

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/265817168>

Riego agrícola con agua residual y sus implicaciones en la salud. Caso práctico

Conference Paper · January 2002

CITATIONS

2

READS

696

4 authors, including:



Blanca Jiménez

Universidad Nacional Autónoma de México

336 PUBLICATIONS 9,634 CITATIONS

SEE PROFILE



Alma Chavez

Universidad Nacional Autónoma de México

44 PUBLICATIONS 851 CITATIONS

SEE PROFILE

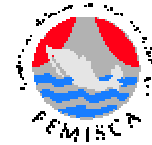
Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Water in Latin America [View project](#)



Water reuse for agricultural irrigation [View project](#)



RIEGO AGRÍCOLA CON AGUA RESIDUAL Y SUS IMPLICACIONES EN LA SALUD. CASO PRÁCTICO

Blanca Elena. Jiménez Cisneros *

Instituto de Ingeniería, UNAM, México.

Es Ingeniera Ambiental (1980) con maestría y doctorado en Tratamiento y Reúso de Agua. Investigadora titular y dirige el Grupo de Tratamiento y Reúso de Agua y Lodos en la UNAM. Actualmente funge como Presidenta de la Federación Mexicana de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Ha recibido varios premios entre los que destaca el de la Academia Mexicana de Ciencias en 1997 y el Pedro J. Caballero en 2000. Es autora de más de 84 artículos internacionales, 7 libros y posee 3 patentes. Es miembro del International Women's Forum



Alma C. Chávez Mejía

Instituto de Ingeniería, UNAM,

Vanessa Silva Castro

Instituto de Ingeniería, UNAM,

* Instituto de Ingeniería, Grupo de Tratamiento y Reúso UNAM. Circuito Escolar S/N, Apdo. Postal 70-472, Coyoacán, C.P. 04510, México D.F. Teléfono 56 22 33 44 Fax 56 22 34 33 E-mail: BJimenezC@iingen.unam.mx

RESUMEN

La reutilización del agua en la agricultura constituye una alternativa de gran relevancia en los estados áridos y semiáridos del país, ya que en la actualidad se descarga un total de 200 m³/s (6.3 km³ por año) de los cuales es aprovechado en riego agrícola un volumen total de 108 m³/s (3.4 km³ por año); sin embargo, sólo el 8.2% de éstos tiene algún proceso de tratamiento, mientras que el 91.8% se aplica sin tratamiento alguno en 254,597 ha distribuidas en 26 Distritos de Riego (DR). En contraparte, se ha demostrado que el empleo en riego del agua negra es la causa principal de la transmisión de enfermedades diarreicas ocasionadas por Helminetos en la región del valle del Mezquital donde los niños entre 4 y 16 años sufren 16 veces más de *Ascariasis* que en zonas donde se emplea agua limpia. Como regla general, la U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) en 1992 sugiere nueve procesos capaces de remover los microorganismos, siendo las **lagunas de estabilización** las que tienen una mejor eficiencia para remover los Huevos de Helminetos (HH) y los Coliformes Fecales (1 a 3 unidades logarítmicas); de hecho se sugiere que este tipo de proceso es favorable para el reúso, ya que tiene la ventaja de ser adecuado en poblaciones con pocos habitantes, grandes extensiones de terreno y poca evaporación, por lo que el sistema sería inadecuado para las grandes ciudades como México, D.F., donde los costos del terreno son considerables. Además de las lagunas de estabilización, se hace mención del empleo de procesos de sedimentación ayudados con productos químicos como el Tratamiento Primario Avanzado (TPA), pero se indica que es necesario efectuar estudios para confirmar la eficiencia de remoción de estos microorganismos dado el número limitado de experiencias. En estudios realizados con un sistema de TPA acompañado de un sistema de filtración y una desinfección con cloro para el agua residual del Valle de México, se determinó que, independientemente de la tecnología experimentada, se obtuvo una calidad constante en el agua tratada en cuanto al contenido de Sólidos Suspendedos Totales (SST) y HH. En efecto, el contenido promedio de SST para todos los efluentes producidos por un sistema de TPA fue en promedio de 28 ± 13.6 con una variación de 13.6 hasta 79.5 mg/L; para los HH, los valores de remoción fluctuaron entre 0.8 y 5 HH/L con un promedio de 1.3 ± 0.8 HH/L. Un efluente de TPA acompañado de un sistema de filtración tuvo la capacidad de remover el contenido de HH hasta valores < 1 HH/L, es decir, con este esquema se podrá obtener agua para riego sin restricción alguna. Sin embargo, mientras que para remover los Coliformes Fecales a <1000 NMP/100 mL fue necesario utilizar un sistema de desinfección y una dosis de cloro de 12 mg/L con un tiempo de contacto de 2 h. El efluente producido con este tren de tratamiento se podrá emplear en riego agrícola no restringido.

