

## RESEÑA ANALÍTICA

# Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. Valoración crítica

**Eliet Veliz Lorenzo, José Guadalupe Llanes Ocaña,\* Lidia Asela Fernández y Mayra Bataller Venta.**

Centro de Investigaciones del Ozono, Avenida 15 y calle 230, No. 1313, Siboney, Playa, Apartado Postal 6412, Ciudad de La Habana, Cuba. \*Universidad Autónoma de Sinaloa, Ciudad Culiacán, México. Correo electrónico: eliet.veliz@cnic.edu.cu, asela.fernandez@cnic.edu.cu

Recibido: 16 de noviembre de 2007. Aceptado: 15 de julio de 2008.

Palabras clave: aguas residuales, reúso, riego agrícola, tecnología de tratamiento.  
Key words: wastewater, reuse, agricultural irrigation, treatment technology.

**RESUMEN.** Se presenta una compilación de la información general disponible sobre las normas internacionales vigentes y los estudios que se han desarrollado en este tema en América Latina. Se realiza una valoración crítica de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales que se recomiendan actualmente para reúso en riego agrícola. Se utilizó fundamentalmente la información divulgada por organizaciones internacionales tales como la Organización Mundial y Panamericana de la Salud, el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América. Se concluye que el uso productivo de estas aguas tratadas constituye una vía alternativa importante para riego agrícola por su elevado contenido de nutrientes y materia orgánica, lo que pudiera favorecer el incremento de las cosechas y el mejoramiento de los suelos. Se utilizan fundamentalmente en el riego de cultivos no destinados al consumo humano directo, como forrajes y otros cultivos industriales. Existen normas internacionales que regulan la calidad de las aguas residuales para su reúso en la agricultura, pero muchos países no tienen implementadas normas propias y en otros se emplean sin ningún tipo de tratamiento. La tecnología que más se recomienda son las lagunas de estabilización, pero también se reconoce que existen otras tecnologías disponibles y la necesidad de estudiar tratamientos alternativos como la filtración y la desinfección ovicida.

**ABSTRACT.** A compilation of the available general information about the current international standards and studies developed on this topic in region is presented. A critical evaluation of the wastewater treatment technologies that are recommended at present for reuse in agricultural irrigation is also performed. Information from international organizations such as World and Pan-American Health Organizations, the Pan-American Center of Sanitary Engineering and Environmental Sciences and the Environmental Protection Agency of the United States of America, mainly was used. The productive use of these treated wastewater in agricultural irrigation constitutes an important alternative due to their high contents of nutritious and organic matter, that could favor the crops increase and the soil improvement. It could be appropriately used for the irrigation of cultivations which are not intended to direct human consumption, as forages and other industrial cultivations. There are international guidelines that regulate the wastewater quality for reuse in the agriculture, but many countries have not implemented their own standards and in other they without any treatment are used. The most widely recommended treatment technology is the stabilization lagoons, but it is also recognized that there are other available technologies and the necessity of studies in alternative treatments as the filtration and the disinfection.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, debido a la creciente escasez de agua fresca, la necesidad de proteger el medio ambiente y aprovechar económicamente las aguas residuales se ha promovido internacionalmente el reúso controlado de efluentes, lo que representa:<sup>1</sup>

- Reducir considerablemente la carga contaminante que se dispone en los cuerpos receptores superficiales, subterráneos y zonas costeras mediante vías simples, efectivas y de menor costo.
- Incrementar el potencial aprovechable de los recursos hídricos, así como su mejor manejo al liberar grandes cantidades de agua fresca de mejor calidad para otros usos.
- Mejorar importantes áreas agrícolas aportándole materias orgánicas y nutrientes.
- Fertilizar embalses acuícolas.

Las aguas residuales domésticas, sin ningún tratamiento, han sido utilizadas desde hace más de doscientos

años en varios países para riego agrícola, aumentando por un lado la productividad del terreno debido a los elevados contenidos en nutrientes orgánicos para las plantas,<sup>2</sup> pero a su vez, se han incrementado notablemente las enfermedades gastrointestinales como consecuencia de los patógenos contenidos en este tipo de aguas, produciendo verdaderos problemas de salud pública especialmente, en la población infantil.<sup>3,4</sup>

El riego con aguas residuales domésticas no tratadas representa un serio riesgo, pues constituyen una importante fuente de agentes patógenos como bacterias, virus, protozoarios y helmintos (lombrices) que causan infecciones gastrointestinales en los seres humanos. También contienen toxinas químicas muy peligrosas que provienen de fuentes industriales.<sup>5,6</sup>

Los grupos más importantes de contaminantes químicos son los metales pesados, las sustancias hormonales activas (SHA) y los antibióticos. Los riesgos

asociados con estas sustancias pueden constituir mayor amenaza para la salud a largo plazo y ser de más difícil manejo que el riesgo causado por los agentes patógenos excretados.<sup>7-10</sup>

La implementación de sistemas integrados de tratamiento y el uso de aguas residuales domésticas deberá considerar la calidad del agua en sus tres dimensiones: sanitaria, agronómica y ambiental. La calidad sanitaria estará determinada por las concentraciones de parásitos, representados por los huevos de helmintos y los coliformes fecales como indicador de los niveles de bacterias, así como virus causantes de enfermedades entéricas al ser humano. La calidad agronómica estará relacionada con las concentraciones de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio y oligoelementos), así como de aquellos elementos limitantes o tóxicos para la agricultura, como la salinidad y cantidades excesivas de boro, metales pesados y otros. Finalmente, la calidad ambiental en principio involucra todos los indicadores antes mencionados y otros. En la práctica, estará más relacionada con las concentraciones de sólidos, materia orgánica, nutrientes y elementos tóxicos que pueden generar impactos negativos en los cuerpos de agua.<sup>11</sup>

Un tratamiento eficiente de las aguas residuales, un estricto cumplimiento de las normas establecidas por los organismos nacionales e internacionales para su reúso en riego agrícola, así como un adecuado nivel de información técnico sanitaria de todos los factores que intervienen en el uso productivo de estas aguas, permitiría el aprovechamiento seguro de un gran volumen de agua con gran valor agronómico.

El objetivo del presente trabajo fue presentar una compilación general de la información disponible sobre el tema, las normas internacionales vigentes, los estudios que se han desarrollado en la Región y realizar una valoración crítica de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales que se recomiendan actualmente para reúso en riego agrícola.

