remueven a estos contaminantes son: oxidación química, sistemas aerobios, ---

anaerobios y facultativos (biodegradación).

- Aromáticos Monocíclicos

Las operaciones unitarias que mayor remueven estos contaminantes son: transferencia de oxígeno, adsorción y osmosis inversa y en menor grado sistemas aerobios, oxidación química y osmosis inversa.

- Esteres del Acido Ftálico

Las operaciones unitarias que mejor remueven estos contaminantes son los siguientes: sedimentación filtración y adsorción (sorción, oxidación química, esteres aerobios, anaerobios facultativos y osmosis inversa).

- Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos

Las principales operaciones unitarias que remueven estos contaminantes son: sedimentación, filtración y adsorción (sorción) oxidación química, sistemas aerobios, anaerobios, facultativos y osmosis inversa.

- Nitrosaminas y Compuestos Similares

	Cribado
Pretratamiento	Molido y desmenuzado
	Desarenadores
	Sedimentación
Tratamiento Primario	Flotación y remoción de grasas
	Floculación y precipitación química
	Filtros percoladores
	Lodos activados
	Lagunas de oxidación y aeración extendida
Tratamiento Secundario	Lagunas de estabilización: aerobios, facultativos, anaerobios
	Contacto anaeróbico
	Discos rotatorios
	Cloración
Desinfección	Ozonación
	Irradiación
	Remoción de sólidos suspendidos
	a) microcribado
Tratamiento Avanzado	b) clarificación
	c) filtros rápidos
	d) filtros con diatomitas

Remoción de compuestos orgánicos disueltos

- a) adsorción
- b) oxidación química (ozonación)

Remoción de compuestos inorgánicos disueltos

- a) electrodiálisis
- b) intercambio iónico
- c) ósmosis inversa
- d) precipitación química

Tratamiento
Avanzado

Remoción de Nutrientes (nitrógeno)

- a) nitrificación - desnitrificación
- b) desgasificación
- c) cloración a punto de quiebre
- d) intercambio iónico

Remoción de nutrientes (fósforo)

- a) precipitación química
- b) intercambio iónico

En la tabla 10 se presentan las operaciones unitarias que intervienen en los sistemas de tratamiento destacando a la operación de mayor influencia en cada sistema. Del análisis de esta tabla se concluye que las operaciones unitarias que se -

TABLA 10 OPERACIONES UNITARIAS EN

SISTEMA DE TRATAMIENTO		Mezcla	Flotación	Sedimentación	Filtración	Coagulación
PRIMARIO	PRETRATAMIENTO					
	SEDIMENTACION			XX		
	FLOTACION Y REMOCION DE GRASAS		XX			
	FLOCULACION Y PRECIPITACION QUIMICA	X		X		XX XX
SECUNDARIO	FILTROS PERCOLADORES				XX	
	LODOS ACTIVADOS	X				
	LAGUNAS DE OXIDACION			X		
	LAGUNAS DE ESTABILIZACION			X	XX	
	BIODISCOS					
AVANZADO	FILTROS RAPIDOS				XX	
	FILTROS CON DIATOMITAS				XX	
	ADSORCION (CARBON ACTIVADO)				X	
	PRECIPITACION QUIMICA	X		X		XX XX
	OSMOSIS INVERSA				X	
	INTERCAMBIO IONICO				X	
	ELECTRODIALISIS					
	NITRIFICACION - DENITRIFICACION			X		
DESINFECCION						

XX Operación predominante

X Operación

LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO

	Precipitación química	Transferencia de gas	Fotólisis	Hidrólisis	Oxidación química	Sorción	Difusión	Bioacumulación	Biodegradación
X			X		X				
							X	XX	
	XX	X		X	X		X	XX	
	X	X		X	X		X	XX	
	X				X		X	XX	
							X	XX	
					X				
					X				
X			X		XX				
					X		XX		
						XX			
	XX	X		X	X		X	XX	
				XX					

eración secundaria

presentan en más sistemas de tratamiento son las siguientes,-
en orden decreciente:

Adsorción

Filtración

Sedimentación

Biodegradación

Bioacumulación

Mezcla

Transferencia de gas

Oxidación química

Fotólisis

Precipitación química

Hidrólisis

Coagulación

Difusión

Flotación

7.5.4 Alternativas de tratamiento

De acuerdo con los incisos anteriores y a partir del análisis de las tablas 3, 9 y 10 es posible determinar combinaciones de trenes de tratamiento con lo cual es posible predecir la eficiencia de remoción de contaminantes.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las principales conclusiones de este trabajo:

- Las fuentes de contaminación del agua son de origen natural, doméstico, industrial y agrícola.
- Los contaminantes son transportados mediante distintos mecanismos como: lluvia, corrientes superficiales y subterráneas, drenajes agrícolas, drenajes municipales, --- etc. De esta forma los contaminantes llegan a diversos cuerpos de agua reintegrándose al ciclo hidrológico cuando no se destine a otros usos.
- La contaminación del agua afecta al hombre por el uso y reuso que este hace de ella para realizar sus actividades--

des. El medio ambiente también se ve afectado por la --
contaminación y esto indirectamente afecta también al --
hombre.