Palabras Clave: agua residual, riego agrícola, Tratamiento Primario Avanzado, filtración, desinfección.

INTRODUCCIÓN

En México, la normativa para el control de descargas busca fomentar su reúso en riego agrícola como una estrategia para conservar el agua de primer uso y aprovechar el contenido de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y materia orgánica que se presente en el agua residual; no obstante, al regar con este tipo de agua se eleva el riesgo de contraer enfermedades gastrointestinales, principalmente entre los agricultores y sus familias. Por ello, fue necesario modificar la normativa de manera que los estándares de calidad fueran orientados al control de microorganismos patógenos. Hoy, la nueva normativa establece que para riego en todo tipo de cultivos se puede reusar el agua negra tratada que contenga <1000 NMP/100 mL de Coliformes Fecales y <1 HH/L. Adicionalmente, para el caso del riego de cultivos que no se consumen crudos es posible aceptar hasta 5 HH/L junto con <1000 NMP/100 mL. En estas condiciones, fue necesario evaluar qué tipo de tecnología se podría emplear para cumplir con el objetivo de calidad microbiológica para riego en México. Se determinó que con el empleo de un sistema de tratamiento fisicoquímico como el TPA, seguido de una filtración más la cloración, fue posible producir un efluente con los estándares de calidad más estrictos para los HH.

ANTECEDENTES

En México, se destinan 1,781 m³/s (56.2 km³ por año) para uso agrícola, de los cuales el 67.2% proviene de fuentes superficiales y 32.8% de fuentes de abastecimiento de agua subterránea. La reutilización del agua en la agricultura constituye una alternativa de gran relevancia en los estados áridos y semiáridos del país ya que en la actualidad se descarga un total de 200 m³/s (6.3 km³ por año) de los cuales un volumen total de 108 m³/s (3.4 km³ por año) son aprovechados en riego agrícola; sin embargo, sólo el 8.2% tiene algún proceso de tratamiento, mientras que el 91.8% se aplica sin tratamiento alguno en 254,597 ha distribuidas en 26 Distritos de Riego (DR). Entre estos, destaca el DR 03 ubicado en el valle del Mezquital, con un total de 90,000 ha y una antigüedad de 105 años en operación continua; la región es ejemplo único de riego con aguas residuales pues representa el 43% del volumen y un 34.4% de área total nacional cultivada con este sistema.

PRINCIPAL PROBLEMA EN MÉXICO EN MATERIA DE CALIDAD DE AGUA RESIDUAL

En México, el reúso en riego agrícola es una práctica generalizada iniciada en 1896; empero, no fue sino hasta 1920 cuando se empezó a visualizar la importancia económica de aprovecharla para fines agrícolas. Se puede decir que el empleo de esta agua fue una consecuencia espontánea, no prevista, ni planificada, de las obras de desagüe del Valle de México (Jiménez *et al.*, 1998) hacia el valle del Mezquital ubicado al norte de México, D. F., lugar donde se riegan aproximadamente 90,000 ha (USEPA, 1992 y Jiménez *et al.*, 1997 y 1999). Debido a su gran contenido de nutrientes y materia orgánica, esta agua es altamente valorada por los agricultores, ya que permite aumentar significativamente la productividad agrícola.