## REÚSO DE AGUAS RESIDUALES EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL. CASO DE ESTUDIO

En 1950, aproximadamente 150 millones de habitantes en América Latina vivían en ciudades, cifra que se incrementó a más de 360 millones a fines del siglo xx (73,6 % de su población total), debido a la intensa migración de la población rural. La creciente presión de esta población sobre los recursos de agua y suelo ha obligado a atender con prioridad solo los servicios de agua potable y alcantarillado. Ello ha dejado rezagado el tratamiento de aguas residuales, así como la disposición de residuos sólidos.<sup>12</sup>

La Organización Panamericana de la Salud señaló que en 1998 menos del 14 % de los 600 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales domésticas colectadas en América Latina recibían algún tratamiento antes de ser dispuestas en ríos y mares, solo el 6 % tenía un tratamiento aceptable. A esto se agrega que un 40 % de la población urbana de la Región contrae enfermedades infecciosas asociadas al agua, por lo que este problema demanda urgente atención.

Consecuentemente, la actividad agrícola ubicada en la periferia de las ciudades se ha visto seriamente afectada y en muchos casos, se ha optado por el uso de aguas residuales en el riego agrícola como única alternativa. Esto se revela en la existencia en la Región de más de 500 000 ha agrícolas irrigadas directamente con aguas residuales sin tratar, se han identificado como principales países a México con alrededor de 350 000 ha,

Chile con 16 000 ha, Perú con 6 600 ha y Argentina con 3 700 ha, en otras regiones del mundo sobresale China con aproximadamente 1 300 000 ha agrícolas.<sup>13</sup>

En países desarrollados el uso planificado (de agua residual tratada) es más común, como en los casos de Israel, Australia, Alemania y los Estados Unidos. Israel es el país que está a la vanguardia en el uso planificado de aguas residuales, se plantea que un 70 % del agua que demandará la agricultura en 2040 va a ser obtenida mediante el tratamiento de efluentes. Se estima que una décima parte o más de toda la población mundial consume actualmente alimentos que se producen con aguas residuales, aunque no siempre de una manera segura.<sup>5</sup>

Internacionalmente las actividades que más utilizan aguas residuales recuperadas son las siguientes:<sup>1</sup>

- Riego agrícola y de áreas verdes de parques, cementerios, campos deportivos y jardines.
- Actividades industriales, fundamentalmente para torres de enfriamiento, alimentación de calderas y necesidades de los procesos. Los usos industriales varían grandemente, y para garantizar agua de calidad adecuada, por regla general, se requieren tratamientos avanzados.
- Recarga de acuíferos subterráneos.
- Alimentación de lagos recreativos, acuicultura, descarga de inodoros, sistemas contra incendios, aire acondicionado.

En Cuba, prácticamente no se reúsan las aguas residuales domésticas tratadas para riego agrícola. Solo en el sector del turismo se utilizan las aguas residuales de algunos hoteles para el riego de sus áreas verdes y campos de golf.<sup>14</sup>

El Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente recomienda además que se empleen para la alimentación y fertilización de embalses y la recarga de acuíferos, aunque reconoce que no siempre estas aguas cumplen los requisitos de calidad para el uso propuesto.<sup>1</sup>

## Caso de estudio

En 2000, el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Canadá y la Organización Panamericana de la Salud-Organización Mundial de la Salud (OPS-OMS) suscribieron un convenio para que el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente ejecutara durante 30 meses el Proyecto de Investigación Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial, cuyo objetivo general fue estudiar las experiencias de América Latina en el tratamiento de aguas residuales domésticas y su uso sanitario en agricultura urbana para recomendar estrategias de diseño e implementación de estos sistemas integrados e identificar nuevas oportunidades.<sup>13</sup>

En 16 países de esta región se seleccionaron 18 casos de estudio que representaron las cuatro situaciones del manejo de las aguas residuales: ciudades donde se tratan y usan las aguas residuales para riego agrícola (CT-CR), ciudades donde se tratan, pero no se usan las aguas residuales (CT-SR), ciudades donde se riega con aguas residuales sin tratamiento (ST-CR) y ciudades donde ni se trata ni se usan aguas residuales para riego agrícola (ST-SR).

Los estudios de caso mostraron que el uso de las aguas residuales está orientado principalmente, al riego de cultivos que se procesan antes de su consumo como maíz y arroz, en otros casos a hortalizas, vegetales y frutos que se consumen crudos y en menor medida a forrajes y algunos cultivos industriales como algodón y

árboles maderables (Tabla 1). En la mayoría de los casos, el agua residual es la única fuente de abastecimiento y se aplica a los campos mayormente mediante riego por inundación. En los casos donde no aparecen los datos, estos no fueron suministrados por los responsables del estudio.

En los países evaluados, las tecnologías de tratamiento empleadas fueron fundamentalmente las lagunas de estabilización facultativas o aerobias, en tres casos los lodos activados y en un solo caso el tratamiento por floculación química (Tabla 2). Más adelante en este trabajo, se presenta una discusión sobre este tema.

Este proyecto permitió concluir que en los países considerados en el Inventario Regional de Manejo de las Aguas Residuales Domésticas se está prestando mayor atención a la cobertura de alcantarillado antes que al tratamiento de aguas residuales. Los estudios mostraron que los agricultores disminuyen o desconocen los riesgos a la salud asociados al riego con aguas residuales. En todos los casos, la actividad agrícola se desarrolla al margen de las exigencias de tratamiento y no existen mecanismos de coordinación entre las empresas de agua y otras instituciones involucradas.

## NORMAS INTERNACIONALES

### Evolución histórica

Las normas establecidas en los últimos 50 años han sido en general muy estrictas, ya que se han basado en

evaluación teórica de los posibles riesgos que para la salud tiene la supervivencia de agentes patógenos en las aguas residuales, el suelo y los cultivos, más bien que en pruebas epidemiológicas fehacientes del riesgo real. Estas primeras normas se basaron en un concepto de *riesgo nulo*, con el fin de lograr un medio *antiséptico* o carente de agentes patógenos. Por ejemplo, las normas del Departamento de Salud Pública del Estado de California (una de las primeras establecidas y más estrictas) permiten un total de sólo 2,2 ó 23 coliformes fecales por cada 100 mL, según la aplicación del reúso (cultivos que se consumen crudos o no, parques públicos, cementerios, etc.) y el método de riego empleado (aspersores, inundación, etc.).<sup>15</sup>

En 1981, el Grupo de Expertos de la OMS en Aprovechamiento de Efluentes reconoció que las normas extremadamente estrictas fijadas en California no tenían justificación en las pruebas epidemiológicas existentes.<sup>11</sup> Desde entonces, organismos internacionales de prestigio y muchas instituciones académicas de todo el mundo han hecho un gran esfuerzo por establecer una base epidemiológica más racional para las directrices sobre el riego con aguas residuales.

