



## EL REUSO DEL AGUA EN MÉXICO

**Felipe I. Arreguín Cortés**  
**Gabriela Moeller Chávez**  
**Violeta Escalante Estrada**  
**Armando Rivas Hernández**

**Instituto Mexicano de Tecnología del Agua**

### ANTECEDENTES

El tratamiento y el reuso del agua juegan un papel fundamental en la administración y manejo de este recurso en todos los países, especialmente en aquellos que presentan problemas de escasez. En los países industrializados se han desarrollado muchos proyectos e investigaciones para el reuso del agua con los beneficios adicionales de protección del ambiente y prevención de riesgos a la salud. En los países en desarrollo también es necesario cubrir estos aspectos, sólo que se requiere utilizar tecnologías de menor costo. La evolución del tratamiento y reuso data de tiempos remotos y se puede clasificar en tres grandes épocas (Asano, 1995b):

#### **Sistemas ancestrales de conducción y desalojo de las aguas residuales (3000 A.C. a 1850)**

Vestigios de estos sistemas se pueden encontrar en la civilización Minoan, en la antigua Roma, o en las viejas granjas en Alemania e Inglaterra. Otra muestra es el uso de alcantarillado para el desalojo de desechos en Londres, Boston y París.



### **El despertar del saneamiento (1850 - 1950)**

Acontecimientos importantes en esta época son el control de la epidemia del cólera en Londres por John Snow en 1850, el desarrollo de la teoría de la prevención de la tifoidea por Budd en Inglaterra, el avance de la microbiología con Koch en Alemania y con Pasteur en Francia, el uso del cloro como desinfectante, el conocimiento de la cinética de la desinfección y el uso de los procesos biológicos para el tratamiento de las aguas residuales en el año de 1904 por Ardem y Lockett en Inglaterra.

### **La era del reuso y reciclaje de las aguas residuales (A partir de 1950)**

El reuso planeado de las aguas residuales en Estados Unidos empezó a principios de los años 20 en la agricultura en los estados de Arizona y California. En Colorado y Florida se desarrollaron sistemas para el reuso urbano. La normatividad correspondiente también se inició en California en la misma época. A partir de 1965, se impulsa de manera decisiva el reciclaje y el reuso de las aguas residuales. En Israel, se permite a partir de 1965 el uso de efluentes provenientes de tratamiento secundario para riego (con excepción de los productos que se consumen crudos).

Un aspecto de gran preocupación es el efecto del uso de las aguas residuales en la salud. La Organización Mundial de la Salud publicó un reporte denominado "Reuso de efluentes: Métodos de tratamiento de aguas residuales y su seguridad para la salud" (Serie de reportes Técnicos de la OMS No. 517, 1973). Los trabajos de investigación a nivel mundial a este respecto continuaron y los conocimientos en salud pública y epidemiología avanzaron. En 1985 se realizó una reunión de expertos en Engelbert, Suiza donde se actualizó y complementó el documento anterior, el cual se publicó como el No. 778 de la OMS en 1989.



La Directiva de la Comunidad Económica Europea (91/271/EEC) declara que las aguas residuales tratadas deben reusarse cada vez que sea apropiado y que las rutas de disposición deben minimizar los efectos adversos en el ambiente y en la salud.

Desde los años 70 se ha estudiado en forma intensiva el potencial de los riesgos a la salud asociados con el uso de aguas residuales tratadas, para usos no potables y potables. El número de proyectos aumentan cada día y dan lugar a la evolución de nuevas alternativas.

Los tipos de reuso más comunes son el aprovechamiento del agua tratada en actividades agrícolas, industriales, recreativas y recarga de acuíferos. En países desérticos como Arabia, Túnez, Egipto e Israel el reuso del agua en agricultura ha tomado enorme importancia; en Estados Unidos, India y en México el reuso se practica en la industria (agua para enfriamiento, lavado e inclusive para controlar incendios), en el medio urbano, en Japón, el agua se reusa en riego de plantas de ornato, jardines, parques, áreas de golf y en algunas localidades para las evacuaciones en los retretes; en cuanto recarga de acuíferos, en varios países se han realizado investigaciones para medir los impactos asociados a la salud pública por patógenos, virus, metales pesados y en general por el transporte de contaminantes. Desde 1992 se han desarrollado normas para el control de esta actividad.

Se puede decir que en la actualidad de manera general son muchos los países en donde se practican diferentes tipos de reuso, y que existen muchos estudios que justifican y apoyan esta práctica.



## SITUACIÓN DEL REUSO EN MÉXICO

Con una superficie de casi dos millones de kilómetros cuadrados, tiene una precipitación media anual de 777 milímetros, lo cual equivale a 1640 kilómetros cúbicos. Sin embargo su distribución espacial es bastante irregular, en el 42 % del territorio, principalmente en el norte, las precipitaciones medias anuales son inferiores a los 500 milímetros, y en algunos casos, como en las zonas próximas al río Colorado, son inferiores a 50 milímetros. Por el contrario en el 7 % del territorio, existen zonas con precipitaciones medias anuales superiores a los 2 000 milímetros, localizándose regiones donde se registran precipitaciones mayores a los 5000 milímetros. En general estas precipitaciones suceden en unos cuantos meses, el 80 % de las lluvias se presentan en el verano.

Del agua que se precipita sobre el territorio el 27 % se transforma en escurrimiento superficial, esto es, se cuenta con 410 kilómetros cúbicos de este líquido en las 320 cuencas del país.

Nuevamente la distribución espacial es muy irregular, el 50 % del escurrimiento superficial se genera en el sureste, en tan sólo el 20 % del territorio, mientras que en una porción del norte que abarca el 30 % del territorio se genera sólo el 4 %.

México cuenta con un volumen promedio anual de 5200 m<sup>3</sup> de agua por habitante, cifra que lo ubica teóricamente como un país sin problemas de agua. Sin embargo, al efectuar el balance regional aparecen zonas con marcados déficit, donde el reuso podría ser una solución. La tabla No. 1 contiene los datos de extracción, consumo y descarga para los diversos usos a nivel nacional.



La infraestructura de tratamiento de aguas residuales municipales es de 808 plantas de tratamiento, de las cuales operan 615, aunque las eficiencias no siempre corresponden a las de diseño: una capacidad instalada de  $55 \text{ m}^3/\text{s}$  y un gasto tratado de  $35.3 \text{ m}^3/\text{s}$ . Este último es el caudal para aprovecharse en reuso de aguas tratadas. La tabla No. 2 presenta el inventario nacional de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, y la No. 3 (verla en Anexo Memoria Reuso del Agua en México) muestra el mismo inventario por proceso.

**TABLA 1 EXTRACCIÓN, CONSUMO Y DESCARGA DEL AGUA PARA LOS DIFERENTES USOS EN EL PAÍS.**

Uso	Extracción $\text{m}^3/\text{s}$	%	Consumo $\text{m}^3/\text{s}$	%	Descarga $\text{m}^3/\text{s}$	
Riego	1760	77	1478	88	282	46
Industria	295	13	117	7	178	26
Usos municipales	235	10	86	5	149	25
Total	2290	100	1681	100	609	100

Jiménez, et. al.(1996).

Actualmente las aguas residuales municipales se reusan en regiones con poca disponibilidad de agua, aún cuando en la mayoría de los casos se hace en forma inapropiada. Las aguas residuales de la Ciudad de México se utilizan en la agricultura en el distrito de riego 03 (aguas no tratadas). En la industria, se usan aguas residuales tratadas en la papelera de San Cristóbal. En Lechería Edomex. y Tula Hgo., se emplean para enfriar los sistemas de generación de energía eléctrica. En recreación se han utilizado aguas residuales tratadas en el llenado de lagos como el de Chapultepec, San Juan de Aragón y Xochimilco, entre otros. Además se usan para el riego de áreas verdes.