Cifuentes y colaboradores (1992) en su estudio demostraron que el empleo del agua negra en riego es la causa principal de la transmisión de enfermedades diarreicas ocasionadas por Helmintos en la región del valle del Mezquital. Como puede observarse en la Tabla 1, los niños entre 4 y 16 años sufren 16 veces más de *Ascariasis* que en zonas donde se emplea agua limpia, mientras que tienen tasas de morbilidad similares para enfermedades diarreicas originadas por otro tipo de patógenos.

TABLA 1. Comparación de la frecuencia de enfermedades hídricas entre el valle del Mezquital y una zona que emplea agua limpia (Cifuentes y Blumenthal, 1992)

Especie	Población afectada por edades	Tasas De Morbilidad		
		Zona regada con aguas negras (A)	Zona regada con agua limpia (B)	Relación (A/B)
<i>Ascaris lumbricoides</i> (Helminto)	0 A 4	15.3	2.7	5.7
	5 A 14	16.1	1.0	16.0
	> 15	5.3	0.5	11.0
<i>Giardia lamblia</i> (Protozoario)	0 A 4	13.6	13.5	1.0
	5 A 14	9.6	9.2	1.0
	> 15	2.3	2.5	1.0
<i>Entamoeba histolytica</i> (Protozoario)	0 A 4	7.0	7.3	1.0
	5 A 14	16.4	12.0	1.3
	>15	16.0	13.8	1.2

CAMBIOS EN LA REGLAMENTACIÓN EN MATERIA DE RIEGO AGRÍCOLA CON AGUA RESIDUAL EN MÉXICO, NOM-001-ECOL/1996

La norma vigente en México para el uso de agua residual en la agricultura se constituyó a partir de una reorganización a fondo de la normatividad sobre las descargas industriales y domésticas hacia aguas y tierras nacionales. Como primer paso concreto de esta reforma, en 1996 se sustituyeron 44 normas distintas (lo que hacía casi imposible la regulación) para aguas residuales por la NOM-001 ECOL/96, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales de origen doméstico en riego y bienes nacionales, determinando que el contenido de HH debe ser < 1 HH/L cuando el agua se utiliza para todo tipo de cultivos y < 5 HH/L cuando ésta se restringe a cultivos que no se consumen crudos. Con objeto de controlar otros organismos, la Norma indica que el número más probable de Coliformes Fecales debe ser menor de 1000 por cada 100 mL en cualquier caso. Adicionalmente, en la Tabla 2 se describen los límites máximos permisibles de otros contaminantes.

TABLA 2. Límites permisibles para otros contaminantes

Parámetros †	Uso en riego agrícola		Parámetros, ^Φ (mg/L)	Uso en riego agrícola	
	Promedio mensual	Promedio diario		Promedio mensual	Promedio diario
Temperatura, °C	NA	NA	Arsénico	0.2	0.4
Grasas y Aceites	15	25	Cadmio	0.05	0.1
Material flotante	Ausente	Ausente	Cianuro	20	30
Sólidos Sedimentables	N.A.	N.A.	Cobre	4	60
Sólidos Suspendidos Totales	N.A..	N.A.	Cromo	0.5	1.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	N.A.	N.A.	Mercurio	0.005	0.01
	N.A.	N.A.	Níquel	2	4
Nitrógeno total	N.A.	N.A.	Plomo	5	10
Fósforo total	N.A	N.A	Zinc	10	20

† En mg/L excepto cuando se especifique.

Φ Medidos de manera total.

N.A. No acredita.

TECNOLOGÍA DISPONIBLE PARA REMOVER LOS HUEVOS DE HELMINTOS

A pesar de lo común de las helmintiasis, a nivel mundial no hay muchos estudios para remover HH del agua residual, pues ello ocurre en países en vías de desarrollo con investigación y desarrollo tecnológico propio escasos. De hecho, éste es un problema que preocupa poco a los países desarrollados, donde la helmintiasis es prácticamente inexistente, ya que su presencia está ligada a la calidad de condiciones económicas, sociales y educacionales.