Las comprobaciones de esos estudios han sido analizadas por destacados expertos en salud pública, medio ambiente y epidemiólogos en las reuniones de Engleberg<sup>16</sup> en 1985, Adelboden en 1987 e Hyderabad<sup>17</sup> en

**Tabla 1.** Calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas para riego en los casos estudiados.<sup>13</sup>

	Localización	Agua residual			Área de reúso					
		Coliformes (NMP/100 mL)	Parásitos (huevos/L)	Área total (ha)	Cultivos (Porcentaje del área total)					
					(%)					
CT - CR	Argentina	2,5 E + 03	< 1	2 500	Vid	30	Hortalizas	30	Frutales	30
	Bolivia	2,1 E + 06	—	80	Maíz	—	Tomate	—	Pimienta	—
	Chile	1,0 E + 02	—	1 500	Maíz	28	Zanahoria	10	Algarrobo	9
		—	< 1	26 000	Algodón	25	Alfalfa	13	Trigo	12
	México	6,1 E + 04	—	10 800	Maíz	49	Remolacha	—	Avena	—
		5,0 E + 03	< 1	757 000	Maíz	7	Alfalfa	4	King grass	3
	Perú	2,5 E + 04	—	740	Maíz	47	Alfalfa	9	Eucalipto	5
	República Dominicana	5,0 E + 03	—	250	Arroz	100	—	—	—	—
CT - SR	Brasil	5,1 E + 01	0	—	—	—	—	—	—	—
	Costa Rica	2,1 E + 05	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ecuador	1,7 E + 05	< 1	—	—	—	—	—	—	—
	Venezuela	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ST - CR	Chile	1,0 E + 06	—	52 000	Hortalizas	27	Praderas	22	Cereales	19
	Perú	6,5 E + 07	—	535	Apio	30	Poro	23	Cebolla	22
ST - SR	Colombia	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Guatemala	1,2 E + 07	—	—	—	—	—	—	—	—
	Nicaragua	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Paraguay	—	—	—	—	—	—	—	—	—

**Tabla 2.** Sistemas de tratamiento y disposición final de las aguas residuales en los casos estudiados.<sup>13</sup>

	Localización	Alcantarillado			Tratamiento	
	País	Población servida (%)	Caudal (L/s)	Descarga	Tipo de planta	Disposición final
CT - CR	Argentina	37	2 900	Planta de tratamiento	Lagunas facultativas	Riego agrícola
	Bolivia	77	520	Planta de tratamiento	Lagunas facultativas	Riego agrícola
	Chile	97	470	Planta y mar	Lodos activados	Riego agrícola
	México	80	4 600	Canal riego y plantas	Floculación	Riego agrícola
		90	28 000	Canal drenaje y plantas	Laguna facultativa y lodos activados	Riego agrícola y forestal
		80	1 500	Planta y mar	Laguna aireadas	Riego agrícola
	Perú	84	370	Planta de tratamiento	Lagunas facultativas	Riego agrícola
	República Dominicana	90	600	Planta de tratamiento	Laguna aireadas	Riego agrícola
CT - SR	Brasil	46	150	Planta y mar	Lagunas facultativas	Laguna
	Costa Rica	79	50	Planta de tratamiento	Lodos activados	Estero
	Ecuador	85	52	Planta de tratamiento	Lagunas facultativas	Río
	Venezuela	52	3 400	Lago y planta	Lagunas estabilización	Lago
ST - CR	Chile	98	13 400	Ríos (riego agrícola)	—	—
	Perú	20	2 600	Riego agrícola	—	—
ST-SR	Colombia	78	1 380	Ríos y planta piloto	—	Río
	Guatemala	75	19	Quebrada y planta piloto	—	Quebrada
	Nicaragua	55	2	Quebrada y planta piloto	—	Quebrada
	Paraguay	—	—	Lago y río	—	—

2002 y en numerosas reuniones y consultas nacionales e internacionales. El consenso de los expertos se centra en que el riesgo real es mucho menor de lo previsto y que no se justifica que hayan sido tan restrictivas las primeras normas sobre la calidad microbiológica de los efluentes empleados en riego sin restricciones de legumbres y verduras que se consumen crudas, sobre todo, en lo que respecta a agentes patógenos bacterianos.<sup>5,11,16</sup>

En el informe de Engelberg se recomendaron nuevas directrices (Tabla 3) que contienen normas menos estrictas para los coliformes fecales. Sin embargo, son más estrictas para los huevos de helmintos (de las especies *ascaris*, *trichuris* y *anquilostomas*) que, según se reconoció, constituyen el mayor riesgo real para la salud humana proveniente del riego con aguas residuales en las zonas donde las helmintiasis son endémicas, como es el caso de muchos países en desarrollo.<sup>11,16</sup>

Estas nuevas directrices sobre la calidad bacteriológica fueron comparables con la calidad real del agua de

río empleada para riego sin restricciones de todos los cultivos en muchos países, sin efectos nocivos conocidos. Las concentraciones de coliformes fecales típicas en varios ríos del mundo son de 1 000/100 mL o más en cerca del 45 % de los ríos evaluados, pero casi el 15 % tiene concentraciones de 10 000/100 mL o más. Estas aguas se emplean en varios países de América Latina para riego, sin ninguna restricción legislativa al respecto.<sup>5,18</sup>

En los Estados Unidos de América, el organismo para la protección ambiental y la Academia Nacional de Ciencias recomendaron en 1983 que se estableciera la norma para riego con agua natural de superficie, incluida la de río, en 1 000 coliformes totales por 100 mL. La calidad bacteriológica del agua de baño establecida por el Programa de Vigilancia e Investigación de la Contaminación en el Medio Ambiente de Estados Unidos y la OMS fijan un nivel de 1 000 coliformes fecales/100 mL y la Comunidad Europea menos de 10 000 coliformes totales/100 mL y menos de 2 000 coliformes fecales/100 mL.<sup>11</sup>



**Tabla 3.** Directrices recomendadas sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en agricultura.<sup>1</sup>

Categoría	Condiciones de aprovechamiento	Grupo expuesto	Nemátodos intestinales <sup>2</sup> (media aritmética Huevos/L)	Coliformes fecales <sup>3</sup> (media geométrica /100 mL)	Tratamiento necesario para lograr la calidad microbiológica exigida
A	Riego de cultivos que se consumen crudos, campos de deportes o parques públicos.	Trabajadores, consumidores, público.	< 1	< 1 000	Serie de estanques de estabilización o tratamiento equivalente.
B	Riego de cultivos de cereales, industriales, forrajeros, praderas <sup>4</sup> y árboles. <sup>5</sup>	Trabajadores.	< 1	No se recomienda ninguna norma.	Serie de estanques de estabilización por 8 ó 10 d o eliminación equivalente de helmintos.
C	Riego localizado de cultivos de la categoría B cuando los trabajadores ni el público están expuestos.	Ninguno.	No es aplicable.	No es aplicable.	Tratamiento previo según lo exija la tecnología de riego, no menos que sedimentación primaria.