El uso de agua residual para riego agrícola tiene sus orígenes en la construcción de una salida para las aguas residuales del Valle de México. En el año 1890 se comenzaron a aprovechar estas aguas en la región del Valle del Mezquital en Tula, Hgo., para el riego por inundación de cereales, hortalizas y alfalfa. Posteriormente, esta región se estableció como el Distrito de Riego 03, ampliándose a la fecha al Valle de Alfajayucan en el Distrito de Riego 100, también en Hidalgo.

Dentro del Valle de México, algunas áreas ubicadas a lo largo del Gran Canal del Desagüe también aprovechan las aguas residuales originadas en la Ciudad de México, principalmente en Chalco y Chiconautla en el Estado de México. Otros distritos que utilizan aguas residuales son Valsequillo, Pue; Tulancingo, Hgo, y Ciudad Juárez, Chihuahua.

Aun siendo el riego con aguas residuales una práctica común y extensiva en México, técnicamente sólo se han realizado estudios de sus efectos en las zonas aledañas al área metropolitana de la Ciudad de México (Tula, Chiconautla, Lago de Texcoco y Xochimilco) y en General Escobedo, N.L., que utiliza las aguas residuales de la ciudad de Monterrey, (Jiménez, et. al. 1996).

En 1995 se empleaban  $102 \text{ m}^3/\text{s}$  de agua residual para cubrir 256 827 ha, sin diferenciar cuánta era de origen industrial y cuánta municipal, y sin control ni supervisión sanitarios. Esto, junto con la preferencia de los usuarios por las aguas residuales sobre el agua clara, hicieron de su empleo una práctica ordinaria, sin ningún control sanitario hasta la aparición de la NOM 032 y 033 en su versión de Norma Técnica Ecológica de 1988. La NOM 067 completaba el esquema regulatorio, el cual ahora se incluye en la NOM 001/Ecol96.



**TABLA 2 INVENTARIO NACIONAL DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES, JUN. 1997**

ESTADO	No. De Plantas Construidas	Capacidad Instalada (lps)	No. de Plantas operando	Gasto Tratado (lps)
AGUASCALIENTES	94	2462.00	79	1968.10
BAJA CALIFORNIA	10	2495.00	10	2755.00
BAJA CALIFORNIA SUR	18	1028.40	17	586.80
CAMPECHE	11	123.36	11	36.61
COAHUILA	13	912.50	7	675.00
COLIMA	23	487.00	16	304.20
CHIAPAS	6	108.72	0	0.00
CHIHUAHUA	18	1404.0	18	642.20
DISTRITO FEDERAL	24	5978.00	22	3379.00
DURANGO	43	2704.40	39	2047.00
GUANAJUATO	9	1665.00	2	790.00
GUERRERO	13	1829.00	13	1443.00
HIDALGO	5	148.36	1	14.88
JALISCO	69	3222.98	51	1726.01
ESTADO DE MEXICO	17	2580.00	17	1225.00
MICHOACAN	13	1224.00	10	531.00
MORELOS	30	1314.90	20	810.00
NAYARIT	48	1806.80	32	986.70
NUEVO LEON	28	8821.00	27	6002.00
OAXACA	22	755.74	17	313.10
PUEBLA	11	339.40	8	173.90
QUERETARO	13	834.20	12	298.20
QUINTANA ROO	14	1188.00	12	790.91
SAN LUIS POTOSI	12	423.00	4	265.00
SINALOA	15	1031.00	10	1030.00
SONORA	64	2394.70	46	1432.70
TABASCO	23	1068.20	19	843.50
TAMAULIPAS	14	2148.00	11	1719.10
TLAXCALA	33	878.80	23	679.22
VERACRUZ	61	3331.00	43	1694.00
YUCATAN	8	29.3	8	14.50
ZACATECAS	26	247.00	10	164.00
<b>NACIONAL</b>	<b>808</b>	<b>54983.76</b>	<b>615</b>	<b>35340.63</b>

Fuente : CNA, Subdirección general de construcción.1997.

En la tabla No. 4 se presentan las ciudades cuyas descargas se aprovechan en riego , como se puede observar, sólo las descargas de 14 de ellas reciben algún tratamiento previo.



El reuso industrial de las aguas residuales municipales es aún muy restringido, se identifican actualmente sólo dos tipos de práctica. Una de ellas corresponde a plantas industriales que se abastecen directamente del alcantarillado, y ellas mismas se encargan del tratamiento para cumplir con sus requerimientos de calidad. En este caso están las termoeléctricas del Valle de México y Tula de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la refinería de Pemex en Tula y Altos Hornos de México, en Monclova. La termoeléctrica de Tula, por ejemplo, cuenta con una planta que trata de 850 a 1300 l/s de agua residual del Gran Canal para emplearla en enfriamiento. La otra práctica es el tratamiento y suministro de agua tratada a un reducido grupo de empresas, algunas de ellas localizadas en la ciudad de Monterrey, y otras en la zona metropolitana del Valle de México. La distribución geográfica de la industria en México y el volumen de agua utilizada se presenta en la tabla No. 5.

El reuso en Monterrey fue la primera experiencia en su tipo en el país y data de 1955. La empresa Agua Industrial de Monterrey opera una planta de 300 l/s y distribuye el agua a varias industrias. En el estado de México la planta de San Juan Ixhuatepec, S.A. abastece a los socios industriales con 160 l/s de agua tratada que capta del Río de Los Remedios.

## **REÚSO DE AGUA EN EL VALLE DE MÉXICO**

En lo que respecta a la recolección de aguas residuales, el Valle de México cuenta con un solo sistema de drenaje que funciona para el Distrito Federal y el Estado de México que descargan en los interceptores generales del sistema de drenaje profundo, el cual las conduce por una salida artificial localizada en el extremo norte de la cuenca del Valle de México.



En el Distrito Federal la red del sistema abarca cerca de 10,000 kilómetros de largo, con 68 estaciones de bombeo, varios diques y lagunas para controlar el flujo, 111 kilómetros de canales abiertos, 42 kilómetros de ríos utilizados para drenaje y 118 kilómetros de túneles. Según el censo de 1990, el 82 por ciento de los 15 millones de habitantes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, ZMCM, recibe los servicios del sistema de drenaje; el 6 por ciento utiliza fosas sépticas, y alrededor del 9 por ciento no posee ningún sistema de drenaje.

Existen 21 plantas de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal (17 a nivel secundario y 4 a nivel terciario) y 14 en el Estado de México, las cuales tratan un flujo total de 6.2 y 1.69 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. El tratamiento secundario en todas estas plantas se proporciona mediante los trenes constituidos por sedimentación primaria y tratamiento biológico a base de lodos activados.

Los tratamientos terciarios, consisten en los métodos de coagulación/floculación, sedimentación, filtración con arena y desinfección. En caso de aplicar desinfección, se añade cloro para lograr un residual total de 1 mg/l, en la planta de tratamiento o en el punto de reutilización. Las plantas del Distrito Federal están ubicadas para abastecer a determinadas zonas dentro del área de servicio. Por lo tanto, las características del influente pueden ser distintas en cada planta, dependiendo de su origen: doméstico o industrial. La tabla No. 6 presenta información sobre las plantas de tratamiento en operación en el D.F., y la No. 7 los usos del agua residual tratada en esta misma entidad.