Como regla general, la USEPA en 1992 sugiere nueve procesos capaces de remover los microorganismos, siendo las **lagunas de estabilización** las que tienen una mejor eficiencia para remover los HH y los Coliformes Fecales (1 a 3 unidades logarítmicas). Schwartzbrod *et al.*, (1989); Lee, (1991); Feigin *et al.*, (1984); Shuval, (1991), USEPA (1992) y World Health Organization (WHO) (1989) sugieren que este tipo de proceso es favorable para el reúso de agua residual en riego agrícola a bajo costo, siempre y cuando se opere correctamente, ya que tiene la ventaja de ser adecuado en poblaciones con pocos habitantes, que dispongan de una extensión grande de terreno y con poca evaporación; por lo tanto, este sistema **no sería aplicable para México o ciudades con problemas de espacio**; también, existe un riesgo muy alto de desarrollo de olores cuando el sistema ha sido sobrecargado o mal diseñado y hay la posibilidad de crear mosquitos alrededor de los cuerpos de agua.

Además de las lagunas de estabilización, se mencionaba el empleo de procesos de sedimentación ayudados con productos químicos (TPA), pero se indicaba que era necesario efectuar estudios para confirmar la eficiencia de remoción dado el número limitado de experiencias, constituyéndose de esta manera en una importante alternativa de tratamiento para México por ser el principal problema del agua residual destinada a riego agrícola su alto contenido de microorganismos (HH, *Salmonella spp* y Coliformes Fecales), aunado a la falta de conocimiento en cuanto a la eficiencia de remoción de éstos. Por ello, la experiencia adquirida es única en el mundo y resulta un tema trascendental y acorde con las necesidades propias y crecientes de México y el requerimiento del desarrollo de nuevas técnicas más precisas para el monitoreo de la calidad del agua residual cruda y tratada.

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Se realizaron diversos estudios en sistemas lote y piloto constituidos con procesos fisicoquímicos (TPA), cuya diferencia fundamental radica en el tipo de sedimentación aplicado a los flóculos. Al mismo tiempo, fueron determinadas las condiciones necesarias para completar el esquema de tratamiento y así conformar una cadena completa de tratamiento. Acoplado a esto, se evaluó el sistema de filtración como válvula de seguridad para remover por completo el contenido de HH y se valoró la desinfección para remover patógenos diferentes de éstos, como la *Salmonella spp*, *P. aureginosa* y los quistes de protozoarios. Para alimentar cada una de las plantas se empleó el agua residual del Valle de México proveniente de uno de los sistemas de drenaje.

RESULTADOS

Los estudios demostraron que el agua residual presenta una elevada variabilidad, tanto en calidad como en cantidad, debida a la existencia de drenajes combinados; además, se encontró que el contenido de HH, guarda cierta relación con el contenido de SST presentes (Figura 1), y se determinó una concentración promedio de SST de 380 ± 216 mg/L, con una variación de 117 hasta 3383 mg/L, y un contenido de HH de 29 ± 11.2 HH/L con fluctuación de 6 hasta 93 HH/L.