1. En casos específicos, se deberían tener en cuenta los factores epidemiológicos, socioculturales y ambientales de cada lugar y modificar las directrices de acuerdo con ello.

2. Especies *ascaris* y *trichuris* y *anquilostomas*.

3. Durante el período de riego.

4. Conviene establecer una directriz más estricta (< 200 coliformes fecales por 100 mL) para prados públicos, como los de los hoteles con los que el público puede entrar en contacto directo.

5. En el caso de los árboles frutales, el riego debe cesar dos semanas antes de cosechar la fruta y ésta no se debe recoger del suelo. No es conveniente regar por aspersión.

Por tanto, no es razonable ni lógico mantener las antiguas directrices sobre el riego con aguas residuales semejantes a las establecidas para el agua potable, cuando las autoridades sanitarias consideran aceptables para riego las aguas naturales de los ríos y las del baño, con concentraciones de coliformes fecales en muchos casos superiores a 1 000/100 mL.

Por otra parte, la extinción paulatina natural de los agentes patógenos sobre el terreno constituye otro valioso factor de seguridad para reducir los riesgos potenciales para la salud. La inactivación de agentes patógenos por medio de irradiación con rayos ultravioleta, desecación y depredadores biológicos naturales cuando se emplean efluentes para riego de cultivos puede llevar a una reducción suplementaria de 90 a 99 % de los microorganismos en pocos días.

#### Normas de calidad vigentes

Basado en las recomendaciones y conclusiones de múltiples estudios y reuniones de expertos,<sup>19-21</sup> así como en la disponibilidad real de tecnologías por los países subdesarrollados, la OMS reafirmó en 2006 las directrices que habían sido recomendadas en 1989 (Tabla 4).<sup>22,23</sup>

Estos criterios de calidad microbiológica son más accesibles de cumplir, sobre todo, para los países pobres y en vías de desarrollo que son los que más necesitan fuentes de agua para sus agriculturas, con el empleo de tecnologías de tratamiento sencillas y de bajo costo.

En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental recomienda una normativa a nivel federal sobre la reutilización de aguas residuales para uso agrícola, para aquellos estados que no han desarrollado su propia regulación (Tabla 5). Las recomendaciones son muy estrictas, más que la OMS, y define una calidad de agua para el riego de cultivos comestibles no procesados comercialmente

similar a la calidad del agua potable, lo que implica la utilización de procesos de tratamientos muy eficientes y específicos sobre todo, para la desinfección, pero que pudieran necesitar elevadas dosis de desinfectantes que serían muy agresivos para los cultivos regados, como es el caso del cloro. Estas normas contemplan otros indicadores como pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y turbidez o sólidos suspendidos (SS) y definen los tratamientos necesarios en cada caso.<sup>24</sup>

#### REÚSO DE AGUAS RESIDUALES PARA RIEGO DE PARQUES, JARDINES PÚBLICOS Y CAMPOS DEPORTIVOS

Las aguas a utilizar en estos casos debe tener una calidad similar a los anteriores, con la ventaja de que las plantas que se van a regar (césped y plantas ornamentales), son más tolerantes que los cultivos agrícolas. El sistema de riego utilizado es el de aspersión por lo que habrá que tener en cuenta los posibles problemas de obturación de las boquillas, por esta razón el agua debe tener muy baja turbiedad y sólidos en suspensión. Donde el público tiene acceso directo a prados y parques regados con aguas residuales tratadas, el peligro potencial para la salud humana puede ser mayor que el que presenta el riego de verduras consumidas crudas.

Las recomendaciones de la OMS para el *Riego de campos deportivos y de zonas verdes con acceso público* se muestran a continuación (Tabla 6).<sup>22,23</sup>

La Agencia de Protección Ambiental de EE. UU también recomienda en este caso una norma mucho más estricta que la recomendada por la OMS (Tabla 7).<sup>23</sup>

#### REGULACIONES EN CUBA

En Cuba, según especialistas de los Ministerios de la Agricultura y Salud Pública e Instituto Nacional de

**Tabla 4.** Recomendaciones de la OMS para reutilización de aguas residuales en riego agrícola.

Indicadores microbiológicos.	Hortalizas y frutas crudas.	Cereales y cultivos para conservas.
Nemátodos intestinales (media aritmética huevos/L).	< 1	< 1
Coliformes fecales (media geométrica/100 mL).	< 1 000	
Tratamiento orientativo.	Estanques de estabilización <sup>1</sup> o equivalente.	Estanques de estabilización <sup>1</sup> o equivalente.
Grupo expuesto.	Trabajador, consumidor.	Trabajador.

1. Cuatro a seis estanques de estabilización con tiempo mínimo de retención de 20 d a temperatura > 20 °C .

**Tabla 5.** Normativa de la Agencia de protección ambiental (EE. UU) sobre la reutilización de aguas residuales para uso agrícola.

Tipo de reutilización	Tratamiento	Calidad	Distancia de seguridad
Riegos de cultivos comestibles no procesados comercialmente.	Secundario Filtración Desinfección	pH = 6 - 9 < 10 mg/L DBO < 2 UNT 0 CF/100 mL 1 mg/L ClO <sub>2</sub>	15 m a fuentes o pozos de agua potable. A 30 m de zonas permitidas al público.
Riego de cultivos que se consumen procesados.	Secundario Desinfección	pH = 6 - 9 < 30 mg/L DBO < 30 mg/L SS 200 CF/100 mL 1 mg/L ClO <sub>2</sub>	A 90 m de fuentes o pozos de agua potable. A 30 m de zonas permitidas al público.
Riego de pastos de animales productores de leche y cultivos industriales.	Secundario Desinfección	pH = 6 - 9 < 30 mg/L DBO < 30 mg/L SS 200 CF/100 mL 1 mg/L ClO <sub>2</sub>	A 90 m de fuentes o pozos de agua potable. A 30 m de zonas permitidas al público.