TABLA 4 CIUDADES CUYAS DESCARGAS SE APROVECHAN EN RIEGO AGRÍCOLA

ESTADO	CIUDADES
Aguascalientes	Aguascalientes(1)
Baja California	Ensenada (1) y Mexicali
Baja California Sur	La Paz(1)
Chihuahua	Cd. Juárez, Chihuahua(1), Delicias e H. del Parral
Coahuila	Monclova, Nueva Rosita, Piedras Negras, Saltillo y Torreón (1)
Colima	Colima
Distrito Federal	Distrito Federal (1)
Durango	Durango
Guanajuato	Irapuato (1), León y Salamanca (1)
Guerrero	Chilpancingo, Iguala
Hidalgo	Pachuca y Tula
Estado de México	Toluca
Michoacán	Morelia, Uruapan y Zamora
Morelos	Cuatla (1)
Nuevo León	Monterrey (1)
Oaxaca	Juchitán de Zamora y Oaxaca (1)
Puebla	Atlixco, Izúcar de Matamoros, Puebla, San Martín Texmelucan y Tehuacán
Querétaro	Querétaro
San Luis Potosí	Matehuala, San Luis Potosí
Sinaloa	Culiacán, Guasave (1), Mazatlán (1)
Sonora	Cd. Obregón, Navojoa, Nogales (1), San Luis Río Colorado
Tamaulipas	Cd. Victoria y Nuevo Laredo
Tlaxcala	Apizaco (1) y Tlaxcala (1)
Veracruz	Córdoba, Jalapa (1) y Orizaba (1)
Zacatecas	Fresnillo y Zacatecas (1)

Fuente: Jiménez, et. al., 1996.(1). Con infraestructura de tratamiento

En resumen aproximadamente el 90 por ciento de las aguas residuales municipales de la ZMVM permanece sin tratamiento, y se utilizan para regar 80,000 hectáreas de sembradíos en el Valle del Mezquital, en el Estado de Hidalgo, hacia el norte. Los drenes de esta zona descargan hacia los tributarios del río Pánuco, el cual desemboca



en el Golfo de México. Aproximadamente el 10 por ciento de las aguas residuales tratadas en la ZMVM se reutiliza a nivel local en distintos proyectos de riego de parques y llenado de lagos en la ciudad.

**TABLA 5 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA INDUSTRIA EN MÉXICO**

ESTADO	VOLUMEN UTILIZADO, (m <sup>3</sup> /d)	No. INDUSTRIAS
AGUASCALIENTES	14,519	35
BAJA CALIFORNIA	864,644	27
BAJA CALIFORNIA SUR	213,256	15
CAMPECHE	1,268,327	15
COAHUILA	154,223	31
COLIMA	6,222,805	13
CHIAPAS	137,181	64
CHIHUAHUA	49,179	24
DURANGO	60,279	16
GUANAJUATO	86,027	62
GUERRERO	15,353	21
HIDALGO	76,093	16
JALISCO	358,265	62
ESTADO DE MEXICO	400.,85	127
MICHOACAN	1,498,840	49
MORELOS	245,895	46
NAYARIT	113,926	9
NUEVO LEON	67,208	27
OAXACA	569,989	21
PUEBLA	234,127	65
QUERETARO	128,809	44
QUINTANA ROO	63,139	3
SAN LUIS POTOSI	335,999	18
SINALOA	407,009	50
SONORA	3,202,142	104
TABASCO	519,269	13
TAMAULIPAS	883,773	56
TLAXCALA	29,786	27
VERACRUZ	14,712,405	307
YUCATAN	16,380	16
ZACATECAS	45,428	25
TOTAL	32,944,460	1408

Fuente : Jiménez, B. et.al. 1996



## Restricciones para el segundo uso

En el ámbito estatal las Normas de Calidad de Agua Renovada para Reuso, del Reglamento para el Reuso del Agua en el Distrito Federal, establecen los valores máximos que se toleran en varios parámetros para las siguientes aplicaciones: recarga de acuíferos, riego de áreas verdes, uso agrícola, usos recreativos, forrajes y pasturas, abrevaderos, vida silvestre y enfriamiento en la industria.

**TABLA 6 PLANTAS DE TRATAMIENTO EN OPERACIÓN EN EL DISTRITO FEDERAL**

PLANTA	CAPACIDAD NORMAL (L/S)	CAPACIDAD DE OPERACIÓN (L/S)	NIVEL DE TRATAMIENTO
Chapultepec	160	110	Secundario
Coyoacán *	400	351	Secundario
Ciudad Deportiva *	230	182	Secundario
San Juan de Aragón *	500	261	Secundario
Tlaltelolco	22	16	Secundario
Cerro de la Estrella	4,000	2,100	Terciario
Itztacalco	13	10	Terciario
Bosques de las lomas	55	35	Secundario
Acueducto de Guadalupe *	87	87	Secundario
Ciudad Universitaria <sup>(1)</sup>	60	---	Secundario
H. Colegio Militar <sup>(2)</sup>	30	26	Secundario
El Rosario	25	18	Terciario
Reclusorio Sur	30	30	Secundario
San Luis Tlaxialtemalco	150	110	Terciario
Abasolo	15	15	Secundario
Parres	7.5	2	Secundario
San Miguel Xicalco	7.5	6	Secundario
La Lupita	15	13	Secundario
PEMEX -Picacho	26	15	Secundario
Campo Militar <sup>(2)</sup>	30	20	Secundario
Total 20	5,860	3,243	



\* Plantas concesionadas

(1) Operada por personal de la UNAM. (2) Operadas por personal militar. DGCOH, 1995

**TABLA 7 USOS DEL AGUA RESIDUAL TRATADA EN EL DISTRITO FEDERAL**

<b>USO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA</b>	<b>EN 1995</b>	<b>EN 1996</b>	<b>1997</b>
Areas verdes y lagos	54%	54%	54%
Recarga	20%	20%	20%
Riego agrícola	13%	13%	13%
Industrial	08%	08%	08%
Comercio	05%	05%	05%

DGCOH, 1995

En el contexto nacional como ya se dijo se aplica la NOM 001/Ecol 96. Por su parte, la Comisión Nacional del Agua publicó el Manual Técnico para el Uso, Aprovechamiento y Manejo de Aguas Residuales en el Riego Agrícola. En éste los niveles de tratamiento se vinculan con la calidad y uso del agua, de tal manera que la integración de procesos y operaciones unitarias se designa como sigue:

Nivel Secundario: cribado, desarenado, sedimentación primaria, tratamiento biológico, sedimentación secundaria y desinfección. El tren de tratamiento de lodos se compone de la digestión y espesamiento.

Nivel terciario: cribado, desarenado, sedimentación primaria, tratamiento biológico, sedimentación secundaria, coagulación - floculación, filtración y desinfección. El tren de lodos es el descrito en el tren anterior más el secado.

Nivel avanzado: al tren de tratamiento terciario se le incorpora la adsorción entre la filtración y la desinfección. El tren de lodos prevalece.



Repotabilización: el tren de tratamiento inicial corresponde al secundario, adicionando antes de la desinfección una dilución que se consigue con las siguientes operaciones:

a) Tren I: espumación, tratamiento químico, preozonación, filtración, ósmosis inversa y descarbonatación; b) Tren complementario: espumación, tratamiento químico, preozonación, filtración, postozonación y adsorción; la confluencia de los efluentes de estos dos trenes se somete finalmente a desinfección, con el consiguiente acondicionamiento y secado, de lodos biológicos y químicos.

## TECNOLOGÍA

A pesar de que el reuso de agua en el planeta tiene una historia larga, es importante señalar que no hace mucho tiempo e inclusive en algunos lugares hoy en día, las enfermedades transmitidas por este tipo de agua han sido una de las principales causas de mortalidad y morbilidad.

Con el desarrollo de las ciencias médicas y sanitarias e ingeniería ambiental, la mayoría de las enfermedades relacionadas con las aguas residuales han sido erradicadas o controladas en los países desarrollados. La situación en los países del tercer mundo, desgraciadamente no es la misma.

Los métodos y tecnologías de tratamiento pueden dividirse en dos grandes grupos: los de tecnología sencilla o apropiada y los de alta tecnología o sofisticada. El calificativo sencilla no implica baja eficiencia, sino que tales plantas tengan consumos bajos de energía y utilicen tecnologías simples, en las fases constructivas y operativas, y que utilicen sistemas basados en las transformaciones naturales, por ejemplo las lagunas de estabilización y algunos sistemas de infiltración en suelos, o sistemas acuáticos y vegetales en los denominados humedales.