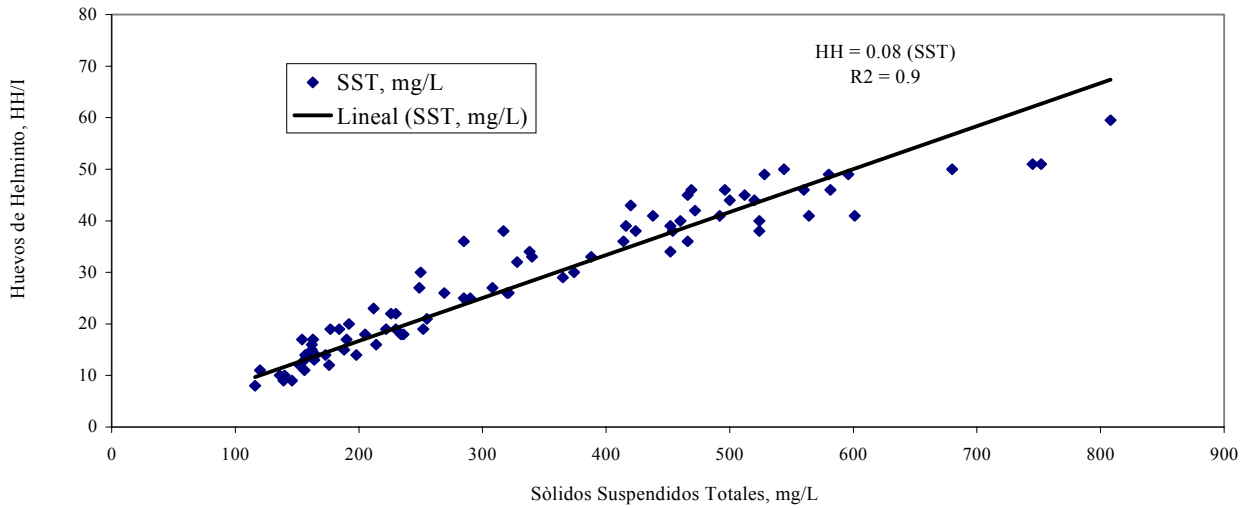


Figura 1. Correlación entre los SST y los HH en el agua residual de la Ciudad de México

Con el sistema de TPA independientemente de la tecnología que se emplee, se obtuvo una calidad constante en el agua tratada en cuanto al contenido de SST y HH. En efecto, el contenido promedio de SST para todos los efluentes producidos en las plantas fue de 28 ± 13.6 con una variación de 13.6 hasta 79.5 mg/L; en cuanto a la remoción de HH, el proceso tiene la capacidad de removerlos a valores que pueden fluctuar entre 0.8 y 5.0 HH/L con un promedio de 1.3 ± 0.8 HH/L (Figura 2), sin importar los cambios de calidad que pudieran existir en el agua residual. De acuerdo con los estándares establecidos por la nueva normativa (NOM 001-ECOL/96), con esta cantidad el efluente sólo podrá usarse en riego restringido, es decir, para irrigar cierto tipo de cultivos (principalmente forrajes y aquéllos que no se consumen crudos).

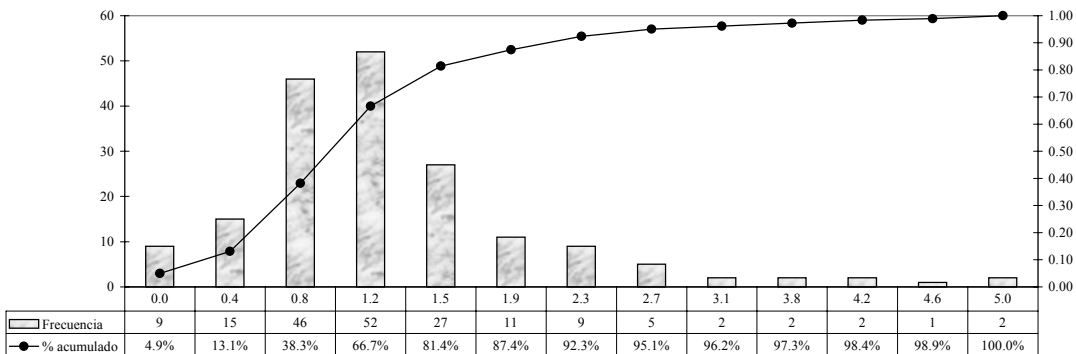


Figura 2. Distribución de los Huevos de Helminthos en los efluentes del TPA

Para aplicaciones más estrictas o agua para riego no restringido (agua tratada con un contenido < 1 HH/L), es necesario anexar una etapa posterior que actúe como válvula de seguridad o complementaria. Entre las opciones es factible la filtración en arena, con la cual se obtienen los resultados de la Figura 3, donde se muestra que en el 100% de los casos el efluente después de la filtración tiene < 1 HH/L (en promedio 0.88 HH/L), mientras que a la salida del TPA esta condición sólo se cumple en el 65% de los casos.