DBO Demanda bioquímica de oxígeno. UNT Unidades nefelométricas de turbiedad. SS Sólidos suspendidos. CF Coliformes fecales.

**Tabla 6.** Recomendaciones de la OMS para el riego de campos deportivos y de zonas verdes con acceso público.

Indicadores microbiológicos	Contacto público	
	Directo	No directo
Nemátodos intestinales (media aritmética huevos/L).	< 1	< 1
Coliformes fecales (media geométrica/100 mL).	200	1 000
Tratamiento recomendado.	Estanques de estabilización <sup>1</sup> o equivalente.	Estanques de estabilización <sup>1</sup> o equivalente.
Grupo expuesto.	Trabajadores, público.	Trabajadores, público.

1. Cuatro a seis estanques de estabilización con tiempo mínimo de retención de 20 d a T > 20 °C .

Recursos Hidráulicos, no existen normas nacionales de calidad, ni de diseño, para el reúso de aguas residuales para riego de ningún tipo. Solo la norma cubana sobre vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado,<sup>25</sup> especifica que para la descarga de las aguas residuales a los cuerpos receptores clasificados en la clase B (superficial), los coliformes fecales no deben tener una concentración superior a los 1 000 NMP/100 mL, pero no hace referencia a los huevos de helmintos; en la clase C, donde se especifica el término de riego con aguas residuales, no se establece un valor a cumplir y se refiere que el límite será fijado por el organismo rector

de las aguas terrestres atendiendo al uso, necesidad de conservación y posible riesgo para la salud.

Las entidades que han diseñado e instalado plantas de tratamiento en algunos hoteles para el reúso de sus residuos líquidos en el riego de áreas verdes, se han guiado por normas internacionales, fundamentalmente de la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU.<sup>14</sup>

Tomando en cuenta los graves problemas de sequía que ha presentado el país en periodos recientes y que pudieran afectar considerablemente las cosechas en los próximos años y la conveniencia de darle un uso productivo a estas aguas, sería razonable la implementación de

**Tabla 7.** Normas de la Agencia de Protección Ambiental para el riego de parques, campos deportivos, zonas verdes y otros usos.

Tipo de reutilización	Tratamiento	Calidad	Distancia de seguridad
Riegos de parques, campos de golf, cementerios, lavados de coches.	Secundario. Filtración. Desinfección.	pH = 6 - 9 < 10 mg/L DBO < 2 UNT 0 CF/100 mL 1 mg/L ClO <sub>2</sub>	A 15 m de fuentes o pozos de agua potable.
Riego de árboles y parques con acceso público prohibido o infrecuente.	Secundario. Desinfección.	pH = 6 - 9 < 30 mg/L DBO 30 mg/L SS 0 CF/100 mL 1 mg/L ClO <sub>2</sub>	A 90 m de fuentes o pozos de agua potable. A 30 m de zonas permitidas al público.

DBO Demanda bioquímica de oxígeno. UNT Unidades nefelométricas de turbiedad. SS Sólidos suspendidos. CF Coliformes fecales.

normas propias, basadas en estudios realizados en las condiciones cubanas, tipos de suelos y cultivos, hábitos higiénicos y de consumo, posibilidades técnicas, etc.

### TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO RECOMENDADAS

La tecnología de tratamiento que se pretenda instalar para reusar las aguas residuales en riego agrícola debe tener en cuenta:

- Tipo de cultivo (pueden asimilar diferentes calidades de agua).
- Técnicas y sistemas de riego (contenido de partículas que pudieran bloquear o tapar las boquillas u orificios de salida).
- Contenido de nutrientes exigidos (para eliminar o reducir el uso de productos agroquímicos).
- Manejo laboral de las aguas residuales y del riego para la protección de los agricultores (contenido de patógenos).
- Criterios de Salud Pública para la protección de los consumidores (contenido de patógenos).

Como consecuencia del enfoque de las legislaciones hacia la remoción de materia orgánica y de nutrientes de las aguas residuales (sean estas domésticas o industriales), la mayoría de las normas técnicas para el diseño, construcción y operación de plantas de tratamiento se orientan hacia el control de parámetros físicos (temperatura, pH, sólidos totales, sólidos suspendidos), químicos (metales, aceites, polímeros, aniones y cationes) y biológicos (demanda bioquímica de oxígeno y oxígeno disuelto). Solo recientemente, se incluye la detección de bacterias patógenas (coliformes totales y termotolerantes), pero muy pocas normas técnicas consideran la determinación de huevos de nemátodos, a pesar de la elevada tasa de incidencia en la población.

Las lagunas de estabilización constituyen la tecnología propuesta por las Organizaciones Mundial y Panamericana de la Salud (OMS-OPS) y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS-OPS) para países tropicales y subtropicales, recomiendan que dispongan como mínimo de 4 a 5 celdas o estanques, con tiempos totales de retención entre 10 y 20 d o superiores. Se plantea como ventaja que solo requieren un 20 % de la inversión y 10 % de los costos de operación que demandan otras tecnologías.<sup>26</sup>

Anteriormente se muestra (Tabla 2) que en los países estudiados, las tecnologías de tratamiento empleadas fueron fundamentalmente las lagunas de estabilización facultativas o aerobias, en tres casos, los lodos activados y en un solo caso, el tratamiento por floculación química. Es

necesario destacar que al comparar los sistemas de tratamiento (Tabla 2) con el grado de eliminación de coliformes (Tabla 1) para cada caso específico, se aprecia que en solo dos casos (Chile y Brasil) cumplen con concentraciones de coliformes exigidos por la OMS para su reúso en riego agrícola (< 1 000 NMP/100 mL de coliformes fecales).

Lo anterior es una evidencia práctica de que aunque en los sistemas de tratamiento por lagunas de estabilización o lodos activados se logran considerables remociones de microorganismos en la mayoría de los casos evaluados, estos sistemas no son suficientes para lograr los niveles de desinfección exigidos para riego agrícola.