La mejor tecnología técnica y económicamente disponible: BATEA (Best Available Technology Economically Available) es el concepto de tratamiento que podría ser adoptado en América Latina. Esto es, un traje hecho a la medida que satisfaga las necesidades específicas en cada caso, para cada sitio y para cada tipo de agua residual.

Conceptualmente **BATEA** significa:

Prevenir las descargas de contaminantes al medio ambiente o cuando esto no sea posible, reducirlas al mínimo, y la transformación de contaminantes a sustancias inocuas, y

Minimizar la contaminación del ambiente como un todo, adoptando "la mejor opción practicable y disponible" en relación con las sustancias descargadas.

Cuando las aguas residuales se van a usar para riego de cultivos para consumo humano las metas del tratamiento son diferentes a las del tratamiento convencional. La principal debe ser la remoción de microorganismos patógenos para proteger la salud de los productores y consumidores. La remoción de la materia orgánica que contiene nutrientes valiosos para la agricultura no es necesaria ni deseable, aunque las condiciones aeróbicas deben ser mantenidas debido a que un efluente anaeróbico de color negro y altamente oloroso, probablemente sería un problema ambiental para los productores y los residentes cercanos.

Si el agua residual va a ser descargada en un lago o un río, la principal meta es la remoción de la materia orgánica (bajando la DBO) para prevenir la contaminación de los cuerpos receptores. En este caso la remoción de patógenos, es una meta secundaria en un sistema de tratamiento convencional, además de que no están



diseñados para removerlos, y no lo hacen tan eficientemente como las lagunas de estabilización las cuales son usadas para tratar aguas residuales antes de la irrigación.

Para los sistemas de riego por aspersión o por goteo, las partículas suspendidas deben ser removidas para prevenir obstrucciones en los orificios del equipo de riego. En todos los casos, los sólidos rápidamente sedimentables deben separarse para prevenir sedimentación en los canales de distribución.

## **EFFECTOS EN LA SALUD CAUSADOS POR EL REÚSO DEL AGUA RESIDUAL**

Para tratar adecuadamente el agua residual y alcanzar la calidad requerida para determinado tipo de reuso, es necesario conocer cuales son los principales contaminantes de tipo químico y biológico. La transmisión de enfermedades puede ser por contacto directo con el agua, por inhalación o por ingestión de los contaminantes (Fleachem, 1983, Blum, et,al, 1995 OMS, 1976). Las medidas de control incluyen la eliminación o disminución de estos constituyentes en el agua tratada, además de realizar prácticas adecuadas que limiten o prevengan el contacto directo o indirecto con el agua a reusar. Los riesgos se clasifican como riesgos biológicos y químicos.

### **RIESGOS BIOLÓGICOS**

Los agentes infecciosos que pueden estar presentes en el agua residual cruda se clasifican en bacterias, parásitos (protozoarios y helmintos) y virus. La tabla No. 8, presenta los principales agentes infecciosos presentes en las aguas residuales crudas.



## SOBREVIVENCIA DE AGENTES PATÓGENOS

El extenso número de publicaciones sobre los periodos de supervivencia de los agentes patógenos excretados en el suelo, y en las superficies de los cultivos ha sido objeto de revisión por parte de Feachem y colaboradores, Shuval y colaboradores y Strauss. Existen amplias variaciones en los periodos de supervivencia notificados, que reflejan la variación de cepas, el efecto de los factores climáticos y las diferencias en las técnicas de análisis. Sin embargo, es posible resumir la información actual sobre la supervivencia de los agentes patógenos en el suelo y en los cultivos en los climas cálidos (20-30 °C), como se indica en la tabla No. 9.

**TABLA 8 AGENTES INFECCIOSOS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES CRUDAS**

Agente Patógeno	Enfermedad que causa
<b>Bacterias:</b>	
<i>Shigella spp.</i>	Shigelosis (Disentería bacilar)
<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea
<i>Salmonella</i> (1700 serotipos)	Salmonelosis
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
<i>Escherichia coli</i> (enteropatógena)	Gastroenteritis
<i>Yersinia Enterocolitica</i>	Yersiniosis
<i>Leptospira spp.</i>	Leptospirosis
<i>Legionella</i>	Enfermedad de los legionarios
<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastroenteritis
<b>Parásitos:</b>	
<b>Protozoarios:</b>	
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amibiasis (disentería amibiana)
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis
<i>Balantidium coli</i>	Balantidiasis (disentería)
<i>Cryptosporidium</i>	Cryptosporidiasis, fiebre, diarrea
<b>Helmintos:</b>	
<i>Ascaris lumbricoides</i> (gusanos redondos)	Ascariasis (lombriz intestinal)
<i>Ancylostoma spp.</i>	Larva cutánea inmigrante
<i>Ancylostoma dudodenale</i>	Anquilostomiasis
<i>Necator americanus</i>	Necatoriasis
<i>Strongyloides stercoralis</i>	Estrongiloidiasis
<i>Trichuris trichiura</i>	Tricuriasis
<i>Taenia spp.</i>	Teniasis



<i>Enterobius vermicularis</i>	Enterobiasis
<i>Echinococcus granulosus spp.</i>	Hidatidosis (fiebre hidatídica)
<b>Virus:</b>	
<i>Enterovirus</i> (72 tipos) (Polio, eco, coxsackie, enterovirus)	Gastroenteritis, anomalías cardíacas, meningitis
<i>Hepatitis A</i>	Hepatitis infecciosa
<i>Adenovirus</i> (47 tipos)	Enfermedades respiratorias, oculares
<i>Rotavirus</i> (4 tipos)	Gastroenteritis
<i>Parvovirus</i> ( 3 tipos)	Gastroenteritis
<i>Agentes Norwalk</i>	Diarrea, vómito y fiebre
<i>Reovirus</i> ( 3 tipos)	No establecido claramente
<i>Astrovirus</i> ( 5 tipos )	Gastroenteritis
<i>Calicivirus</i> ( 2 tipos )	Gastroenteritis
<i>Coronavirus</i>	Gastroenteritis

Fuente: WERF, 1996

## RIESGOS QUÍMICOS

Los compuestos químicos que implican riesgos sobre todo cuando el agua tratada se pretende usar indirectamente para consumo humano, o existe riesgo de infiltración a los acuíferos se presenta en la tabla No. 10



**TABLA 9 PERIODOS DE SOBREVIVENCIA DE CIERTOS AGENTES PATÓGENOS EXCRETADOS EN EL SUELO Y LAS SUPERFICIES DE LOS CULTIVOS A 20-30 °C.**

Agente Patógeno	Periodo de supervivencia			
	En el suelo		En los cultivos	
<b>Virus</b> <i>Enterovirus<sup>b</sup></i>	<100,	comúnmente	<20 días	<60, comúnmente <15 días
<b>Bacterias</b> <i>Coliformes fecales</i>	<70,	comúnmente	<20 días	<30, comúnmente <15 días
<i>Salmonella spp</i>	<70,	comúnmente	<20 días	<30, comúnmente <15 días
<i>Vibrio cholera</i>	<20,	comúnmente	<10 días	< 5, comúnmente < 2 días
<b>Protozoarios</b> <i>Quistes de Entamoeba histolytica</i>	<20,	comúnmente	<10 días	<10, comúnmente <2 días
<b>Helmintos</b> <i>Huevos de Ascaris lumbricoides</i>		muchos meses		<60, comúnmente <30 días
<i>Larvas de anquilostomas</i>	<90,	comúnmente	<30 días	<30, comúnmente <10 días
<i>Huevos de Taenia saginata</i>		muchos meses		<60, comúnmente <30 días
<i>Huevos de Trichuris trichiura</i>		muchos meses		<60, comúnmente <30 días

<sup>a</sup> fuente: Feachem, F.G., 1983.

## CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE REÚSO Y CALIDAD REQUERIDA

Existen varias instituciones que han establecido guías de calidad de agua para reuso: EPA, 1992, normatividad norteamericana (California, Arizona, Nuevo México) y normatividad mexicana.