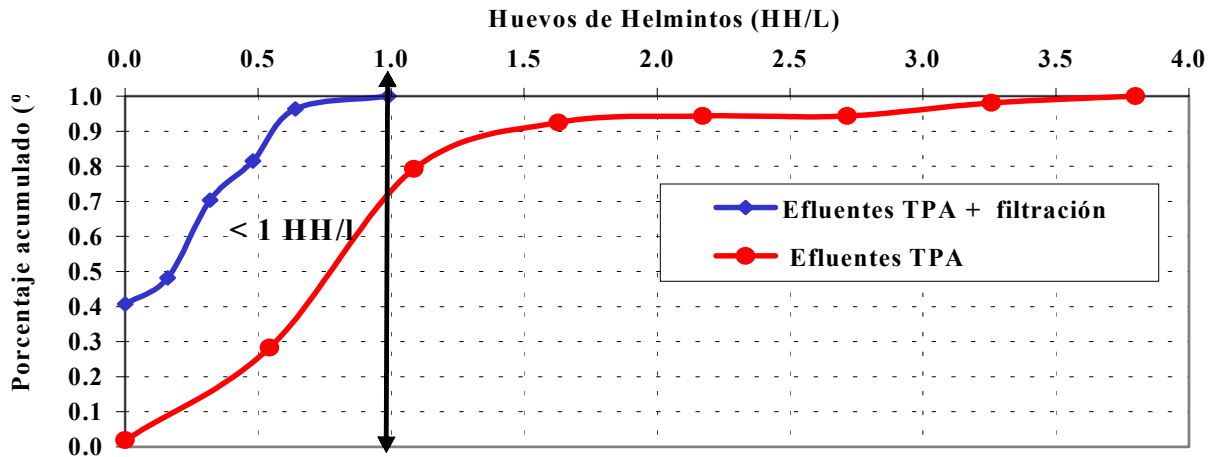


Figura 3. Probabilidad acumulada del contenido de Huevos de Helmintos a la salida del TPA y de una filtración posterior

Con el fin de completar el tratamiento del agua para lograr reducir el contenido de bacterias y protozoarios, se realizó una desinfección empleando como criterio de eficiencia de remoción a los Coliformes Fecales. Se consideró la cloración para cumplir la condición de $< 1000 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$ de Coliformes Fecales. En este caso, se encontró que una dosis de 12 mg/L de cloro y un tiempo de contacto de 2 h fueron suficientes para satisfacer la condición mencionada (Figura 4).