Si a lo anterior se agrega que las lagunas de estabilización son sistemas que están diseñados para operar prácticamente por sí solos, y por este motivo, generalmente no reciben un sistemático mantenimiento y dragado de los sedimentos acumulados, lo que provoca que disminuya constantemente el nivel de profundidad de aquellas, reduciendo de este modo, el tiempo real de retención y la eficiencia de remoción de contaminantes para la que fueron diseñadas en un inicio. Existe una estrecha relación entre el tiempo de retención en las lagunas de estabilización y la eficiencia de remoción de microorganismos (Fig.1), con 20 d de retención se obtienen remociones entre 2 y 4 unidades logarítmicas para los virus y entre 5 y 6 logaritmos para las bacterias, para lograr un 100 % de eliminación de huevos de helmintos se necesitan tiempos de retención superiores a 10 d.

Además, las lagunas presentan la desventaja de requerir grandes extensiones de terreno con topografía llana y pueden generar malos olores y vectores, por lo tanto, hay que disponer de áreas amplias, baratas y alejadas de las ciudades.

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria refleja el grado de eficiencia previsto en la eliminación de los principales agentes patógenos microbiológicos para varios procesos de tratamiento de aguas residuales (Tabla 8).<sup>16</sup>

Con tratamientos convencionales (sedimentación, lodos activados, filtros biológicos, lagunas, zanjas de oxidación o tratamientos primarios avanzados), a menos que se suplementen con desinfección, no es posible un efluente con menos de 1 000 coliformes fecales por 100 mL.<sup>26</sup>

La desinfección (generalmente mediante cloración), se puede emplear para reducir el número de bacterias en los efluentes de una planta de tratamiento convencional si esta funciona bien. Sin embargo, es muy difícil y costoso mantener una tasa elevada y uniforme de eficacia en la desinfección, además, la cloración no garantiza la remoción de los huevos de helmintos.<sup>26</sup>

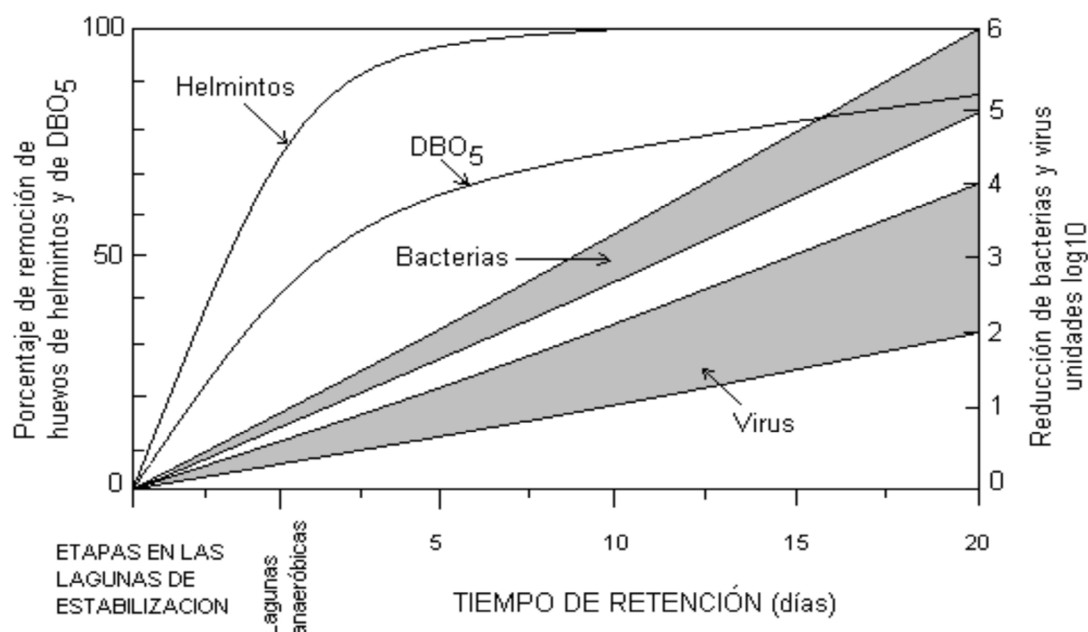


Fig. 1. Eliminación prevista de microorganismos según los tiempos de retención.

Tabla 8. Grado de eficiencia previsto en la eliminación de los principales agentes patógenos.

Procesos de tratamiento. <sup>1</sup>	Eliminación (unidades logarítmicas <sub>10</sub> ) de			
	Bacterias	Helmintos	Virus	Quistes
Sedimentación primaria sencilla.	0 - 1	0 - 2	0 - 1	0 - 1
Con ayuda química. <sup>2</sup>	1 - 2	1 - 3	0 - 1	0 - 1
Lodo activado. <sup>3</sup>	0 - 2	0 - 2	0 - 1	0 - 1
Biofiltración. <sup>4</sup>	0 - 2	0 - 2	0 - 1	0 - 1
Laguna ventilada. <sup>4</sup>	1 - 2	1 - 3	1 - 2	0 - 1
Zanja de oxidación.	1 - 2	0 - 2	1 - 2	0 - 1
Desinfección. <sup>5</sup>	2 - 6	0 - 1	0 - 4	0 - 3
Estanques de estabilización de desechos. <sup>6</sup>	1 - 6	1 - 3	1 - 4	1 - 4
Depósitos de efluentes. <sup>7</sup>	1 - 6	1 - 3	1 - 4	1 - 4

1. Puede incluir otros.

2. Se necesitan investigaciones más detalladas para confirmar los resultados.

3. Incluida la sedimentación secundaria.

4. Incluidos los estanques de sedimentación.

5. Cloración u ozonización.

6. Los resultados dependen del número de estanques en serie y de otros factores ambientales.

7. Los resultados dependen del tiempo de retención, que varía con la demanda.

Por otra parte, en la cloración por reacción con la materia orgánica presente, se forman productos organoclorados tóxicos como los trihalometanos que son cancerígenos,<sup>27,28</sup> por lo que se han realizado estudios con otras alternativas entre las que se encuentran la desinfección por rayos ultravioleta, el tratamiento con ozono y la solarización (desinfección por la luz solar).<sup>29</sup>

En varios países se ha empleado la filtración rápida en arena para mejorar los efluentes del tratamiento biológico secundario cuando se pretende emplearlos en agricultura y acuicultura, sobre todo, para poder eliminar mejor los sólidos y materias en suspensión y reducir la demanda bioquímica de oxígeno. La experiencia en el empleo de esta práctica indica que la reducción de las

concentraciones de bacterias y virus podría ser solo nominal. Sin embargo, la eliminación de huevos de helmintos en una planta de filtración en buen funcionamiento puede ser sustancial.<sup>26</sup>

La mejor variante de tratamiento debe considerar una combinación de al menos dos procesos de tratamiento, uno inicial que permita la remoción de contaminantes físico químicos (Ejemplos: tratamientos biológicos cuando la disponibilidad del terreno lo permita o tratamiento primario avanzado por coagulación-floculación para áreas menores) y una imprescindible etapa final de desinfección, que pudiera considerar la opción de un proceso de ozonización, por su gran poder en la eliminación de bacterias, quistes y virus,<sup>30-33</sup> además de



aumentar considerablemente las concentraciones de oxígeno disuelto en las aguas tratadas.