### REÚSO URBANO

Los sistemas de reuso urbano proporcionan agua tratada para varios propósitos dentro de una ciudad, incluyendo:



- ? Riego de parques públicos y centros recreativos, campos deportivos, jardines de escuelas y campos de juego, camellones y áreas verdes alrededor de edificios públicos.
- ? Usos comerciales como lavado de vehículos, ventanas, agua de mezcla para pesticidas, herbicidas y fertilizantes líquidos.
- ? Control de polvo y producción de concreto en procesos de construcción.
- ? Protección contra incendios.
- ? Excusados en edificios comerciales e industriales.
- ?

**TABLA 10 COMPUESTOS QUÍMICOS DE TIPO ORGÁNICO E INORGÁNICO DE IMPORTANCIA EN EL REÚSO DEL AGUA.**

Compuesto	Parámetro que se mide	Efecto
Sólidos suspendidos	Sólidos suspendidos (SST, SSV y SSF)	Los contaminantes orgánicos, metales pesados se adsorben sobre las partículas. La materia suspendida protege a los microorganismos de los agentes desinfectantes. Cantidades excesivas de SS taponan los sistemas de irrigación.
Materia orgánica biodegradable	DBO,DQO,COT	Problemas estéticos y negativos. La materia orgánica es alimento para los microorganismos, afecta negativamente los procesos de desinfección, hace al agua inadecuada para algunos usos industriales y otro tipo de usos. Consume oxígeno y puede causar efectos crónicos y agudos si el agua reciclada se usa para fines potables.
Nutrientes	Nitrógeno, fósforo y potasio	Estos elementos son nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas y su presencia revaloriza el agua para irrigación. Cuando el agua conteniendo éstos nutrientes se descarga a cuerpos receptores favorece el crecimiento indeseable de vida acuática. Cuando se aplica en exceso al suelo, el nitrógeno puede generar concentraciones elevadas como nitratos en el agua subterránea.
Orgánicos tóxicos	Compuestos específicos (pesticidas, hidrocarburos clorados)	Muchos de estos compuestos son recalcitrantes o difícilmente biodegradables y tóxicos al ambiente y su presencia en aguas tratadas puede limitar el uso de éstas



		en riego u otros usos.
Concentración de iones hidrógeno	pH	El pH del agua afecta los procesos de desinfección, coagulación, solubilidad de los metales y la alcalinidad de los suelos. El pH usual de las aguas residuales está entre 6.5 y 8.5, en aguas industriales estos valores pueden cambiar drásticamente.
Metales pesados	Elementos específicos (Cd, Zn, Ni, Cu, Cr, Pb y Hg)	Algunos metales pesados se acumulan en el ambiente y son tóxicos a plantas y animales.
Inorgánicos disueltos	Sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, elementos específicos (Na, Ca, Mg, Cl, B)	La salinidad excesiva puede dañar a las cosechas. Iones específicos como el sodio, los cloruros y el boro son tóxicos a algunas cosechas. El sodio puede afectar la permeabilidad de los suelos.
Cloro residual	Cloro libre o combinado	Concentraciones excesivas de cloro libre disponible ( $> 0.05$ mg/L) pueden afectar las hojas y dañar ciertos cultivos. La mayoría del cloro en las aguas residuales se encuentra en forma combinada que no daña a los cultivos.

Fuente : EPA, 1992

El sistema de reuso urbano deberá considerar las instalaciones de tratamiento de agua, el sistema de distribución, incluyendo el almacenamiento y las instalaciones de bombeo necesarias.

En el diseño de un sistema de distribución de agua tratada, las consideraciones más importantes son la seguridad del servicio y la protección a la salud pública. Los requerimientos en cuanto a la calidad del agua para este tipo de reuso se presentan en las tablas Nos. 11, 12 y 13.



**TABLA11 CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REUSO URBANO (NO RESTRINGIDO).**

Parámetro	Guías EPA	Arizona	California	Nuevo México	NOM-003 ECOL-1997
pH	6 - 9	4.5 - 9.0	-----	-----	-----
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	≤ 10	-----	-----	-----	-----
Turbiedad (NTU)	≤ 2	5	2	-----	-----
Coliformes Fecales (organismos/100ml)	No detectable	25 (mediana) 75 (m. simple)	2.2 (mediana) 23 (m. Simple)	100	240
Cloro Residual (mg/L)	1	-----	-----	-----	-----
Huevos de Helminto (organismos/L)	-----	-----	-----	-----	<1

Fuente: EPA,1992. Proyecto de norma NOM-003-ECOL-1997

**TABLA12 CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REUSO URBANO. (RESTRINGIDO)**

Parámetro	Guías EPA	Estado de Arizona	California	Nuevo México	NOM-003 ECOL-1997
pH	6 - 9	4.5 - 9	-----	-----	-----
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	≤ 30	-----	-----	-----	-----
SS (mg/L)	≤ 30	-----	-----	-----	-----
Coliformes Fecales (organismos/100ml)	≤ 200	200 (mediana) 1,000 (m. simple)	-----	1,000	<1,000
Cloro Residual (mg/L)	1	-----	-----	-----	-----
Coliformes Totales (org/100 ml)	-----	-----	23 (mediana) 240 (m. Simple)	-----	-----
Huevos de Helminto (organismos/L)	-----	-----	-----	-----	<5

(Acceso Restringido al área de irrigación (campo de pasto, sitios de silvicultura y otras áreas donde el acceso al público está prohibido, restringido o infrecuente)).Fuente: EPA,1992. Proyecto de norma NOM-003-ECOL-1997



**Tabla 13 Calidad del agua requerida para reuso urbano**

PARÁMETRO *	RESTRINGIDO				NO RESTRINGIDO			
	EPA 1992	NOM-001 ECOL-1996		NOM-003 ECOL-1996	EPA 1992	NOM-001 ECOL-1996		NOM-003 ECOL-1997
		B	C			B	C	
pH	6 - 9	5 - 10	5 - 10	-----	6 - 9	5 - 10	5 - 10	-----
DBO <sub>5</sub>	< 30	75	30	-----	< 10	75	30	-----
Turbiedad (NTU)	-----	-----	-----	-----	< 2	-----	-----	-----
Sólidos Sedimentables	-----	1	1	-----	-----	1	1	-----
Coliformes Fecales (organismos/100ml)	< 200	< 1,000	< 1,000	1,000	No Detectable	< 1,000	< 1,000	240
Huevos de Helminto	-----	5	5	5	-----	1	1	1
Cloro Residual	1	-----	-----	-----	1	-----	-----	-----
Grasas y Aceites	-----	15	15	-----	-----	15	15	-----
Temperatura (°C)	-----	40	40	-----	-----	40	40	-----
Materia Flotante	-----	Ausente	Ausente	Ausente	-----	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos Suspendidos Totales	< 30	75	40	-----	-----	75	40	-----
Nitrógeno Total	-----	40	15	-----	-----	40	15	-----
Fósforo Total	-----	20	5	-----	-----	20	5	-----
Arsénico	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cadmio	0.1	0.1	0.1	0.1	0.01	0.1	0.1	0.1
Cianuro	-----	1.0	1.0	1.0	-----	1.0	1.0	1.0
Cobre	0.2	4.0	4.0	4.0	0.2	4.0	4.0	4.0
Cromo	0.1	0.5	0.5	0.5	0.1	0.5	0.5	0.5
Mercurio	-----	0.005	0.005	0.005	-----	0.005	0.005	0.005
Níquel	0.2	2	2	2	0.2	2	2	2
Plomo	5.0	0.2	0.2	0.2	5.0	0.2	0.2	0.2
Zinc	2.0	10	10	10	2.0	10	10	10
Sólidos Disueltos Totales	500 - 2,000	-----	-----	-----	500 - 2,000	-----	-----	-----
Aluminio	5.0	-----	-----	-----	5.0	-----	-----	-----
Berilio	0.1	-----	-----	-----	0.1	-----	-----	-----
Boro	0.75	-----	-----	-----	0.75	-----	-----	-----
Cobalto	0.05	-----	-----	-----	0.05	-----	-----	-----
Fluoruro	1.0	-----	-----	-----	1.0	-----	-----	-----
Hierro	5.0	-----	-----	-----	5.0	-----	-----	-----
Litio	2.5	-----	-----	-----	2.5	-----	-----	-----
Manganeso	0.2	-----	-----	-----	0.2	-----	-----	-----
Molibdeno	0.01	-----	-----	-----	0.01	-----	-----	-----



Selenio	0.02	-----	-----	-----	0.02	-----	-----	-----
Vanadio	0.1	-----	-----	-----	0.1	-----	-----	-----

\* Todos los parámetros en mg/L, con excepción de pH y los indicados  
 Fuente : EPA, 1992 y NOM-001-ECOL -1996. (B y C son tipos de cuerpo receptor); proyecto de norma NOM-003-ECOL-1997.