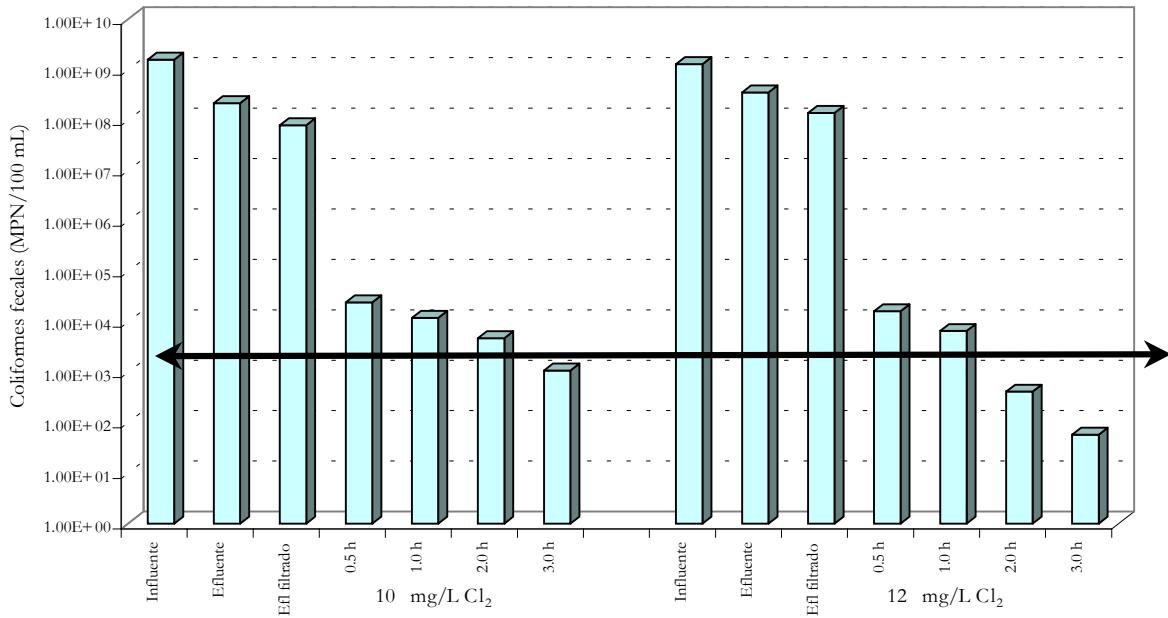


Figura 4. Dosis de cloro en función del tiempo de contacto $>$ de 2 h para remover Coliformes Fecales

TABLA 3. Especificaciones para la remoción de otros microorganismos en relación con el tiempo de contacto y la dosis

Tiempo de contacto, h	<i>Salmonellas spp.</i> , NMP/100 mL		<i>P. aeruginosa</i> , NMP/100 mL		Quistes, Q/L‡	
	Dosis de cloro aplicada, mg/L					
	12	14	12	14	12	14
Afluente	6.1X10 ⁸	7.7X10 ⁷	1.5X10 ⁵	3.6X10 ⁴	1063	1814
Efluente	6.7X10 ⁷ (0.9)♣	8.0X10 ⁶ (1) ♣	3.2X10 ⁴ (0.7) ♣	1.1X10 ⁴ (0.5) ♣	312	524
Filtración	2.9X10 ⁷ (1.3) ♣	4.0X10 ⁶ (1.3) ♣	2.3X10 ⁴ (0.8) ♣	--	200	235
0.5	1.9X10 ³ (5.5) ♣	ND	1.6X10 ² (3)	ND	--	130
1	ND	ND	ND	ND	50	63
2	ND	ND	ND	ND	31	39
3	ND	ND	ND	ND	26	---
4	ND	ND	ND	ND	---	---
5	ND	ND	ND	ND	---	---
6	ND	ND	ND	ND	---	---
24	ND	ND	ND	ND	29	---
48	ND	ND	ND	ND	19	21

‡*Entamoeba coli*, *Entamoeba histolytica*, *Endolimax nana*, *Iodamoeba bütschlii*, *Giardia lamblia*, *Balantidium coli*.
 ND= No detectado

♣ valores en unidades logarítmicas.

Adicionalmente durante esta etapa se remueven otros patógenos de interés sanitario, como *Salmonella spp*, *P.aureginosa* y quistes de protozoarios; según se observa en la Tabla 3, las remociones son considerables, pues se alcanzan 5.5 y 3 unidades logarítmicas para *Salmonella spp* y *P.aeruginosa*, respectivamente, con tan sólo 0.5 h de tiempo de contacto, y para los quistes de protozoarios hasta 1.3 con una hora de tiempo de contacto. Sin embargo, para todos los microorganismos estudiados la dosis y tiempo de contacto óptimos fueron de 12 mg/L y 3 h .

En resumen, con el proceso estudiado se obtienen las calidades y remociones de los procesos fisicoquímicos y microbiológicos de la Tabla 4.

TABLA 4. Remoción de contaminantes en diversas etapas del proceso

Parámetros	Afluente	Efluentes TPA	Efluentes TPA + filtración	Cloración 12 mg/L, 2h	η
SST	380	28	12	6	98 %
HH	29	1.3	0.35	0.35	99 %
CF	1.4 x10 ⁹	6.0 x10 ⁸ 0.4 unidades log	2.7x 10 ⁷ 1.3 unidades log	5x10 ² 4.7 unidades log	6.4 unidades log
N como NTK	22	18	13.5	12.3	44 %
P como PT	7	2.2	2.1	2.1	70 %
DQO	505	200	193	186	63 %

COSTOS DE TRATAMIENTO

El costo de tratamiento estimado considerando construcción, operación y mantenimiento dependerá de diversos factores locales que tienen que ser incluidos durante la proyección de una planta específica.