La ozonización de aguas se ha convertido en un método muy atractivo en muchos campos,<sup>34-36</sup> por el gran poder oxidante y bactericida del ozono, y se han reportado sus beneficios para otros procesos de tratamiento, como por ejemplo, para la coagulación – floculación,<sup>37-39</sup> por lo que la combinación de la ozonización con otras etapas de pre-tratamiento significaría un aumento sensible en la eliminación de la carga orgánica, inorgánica y microbiológica de estos residuales, posibilitando el reúso de estas aguas.<sup>40-41</sup>

En recientes estudios realizados por investigadores del Centro de Investigaciones del Ozono de la República de Cuba, en conjunto con investigadores de la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS) en México, se ha desarrollado una tecnología de tratamiento de estos residuos para su reúso en riego agrícola que combina tres etapas de tratamiento (coagulación-floculación, filtración y ozonización). Se ha demostrado con experimentos hasta escala de planta piloto, en las instalaciones de la UAS, que se obtienen elevados porcentajes de remoción de contaminantes físico químicos y microbiológicos superiores al 90 y 99,999 % respectivamente (Tabla 9), lo que permite cumplir con la calidad de agua exigida por las normas internacionales para riego agrícola.

## CONCLUSIONES

El uso productivo de las aguas residuales domésticas o municipales pudiera constituir una vía alternativa importante para riego agrícola por sus contenidos de nutrientes y materia orgánica, lo que favorecería el incremento de las cosechas y el mejoramiento de los suelos.

Existen normas internacionales que regulan la calidad de las aguas residuales para su reúso en la agricultura, pero muchos países no tienen implementadas normas propias adaptadas a sus propias condiciones técnico económicas y ambientales.

En Cuba no existen normas para este fin y solo se reúsan estas aguas tratadas para riego de áreas verdes en hoteles, desaprovechando el uso productivo de un gran volumen de agua siempre disponible para la agricultura extensiva o urbana, sobre todo, en épocas de sequía.

La tecnología de tratamiento que se recomienda para países en vías de desarrollo son las lagunas de estabilización, pero se reconoce que existen otras tecnologías disponibles y la necesidad de estudios en alternativas como la filtración y la desinfección ovicida.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Elementos metodológicos para la introducción de prácticas de producción más limpia. Alternativas para el aprovechamiento económico de residuales. Centro de Información, Divulgación y Educación Ambiental. Cuba. 2002.
2. Miralles de Imperial R., Ma Beltrán E., Angel M., Beringola Ma Luisa., Valero J., Calvo R. y Delgado Ma del Mar. Disponibilidad de nutrientes por el aporte de tres tipos de lodos de estaciones depuradoras. **Revista Internacional de Contaminación Ambiental**, 19, 3, 2003.
3. Cifuentes E. Problemas de salud asociados al riego agrícola con agua residual en México. **Salud Pública de México**, 35, 614-619, 1993.
4. El equilibrio entre la salud y los medios de subsistencia. **Revista Agricultura Urbana**, 8. En línea: <http://ipes.org/au/pdfs/rau8/ruaf8p4.pdf>. (Consultado: 21 agosto de 2007.)
5. El uso agrícola de aguas residuales urbanas no tratadas en países de bajos ingresos. Conferencia electrónica, 24 junio – 5 julio 2002. En línea: <http://www.ruaf.org>. (Consultado: 14 septiembre de 2007.)
6. Von Sperling M., and Fattal B. Implementation of guidelines: some practical aspects. In: Water Quality: Guidelines, Standards and Health: Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease. Fewtrell L, Bartram J, **Publicación IWA**, 16: 361-376. 2001.
7. Snyder S.A, Wert E.C., Rexing D.J., Zegers R.E, and Dnury D.D. Ozone oxidation of endocrine disruptors and pharmaceuticals in surface water and wastewater. **Ozone Science & Engineering**, 28, 445-460, 2006.
8. Joss A., Keller E., Alder A.C., Gobel A., McArdell C.S., Ternes T. and Siegreist H. Removal of pharmaceuticals and fragrances in biological wastewater treatment. **Water Res.**, 39, 3139-52, 2005.
9. Nakonechny M., Ikekata K. and Gamal El-Din M. Kinetics of Estione Ozone/Hydrogen Peroxide Advanced Oxidation Treatment. **Ozone Science & Engineering**, 30, 249-255, 2008.
10. Kuo, C.H, Zappi, M.E, Chen, S.M. Peroxone oxidation of toluene and 2,4,6-trinitrotoluene. **Ozone Science & Engineering**, 22, 519, 2000.
11. Medidas de protección sanitaria en el aprovechamiento de aguas residuales. Directrices sobre la calidad de los efluentes empleados en la agricultura. En línea: <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltex/repind53/dis/dis.html#disca72>. Actualizado: 13 enero de 2007. (Consultado: 14 septiembre de 2007.)
12. Tratamiento y reúso de aguas residuales en América Latina. **Revista Agricultura Urbana**, 8. En línea: <http://ipes.org/au/pdfs/rau8/ruaf8p7.pdf>. (Consultado: 21 agosto de 2007.)
13. Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial. Resumen ejecutivo. IDRC – OPS/CEPIS. 2000 – 2002. En línea: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsaar/e/proyecto/proyecto.html>. (Consultado: 14 septiembre 2007.)
14. Chao A.C. Análisis del aprovechamiento de agua residual tratada como agua de reúso para riego de áreas verdes en las instalaciones hoteleras. Informe técnico. Inmobiliaria ALMEST. 2005.

**Tabla 9.** Remoción de contaminantes durante cada etapa del tratamiento y remoción total al final del esquema de tratamiento.