## REÚSO AGRÍCOLA.

La agricultura representa una fracción importante del total de la demanda de agua de segundo uso. Los constituyentes del agua residual tratada que preocupan si ésta se utiliza en agricultura son: salinidad, sodio, elementos traza, cloro residual y nutrientes. Las tablas Nos. 14, 15 y 16 muestran la calidad del agua para este reuso.

**TABLA 14 CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO EN AGRICULTURA (CULTIVOS DE ALIMENTOS NO PROCESADOS COMERCIALMENTE).**

Parámetro	Guías EPA	Arizona	California	Nuevo México
pH	6 - 9	4.5 - 9	-----	-----
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	10	-----	-----	-----
Turbiedad (NTU)	2	1	2	-----
Coliformes Fecales(org/100 ml)	No detectable	2.2 (mediana) 25 (m. simple)	-----	-----
Cloro Residual (mg/L)	1	-----	-----	-----
Coliformes Totales (org/100 ml)	-----	-----	2.2 (mediana) 23 (m. Simple)	-----

Fuente: EPA, 1992.

**TABLA 15 CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO EN AGRICULTURA (CULTIVOS DE ALIMENTOS COMERCIALMENTE PROCESADOS, IRRIGACIÓN SUPERFICIAL DE HUERTOS Y VIÑEDOS)**

Parámetro	Guías EPA	Arizona	California	Nuevo México
pH	6 - 9	4.5 - 9	-----	-----
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	≤ 30	-----	-----	-----
SS (mg/L)	≤ 30	-----	-----	-----
Coliformes Fecales (org/100 ml)	≤ 200	1000 (mediana) 2500 (m. simple)	-----	1,000
Cloro Residual (mg/L)	1	-----	-----	-----
Coliformes Totales (org/100 ml)	-----	-----	2.2 (mediana)	-----

Fuente: EPA, 1992.



**TABLA 16 CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO EN AGRICULTURA (PARA CULTIVOS NO ALIMENTICIOS, PASTURA PARA ANIMALES LECHEROS, PIENSO, FIBRA Y CULTIVOS DE SEMILLA).**

Parámetro	Guías EPA	Arizona	California	Nuevo México
pH	6 - 9	4.5 - 9	-----	-----
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	≤ 30	-----	-----	-----
SS (mg/L)	≤ 30	-----	-----	-----
Coliformes Fecales (org/100 ml)	≤ 200	100 (mediana) 4000 (m. simple)	-----	≤ 1,000
Cloro Residual (mg/L)	1	-----	-----	-----
Coliformes Totales (org/100 ml)	-----	-----	-----	-----

Fuente: EPA, 1992.

Los nutrientes más importantes para los cultivos son el nitrógeno, fósforo, potasio, zinc, boro y sulfato. El agua tratada generalmente contiene suficientes concentraciones de estos para suplir una gran parte de las necesidades de abonos. Arizona y Hawaii son los únicos estados de la unión americana que limitan el uso de agua residual con ciertos patógenos, para el reuso en agricultura de cultivos no comestibles. En Arizona, los patógenos incluyen virus entéricos, Entamoeba histolytica, Giardia lamblia y Ascaris lumbricoides. En la tabla No.17 se presentan las calidades del agua para reuso agrícola establecidas por las guías EPA 1992, la NOM-001-ECOL-1996 y las propuestas por la DGCOH 1987.

### REUSO INDUSTRIAL

El reuso industrial representa un mercado potencial significativo para el agua tratada en muchas ciudades en desarrollo, pues es ideal para industrias donde los procesos no requieren una calidad potable. El agua tratada puede ser desviada del reciclado de aguas de la planta industrial y/o instalaciones para aguas municipales tratadas. El reciclado dentro de una planta industrial es generalmente una parte integral del proceso y debe ser desarrollado específicamente para cada caso. (EPA, 1992). A continuación se presenta el ejemplo de la calidad del agua requerida para reuso en la industria de la celulosa y el papel.



## REÚSO EN LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y PAPEL

En la fabricación del papel, las fibras provenientes de diferentes pulpas (madera, química, bagazo de caña, etc.) es mezclada en proporciones definidas, según el tipo de papel a fabricar, con ayuda de un tanque mezclador, que suspende las fibras en agua. Posteriormente dicha suspensión, es alimentada a la máquina donde se forma el producto, separando las fibras de celulosa del agua mediante una malla tamizadora. Después el papel hidratado es secado, por medio de cilindros que la presionan y finalmente se procede a su acabado y empaque. (Acosta, et. al, CPNH, 1979)

El reuso de agua tratada en la industria de celulosa y papel está en función del costo y calidad del papel. Entre más alta sea su calidad, se requiere una mejor calidad del agua. Las impurezas, particularmente ciertos iones metálicos y cuerpos de color pueden causar que el papel producido cambie de color con el tiempo. (Camp Dresser and McKee, 1982).

El crecimiento biológico puede causar atascamiento del equipo y afectar la textura y uniformidad del papel. La cloración (3 mg/l residual) es adecuada para el control de los microorganismos. La corrosión y las incrustaciones en el equipo pueden resultar de la presencia de sílice, aluminio y dureza. La decoloración del papel puede ocurrir debido al hierro, magnesio o microorganismos. Los sólidos suspendidos pueden disminuir la brillantez del papel, ver tabla No.18.



**TABLA17 CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO AGRÍCOLA**

PARÁMETRO	AGRÍCOLA					
	NO RESTRINGIDO			RESTRINGIDO		
	EPA 1992	NOM-001 ECOL-1996	DGCOH 1987	EPA 1992	NOM-001 ECOL-1996	DGCOH 1987
pH	6 – 9	5 – 10	7 - 8	6 - 9	5 - 10	7 - 8
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	< 10	-----	20	< 30	-----	50
Turbiedad (NTU)	< 2	-----	10	-----	-----	20
Sólidos Suspendidos (mg/L)	-----	-----	100	< 30	-----	100
Coliformes Fecales (org/100 ml)	No Detectable	< 1,000	1,000	< 200	< 1,000	10,000
Cuenta Estándar (Col/ml)	-----	-----	200	-----	-----	200
Huevos de Helminto	-----	1	1	-----	5	1
Cloro Residual (mg/L)	1	-----	0.2	1	-----	0.2
Grasas y Aceites (mg/L)	-----	15	V.L.*	-----	15	V.L.*
Materia Flotante	-----	Ausente	-----	-----	Ausente	-----
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	500 -2,000	-----	2,000	500 - 2,000	-----	2,000
PARÁMETRO	RESTRINGIDOS Y NO RESTRINGIDOS					
	EPA (1992) (mg/L)		DGCOH 1987			
Aluminio	5.0		5.0			
Arsénico	0.10		0.10			
Berilio	0.10		-----			
Boro	0.75		1.0			
Cadmio	0.01		0.01			
Cloro	0.1		-----			
Cianuro	-----		0.1			
Cobalto	0.05		-----			
Cobre	0.2		0.2			
Cromo	-----		0.1			
Fluoruro	1.0		1.0			
Hierro	5.0		5.0			
Plomo	5.0		5.0			
Litio	2.5		-----			
Manganeso	0.2		0.2			
Mercurio	-----		0.002			