- Durante el proceso de transporte de los contaminantes --
existe una autopurificación que implica la remoción natu--
ral de diversos contaminantes.
- Los procesos naturales que remueven a los contaminantes--
se llaman procesos ambientales y son: volatilización, --
sorción, hidrólisis, oxidación, fotólisis, bioacumula---
ción y biodegradación.
- Las características físicoquímicas de los contaminantes--
permiten conocer la influencia que los procesos ambienta--
les tendrán en su remoción. Por ejemplo se sabe que la--
volatilización influye en compuestos con alta presión de
vapor y baja solubilidad.
- La sorción es el proceso que influye en la remoción de --
la mayoría de los compuestos que se presentan en la ta--
bla 3; influye en los siguientes grupos de contaminan---
tes: metales, plaguicidas, aromáticos monocíclicos, bi--
fenilos policlorados, nitrosaminas y en algunos eteres --
halogenados y ésteres del ácido ftálico.

- La volatilización es el proceso que tiene mayor influencia en la remoción de los hidrocarburos alifáticos halogenados y en menor grado en plaguicidas, bifenilos policlorados y aromáticos monocíclicos.
- La fotólisis es el principal proceso que influye en la remoción de hidrocarburos aromáticos policíclicos y en menor grado en plaguicidas y nitrosaminas.
- La oxidación e hidrólisis tienen influencia en la remoción de aromáticos monocíclicos.
- La bioacumulación se presenta en casi todos los compuestos en los que influye la sorción: metales, plaguicidas, ésteres del ácido ftálico principalmente.
- Los estudios de biodegradación consideran que puede presentarse para algunos plaguicidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos y esterés del ácido ftálico.
- La influencia en la remoción de éteres halogenados no está bien definida debido a la incertidumbre que se ha presentado para determinar sus características físicoquímicas.

- En las operaciones unitarias se presentan los procesos ambientales mencionados de ahí que sea posible predecir la remoción de los contaminantes en las distintas operaciones unitarias.

A continuación se presentan las principales recomendaciones de este trabajo.

- Debido a que el conocimiento de características FQB de los contaminantes permiten conocer su susceptibilidad a las diversos procesos ambientales es muy recomendable -- realizar a nivel experimental los estudios respectivos -- para aquellos compuestos cuyas características no se han establecido o existe incertidumbre como es el caso de -- los eteres halogenados, nitrosaminas, bifenilos policlorados, etc.
- La cloración como proceso de desinfección presenta el -- problema de crear compuestos organoclorados, en algunos casos, algunos de los cuales son posiblemente cancerígenos, por lo que es recomendable desarrollar las investigaciones necesarias para considerar otros tipos de desinfección que no incremente los costos del tratamiento pero que tampoco ocasione este problema.

- El diseño de los sistemas de tratamiento debe realizarse de acuerdo con las características del agua residual para que éste contemple las operaciones óptimas. Si se tiene, por ejemplo, un agua residual con cantidades elevadas de hidrocarburos alifáticos halogenados se requeriría una planta cuya operación unitaria principal presentara una alta posibilidad de volatilización.

- Para que los sistemas de prevención y de protección puedan funcionar adecuadamente es necesario desarrollar y actualizar la reglamentación para prevenir la contaminación así como el reglamento para la calidad FQB de las aguas residuales tratadas.

9. REFERENCIAS

1. Flores Herrera F., Elías López B., y otros. "*Estudio -- del Impacto de Metales Pesados en el Recurso Hidráulico*" 2a. Etapa. Informe elaborado para SARH por el Instituto de Ingeniería, UNAM. Octubre 1979.
2. Bishop, D., "*Toxics in Municipal and Industrial Waste-- Water*". Municipal Environmental Research Laboratory. - Cincinnati, Ohio 45268. Junio 1980.
3. Laboratorio ABC Química, Investigación y Análisis S.A. - "*Metodología Analítica para el Monitoreo y Control de la Calidad de las Aguas Residuales Tratadas*". Informe elaborado para la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del DDF. Diciembre 1980.

4. Hackman, E.E., "Toxic Organic Chemicals. Destruction - and Waste Treatment". Pollution Technology Review No 40 Chemical Technology Review No 107. Noyes Data Corporation New Jersey 1978.
5. EPA, "Water - Related Environmental Fate of 129 Priority Pollutants" Vol I y II. Dic. 1979. PB 80-204373.
6. Mabey, W.R., y Mill, T. "Critical review of Hidrolysis-o organic compounds in water under environmental conditions" 1978. J. Phys. Chem. Ref. Date 7:383.
7. Liss, P.S. y Sater P.G. "Flux of gases across the air - sea interface" 1974, Natura 247: 181-184.
8. Kenaga, E.E. y Goring C.A.I., "Relationship between water solubility, soil-sorption, octanol-water partitio---ning, and bioconcentration of chemical in biota" 1978,- Amer. Soc. Test. Mat. Third Aquatic Tox. Symp., New -- Orleans, La.
9. Dreisbach, R.R., "Pressure-volume-temperature relationship of organic compounds". 1952 Hand boock Poblshers, Sandushy, Ohio.

10. Hansch, C. et al "Partition coefficients and the structure activity relationship of the anesthetic gases". --- 1974. J. Med. Chem. 18(6): 546-548.
11. Tute, M.S., "Principles and practice of Hansch analysis: a guide to structure-activity correlation for the medicinal chemist" 1971.
12. Quayle, or "The para chors of organic compounds" 1953-chem. Review 53: 439-585.
13. Moriguchi, I., "Quantitative structure activity studies. I. Parameters relating to hidrophobicity". 1975. Chem. Pharm. Bull 23 (2): 247-257.
14. EPA., "Contaminants Associated with Direct and Indirect Reuse of Municipal Wastewater". Marzo 1978.