Etapas	pH	UNT	SST (mg/L)	Color (UPt-Co)	Absorción 254 nm	OD (mg/L)	DQO (mg/L)	C F NMP/100 mL
AC	7,75	330	324	1 550	0,878	3,41	178	22 400 000
C-F	7,71	9	17	144	0,33	4,11	44	9 200 000
Ozono	7,58	4	7	30	0,07	21,9	15	12
Remoción total (%)	2,2	98,8	97,8	98,1	92,0	6,42 <sup>a</sup>	91,6	99,999

AC Agua cruda sin tratamiento. Absorción 254 nm (Absorbancia medida a 254 nm).

CF Proceso de coagulación-floculación. OD Oxígeno disuelto. Ozono (Proceso de ozonización).

DQO: Demanda química de oxígeno. UNT Unidades nefelométricas de turbiedad.

CF Coliformes fecales. SST Sólidos suspendidos totales. <sup>a</sup> Veces que se incrementa el oxígeno disuelto.

15. State of California. Wastewater reclamation criteria. Department of Health Services, California administrative code, Title 22, Division 4, Environmental Health, Berkeley, CA, 1978.
16. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria. Aspectos sanitarios de la utilización de aguas residuales y excretas en la agricultura y acuicultura. Sinopsis de la declaración de Engelberg. Hojas de divulgación técnica. En línea: <http://www.cepis.ops-oms.org> : HDT37. (Consultado: 14 septiembre de 2007.)
17. Declaración de Hyderabad. **Revista Agricultura Urbana**, **8**. En línea: <http://ipes.org/au/pdfs/rau8/ruaf8p2.pdf>. (Consultado: 21 agosto de 2007.)
18. Rivera R., Palacios O., Chávez Jesús, Belmont A., Nikolskii I., De la Isla Ma. Lourdes., Guzmán A., Terrazas L., Carrillo R. Contaminación por coliformes y helmintos en los ríos Texcoco, Chapingo y San Bernardino tributarios de la parte oriental de la cuenca del Valle de México. **Revista Internacional de Contaminación Ambiental**, **2**, 23, 2007.
19. Bontoux L. The regulatory status of wastewater reuse in the European Union. In: Wastewater reclamation and reuse, Lancaster, PA, Technomic Publishing, 1463-1476. 1998.
20. Blumenthal, U.J., Peasey, A., Ruiz-Palacio, G. y Mara, D.D. (1999). Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions based on new research evidence. Estudio WELL No. 68, Part 1, June 2000. En línea: <http://www.lboro.ac.uk/well/studies/t68i.pdf>
21. Peasey, A., Blumenthal, U.J., Mara, D.D. y Ruiz-Palacios, G. A review of policy and standards for wastewater reuse in agriculture: a Latin American Perspective. Estudio WELL No. 68, Part 2, June 2000). En línea: <http://www.lboro.ac.uk/well/studies/t68i.pdf>
22. World Health Organization. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. Technical report, Series 778, WHO, Geneva, Switzerland, 1989.
23. World Health Organization. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2: Wastewater use in agriculture. En línea: <http://www.who.int>. (Consultado: 14 septiembre de 2007.)
24. Environmental Protection Agency/US Agency for International Development. Guidelines for water reuse. Office of Wastewater Enforcement and Compliance, Technical report No. EPA/625/R-92/004, Washington, DC, 1992.
25. NC. 27: 1999. Vertimiento de Aguas Residuales a las Aguas Terrestres y al Alcantarillado. Especificaciones.
26. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria. Tratamiento de aguas residuales. <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltex/repind53/dis/discua75.html>. Actualizado: 13 enero de 2007. (Consultado: 14 septiembre de 2007.)
27. DeMarini D.M., Abu-Shakra A., Felton C.F., Patterson K.S. and Shelton M.L. Mutation Spectra in Salmonella of Chlorinated, Chloraminated or Ozonated Drinking Water Extracts: Comparison to MX. **Environmental and Molecular Mutagenesis**, **26**, 270, 1995.
28. International Agency for Research on Cancer. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, chlorinated drinking water; chlorination by-products, some other halogenated compounds, 52, Lyon, 1991.
29. Blatchley III E.R. and Y. Xie. Disinfection and antimicrobial processes. **Water Eng. Res.**, **67**, 475-481, 1994.
30. Finch G.R., Black E.K. and Gyurek L. Ozone disinfection of *Giardia* and *Cryptosporidium*. American Water Works Association Research Foundation, Denver, 1994.
31. Liberti L., Notarnicola M. and Lopez A. Advanced treatment for municipal wastewater reuse in agriculture. III- Ozone disinfection. **Ozone Science & Engineering**, **22**, 151-166, 2000.
32. Roustan M., Stambolieva Z., Duguet J.P., Wable O. and Mallevialle J. Research note: Influence of hydrodynamics on *Giardia* cyst inactivation by ozone. Study by kinetics and by "CT" approach. **Ozone Science & Engineering**, **13**, 451, 1991.
33. Lezcano I., Pérez Rey, R., Baluja C. y Sánchez E. Ozone inactivation of *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Shigella sonnei* and *Salmonella typhimurium* in water. **Ozone Science & Engineering**, **21**, 293, 1999.
34. Le Pauloue J. y Langlais B. State of the art of ozonation in France. **Ozone Science & Engineering**, **21**, 153, 1999.
35. Rice R.G. Ozone in the United States of America-State of the art. **Ozone Science & Engineering**, **21**, 99, 1999.
36. Mork D. Tecnología en la generación de ozono. Pasado, presente y futuro. Conferencia Regional, IOA, Ciudad México, 2002.
37. Orta de Velásquez M.T., Altamirano J.M., Monje I. and Manero O. Improvement of wastewater coagulation using ozone. **Ozone Science & Engineering**, **20**, 151-162, 1998.
38. Mathonnet S., Casellas C., Bablon G. and Bontoux J. Impact of preozonation on the granulometric distribution of materials in suspension. **Ozone Science & Engineering**, **7**, 107-120, 1995.
39. Durán A., González E. y Ramírez R. M. Comparación de dos procesos fisicoquímicos para el tratamiento de aguas residuales. **Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ)**, **16**, 28-41, 2001.
40. Seo G.T., Lee T.S., Moon B.H., and Lim J.H. Ultrafiltration combined with ozone for domestic laundry wastewater reclamation and reuse. **Water Supl.**, **1**, 387-392. IWA Publishing, 2001.
41. Véliz E., Fernández L. A., Bataller M., Hernández C., Fernández I., Álvarez C. Tratamiento de aguas residuales de lavanderías para su reúso en los procesos de lavado. 4to Simposio Internacional de Aplicaciones del Ozono, Ciudad de La Habana, Cuba, abril de 2004.