Molibdeno	0.01	-----	-----
Níquel	0.2	2.0	0.2
Selenio	0.02	-----	0.02
Vanadio	0.1	-----	-----
Zinc	2.0	10.0	2.0

Fuente : EPA, 1992; NOM-001 Ecol 1996

Nota: \* V.L. virtualmente libre

**TABLA 18 CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO EN LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y PAPEL.**

PARÁMETRO*	WPCF		
	Tratamiento Mecánico Pulpa y Papel	Tratamiento Químico (Sin Blanquear) Pulpa y Papel	Blanqueado, (Pulpa y Papel)
Hierro	0.3	1.0	0.1
Manganeso	0.1	0.5	0.05
Calcio	-----	20.0	20.0
Magnesio	-----	12.0	12.0
Cloruro (Cl)	1,000.0	200.0	200.0
Óxido de Silicio	-----	50.0	50.0
Dureza	-----	100.0	100.0
Sólidos Suspendidos Totales	-----	10.0	10.0
Color	30	30.0	10.0
pH	6-10	6-10	6-10

\*Todos los valores en mg/L con excepción de color y pH.

Fuente: WPCF= Water Pollution Control Federation, 1989.

## REÚSO PARA ACTIVIDADES ACUÍCOLAS

Al emplear aguas residuales en acuicultura se debe tener cuidado con las infecciones causadas por agentes patógenos. Los caracoles acuáticos son huéspedes intermedios de varios parásitos helmínticos. La transmisión puede ocurrir cuando la persona se



baña en estanques de peces cuando hay caracoles infectados, y las larvas de los esquistosomas penetran a la piel humana.

De un análisis de publicaciones sobre la supervivencia de agentes patógenos en el interior y la superficie del organismo de los peces, Strauss referenciado en la Publicación de Directrices Sanitarias Sobre el Uso de Aguas Residuales en Agricultura y Acuicultura, OMS, llegó a las siguientes conclusiones:

- ? Es muy probable que las bacterias invadan el músculo de los peces cuando éstos se cultivan en estanques que contienen concentraciones de coliformes fecales y salmonelas en proporciones superiores a  $10^4$  y a  $10^5$  por 100 ml respectivamente, y el potencial de invasión muscular aumenta cuando es mayor la exposición de los peces al agua contaminada.
- ? Ciertas pruebas sugieren que hay poca acumulación de organismos entéricos y agentes patógenos en el interior o en la superficie del tejido comestible de los peces, cuando la concentración de coliformes fecales en el agua de los estanques es inferior a  $10^3$  por 100 ml.
- ? Aún en menores grados de contaminación, puede haber elevadas concentraciones de agentes patógenos en las vías digestivas y en el líquido intraperitoneal de los peces.

Las directrices sobre la calidad bacteriológica del agua en acuicultura se presentan en la tabla No. 19.



**TABLA19 CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA SU REÚSO EN ACUACULTURA.**

PARÁMETRO *	OMS, 1989	NOM-001-ECOL 1996 **	
		PM	PD
Huevos de Helminto	Ausencia de Huevos Viables	-----	-----
Coliformes Fecales (Media Geométrica)	$\leq 10^3$ nmp/100ml	1,000	2,000
Conductividad	-----	-----	-----
Fósforo	-----	-----	-----
Temperatura °C	-----	40	40
Grasas y Aceites	-----	15	25
Sólidos Sedimentables (mg/L)	-----	1	2
Materia Flotante	-----	ausente	ausente
Sólidos Suspendidos Totales	-----	40	60
DBO <sub>5</sub>	-----	30	60
Nitrógeno Total	-----	15	25
Fósforo Total	-----	5	10

OMS = Organización Mundial de la Salud , 1989.

\* mg/L, excepto cuando se especifica.

\*\* Criterios de Calidad del Agua para la Protección de la Vida Acuática, 1996.

PM= Promedio Mensual.

PD= Promedio Diario

## REÚSO PARA ACTIVIDADES RECREATIVAS

El agua para uso recreativo deberá ser estéticamente agradable, sin olores molestos, virtualmente libre de sustancias como aceite, grasas, materia flotante y libre de crecimiento acuático que pudieran provocar dificultades para su uso. Deberá considerarse libre de patógenos y sustancias tóxicas que pudieran causar irritación de ojos o de la piel. También deberá ser suficientemente clara para permitir localizar objetos sumergidos (CNA, 1991).

Uso recreativo con contacto directo.- Se refiere al agua en la que el ser humano está sumergido o en contacto prolongado. Esto incluye actividades como natación y esquí acuático. La calidad de agua requerida para este reuso se presenta en la tabla No. 20.



Uso recreativo sin contacto directo prolongado.- Se refiere al agua con la que el ser humano entra en contacto sólo ocasionalmente y por periodos limitados. Estas actividades incluyen el remo y veleo. La calidad de este tipo de agua se presenta en la tabla No. 21.

**TABLA20 CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA EL REUSO RECREATIVO (NO RESTRINGIDO).**

PARÁMETRO	GUÍAS EPA	ARIZONA	CALIFORNIA	NUEVO MÉXICO	DGCOH 1987
pH	6 - 9	6.5 - 9.0	-----	-----	6.5 - 8.3
Coliforme Fecal (org/100ml )	No detectable	200 (1) 800 (2)	-----	-----	-----
Turbiedad ( N.T.U. )	? 2	1	2	-----	10
Coliformes Totales (org/100ml )	-----	-----	2.2 (1) 23 (2)	-----	1,000
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	? 10	-----	-----	-----	20
Cloro Residual ( mg/L)	1	-----	-----	-----	0.2
Cuenta standard (Col/ml)	-----	-----	-----	-----	200

FUENTE: EPA, 1992; DGCOH, 1987. (1) Mediana, (2) M. simple.

**TABLA21 CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO RECREATIVO (RESTRINGIDO)**

PARÁMETRO	GUÍAS EPA	ARIZONA	CALIFORNIA	NUEVO MÉXICO	DGCOH 1987
pH	-----	6.5 - 9.0	-----	-----	6.5 - 8.3
Coliforme Fecal (org/100ml)	? 200	100 (1) 4000 (2)	-----	-----	-----
Turbiedad NTU	-----	5	-----	-----	15
Coliformes Totales (org/100ml)	-----	-----	2.2 (1)	?	5,000
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	? 30	-----	-----	-----	100
SS (mg/L)	? 30	-----	-----	-----	500
Cloro Residual (mg/L)	1	-----	-----	-----	0.2
Cuenta standard (Col/ml)	-----	-----	-----	-----	1,000

FUENTE: EPA, 1992, DGCOH 1987.(1) Mediana, (2) M. sim



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los avances sobre los sistemas de tratamiento reportados en la literatura internacional son vastos, y se enfocan a lograr la optimización de los mismos mediante la combinación de procesos unitarios físicos, químicos y biológicos, para producir un agua tratada de calidad cada vez mayor. La investigación sobre estos temas tiene un camino largo por recorrer, en lo que respecta a los límites de detección que analíticamente es posible medir con las técnicas y los equipos actuales. El efecto que estos contaminantes causan a la salud humana es también un tema prioritario sobre investigación relativa al reuso del agua. La mayor preocupación es la remoción de patógenos, sobre todo virus.

La tecnología de tratamiento para las aguas residuales ha evolucionado de tal manera que a partir de un agua residual cruda, de tipo municipal típica, y mediante varias combinaciones de procesos unitarios de tratamiento (físicos, químicos y biológicos) se puede obtener agua de calidad similar a la potable, lo que implica costos elevados y alto grado de capacitación de los operadores encargados de los sistemas de tratamiento.

Un programa adecuado de mantenimiento de los equipos electromecánicos es necesario para lograr una calidad constante en el efluente.