TABLA 5. Proyecto: Tratamiento de las aguas residuales de la Ciudad de México (estimaciones basadas en los resultados de una planta piloto de Ecatepec, Méx; Jiménez, Chávez y Capella, 1997)

HUEVOS DE HELMINTO, EN HH/L	PORCENTAJE DE REMOCIÓN, SST	PORCENTAJE DE REMOCIÓN, DQOt	COSTO en dls EUA/m ³
200-250	---	---	---
40	25	10	0.03
1-8	71	34	0.05
1-8	85	85	0.15

CONCLUSIONES

En México, la reutilización del agua en la agricultura constituye una alternativa de gran relevancia sobre todo en zonas áridas y semiáridas, donde existe un potencial de reúso de 200 m³/s. Sin embargo, la gran diversidad y elevados niveles de microorganismos patógenos presentes en el agua residual sin tratamiento ocasionan un alto riesgo a la salud de los productores que tienen contacto directo y de los consumidores de los productos, siendo éste el principal limitante para el reúso.

El TPA tiene la capacidad de remover los HH a valores que fluctúan entre 0.8 y 5 HH/L, por lo que según los estándares establecidos por la normatividad mexicana con esta cantidad el efluente sólo podrá usarse en riego restringido. En el 100% de los casos, el efluente después de un TPA + filtración tiene <1 HH/L (riego no restringido); sin embargo, para lograr <1000 NMP/100 mL de Coliformes Fecales se requiere, además de un TPA + filtración, un proceso posterior de desinfección.

Existe una correlación entre el contenido de SST y los HH; sin embargo, esta correlación deberá hacerse para cada caso específico. Dicha correlación permitirá disminuir costos de operación en una planta y al mismo tiempo dará un índice en forma muy rápida de la calidad de agua obtenida en el proceso. La concentración de SST esperada en un efluente de TPA será de 28 mg/L y con un proceso de filtración posterior tal concentración disminuirá hasta 12 mg/L.

En el agua residual, la concentración de Coliformes Fecales fluctuó de 7.8X10⁸ hasta 1.2X10⁹ NMP/100 mL, de *Salmonella spp* de 1.1X10⁸ hasta 7.5X10⁸ NMP/100 mL, de *P aeruginosas* de 3.9 X10⁴ hasta 1.6X10⁶ NMP/100 mL y de Quistes de protozoarios de 1.0X10³ hasta 1.8 X 10³ Q/L.

En el sistema de TPA + la filtración sólo se logran remover 1.3 unidades logarítmicas de Coliformes Fecales, por lo que fue necesaria una etapa de desinfección adicional, en donde se requirió utilizar una dosis de 12 mg/L y un tiempo de contacto mínimo de 2 h para removerlos en forma eficiente hasta 4.7 unidades logarítmicas.

La calidad de agua producida con este esquema no tendrá ninguna restricción para ser empleada en riego agrícola; con ello se podrá fomentar este tipo de reúso en nuestro país.

REFERENCIAS

- Chávez A. and Jiménez B. (2000). Particle Size Distribution (PSD) Obtained in Effluent from an Advanced Primary Treatment Process Using Different Coagulant. CHEMICAL WATER AND WASTEWATER TREATMENT VI: Proceedings on the 9th International Gothenburg Symposium, Editorial Springer-Verlag, ISBN3-540-67574-4, Berlin, 257-268..
- Cifuentes E.; Blumenthal J., Ruiz-Palacios G. and Beneth S. (1992). Health Impact Evaluation of Wastewater in Mexico, *Public Health Revue*, **19**, 243-250.
- Jiménez B, and Chávez A. (1997). Treatment of Mexico City Wastewater for Irrigation Purpose. *Environmental Technology*, **18**, 721-730.
- Jiménez B. Chávez A. and Hernández C. (1999). Alternative Treatment for Wastewater Destined for Agricultural Use. *Wat. Sci. Tech.*, **40** (4-5); 355-362.