Prácticas seguras y adecuadas en la operación de las plantas de tratamiento son necesarias, para prevenir que las infecciones por organismos patógenos provenientes de las aguas residuales afecten a los operadores.

Los diversos trenes de tratamiento propuestos para lograr la calidad adecuada del agua para los diversos reusos, abarcan una amplia gama de operaciones y procesos



unitarios, incluyen el pretratamiento y la sedimentación primaria, y en los tratamientos biológicos se incluyen las zanjas de oxidación, los filtros biológicos, los biodiscos y las lagunas de estabilización. Se incluye la sedimentación secundaria cuando procede y como tratamiento terminal, la desinfección, lechos de plantas acuáticas y filtración como pulimento. Se proponen también algunos trenes con tratamiento biológico anaerobio. Para al manejo de los lodos se presentan varias alternativas en lo que respecta a estabilización y desaguado.

En relación con la normatividad, las Normas Oficiales Mexicanas regulan la calidad del agua para su uso en agricultura a través de la norma NOM ECOL 001/96, y para reuso público urbano en el proyecto de norma, NOM 003 ECOL 1997. Con respecto a la normatividad existente en otros países, cada una de ellas tiene características propias de su región y acorde a sus necesidades particulares; sin embargo en algunos casos ésta llega a ser más estricta que la normatividad mexicana vigente.



## BIBLIOGRAFÍA

Acosta, L. y Tejada, C. (1979). Estudios de la contaminación producida por industrias específicas y determinación de niveles de tratamiento. SARH. México D.F.

Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana (1997) NOM-008-CNA-1997 Requisitos para la disposición de agua en el suelo o subsuelo, Noviembre

Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana, NOM-006-CNA-1997, Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. Comisión Nacional del Agua. Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua.

Arreguín, C.F.; J. Cortés. (1997). La Investigación, desarrollo y transferencia de tecnología para el control de *Vibrio Cholerae* en el IMTA. Revista de Ing. Hidráulica en México.

Asano, T. (1991). Planning and Implementation of Water Reuse Projects. Wat,Sci. and Tech. Vol 24 No. 9.U.K.

Blum, D. and Feachem, G. (1985). Health Aspects of Nighsoil and Sludge Use in Agriculture and Aquaculture. Part III: An Epidemiological Perspective, Centro Internacional de Referencia sobre Evacuación de Desechos, (Informe No. 05/85). Dübendorf, Suiza.

Camp Dresser & Mckee Inc. (1982). Water Recycling in the Pulp and Paper Industry in California. Prepared for the California State Water Resources Control Board, Office of Water Recycling, Sacramento, California. U.S.



Comisión Nacional del Agua. (1991). Estudio y manual para el manejo y disposición de las aguas de retorno agrícola. México

Comisión Nacional del Agua (1997) Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. México

Departamento del Distrito Federal. DGCOH. (1987). Análisis de factibilidad técnica, económica y operacional de aplicación de normas para el reuso de aguas residuales tratadas en el Distrito Federal. DHTA. Contrato No. 7331- 721-1.2. México.

Departamento del Distrito Federal. DGCOH. (1995). Plan Maestro de Tratamiento y Reuso del Distrito Federal. México

Diario Oficial de la Federación del 6 de enero de 1997. Norma Oficial Mexicana; NOM-001-ECOL-1996.México.

Feachem, F. et. al. (1983). Sanitation and Disease: Health Aspects of Excreta and Wastewater Management. Chichester, John Wiley, U.K.

Jiménez, B. y J. Ramos (1996). Reuso potencial del agua en México. Federalismo y Desarrollo. No. Especial. Premio Banobras. México.

Moeller, G y C. Ferat. (1995). Microbiología Sanitaria. Manual de Prácticas.D-85. DEPFI, UNAM. México.

Organización Mundial de la Salud. (1973). Reuso de efluentes: Métodos de tratamiento de aguas residuales y salud segura. Serie de reportes técnicos No. 517. Ginebra. Suiza.



Organización Mundial de la Salud,(1989). Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en la agricultura y acuicultura. Informe 778. Ginebra. Suiza.

Organización Panamericana de la Salud (1976). Riesgos del ambiente humano para la salud. Washington. E.U.A.

Rivas H. A.y González, H.A..(1990) . Saneamiento y reuso del agua residual en la cuenca del río Apatlaco. Proyecto AR-9002. Subcoordinación de Aprovechamiento de Aguas Residuales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua . Jiutepec, Morelos. México.

U.S. Environmental Protection Agency (1992). Manual: Guidelines for Water Reuse.. EPA7625/R-92/004.Washington.U.S.

Water Environment Federation (1996). 69 th. Annual Water Environment Fed. Tech. Exposition Conf, Dallas, Tex., U.S.

Water Pollution Control Federation (1989). Water reuse : Manual of Practice SM-3. WPCF. Alexandria, Va. U.S.



TABLA 3 INVENTARIO NACIONAL DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES CONSTRUIDAS Y POR PROCESO, JUN. 1997

ESTADO	AE	DB	FB	LA	LB	LE	LM	LP	PE	RA	TI	TP	TS	TV	ZO	ZZ	AN	TOTAL
AGUASCALIENTES			1	2		83			8									94
BAJA CALIFORNIA			2	1	1	5									1			10
BAJA CALIFORNIA SUR				7		9	1					1						18
CAMPECHE				7								3					1	11
COAHUILA			2	5		4					1	1						13
COLIMA		1		2		20												23
CHIAPAS						5							1					6
CHIHUAHUA		1		4		12									1			18
DISTRITO FEDERAL	1		2	20												1		24
DURANGO				1	1	41												43
GUANAJUATO				1	1	3					3				1			9
GUERRERO				12								1						13
HIDALGO				1		2		1			1							5
JALISCO			2	11	2	34				1	7	1	2		9			69
ESTADO DE MEXICO			1	1		15												17
MICHOACAN		1			1	6				1	3				1			13
MORELOS		3	5	3		2				4	8					2	3	30
NAYARIT			4	11		19							14					48
NUEVO LEON	3			6	3	12				1	2						1	28
OAXACA		1	1	10		5		3			2							22
PUEBLA			2			6						2		1				11
QUERETARO	1		3	1					3		1	1			1		2	13
QUINTANA ROO				12		1									1			14
SAN LUIS POTOSI				9		3												12
SINALOA				2		12						1						15
SONORA						61					2	1						64
TABASCO			1	4		7					10				1			23
TAMAULIPAS	1		1		1	6					3				2			14
TLAXCALA			1		4	27				1								33
VERACRUZ			3	22		10			1	2	16	3	1				3	61
YUCATAN			1	2													5	8
ZACATECAS		2		17		6									1			26
<b>NACIONAL</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>32</b>	<b>174</b>	<b>14</b>	<b>416</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>59</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>1</b>	<b>19</b>	<b>3</b>	<b>15</b>	<b>808</b>

No incluye plantas en proyecto.

- |                                |                                    |
|--------------------------------|------------------------------------|
| AE = AERACION EXTENDIDA        | RA = RAFA                          |
| DB = DISCOS BIOLÓGICOS         | TI = TANQUE IMHOFF                 |
| FB = FILTROS BIOLÓGICOS        | TP = TRATAMIENTO PRIMARIO          |
| LA = LODOS ACTIVADOS           | TS = TRATAMIENTO SECUNDARIO        |
| LB = LAGUNAS AEREADAS          | TV = TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO |
| LE = LAGUNAS DE ESTABILIZACION | ZO = ZANJA DE OXIDACION            |
| LM = LEMNA                     | ZZ = DESCONOCIDO                   |
| LP = LAGUNAS-PANTANO           | AN = TRATAMIENTO ANAEROBIO         |
| PE = PURIFICADOR ENZIMATICO    |                                    |



***HACIA LA CALIDAD: Necesidad para el Próximo Milenio***



Fuente: CNA, Subdirección general de construcción. (1997).Fuente: CNA, Subdirección general de construcción. (1997)