

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

Ricardo RIVERA-VÁZQUEZ¹, Óscar L. PALACIOS-VÉLEZ², Jesús CHÁVEZ MORALES, Marco A. BELMONT³, Iouri NIKOLSKI-GAVRILOV², Ma. de Lourdes DE LA ISLA DE BAUER², Arturo GUZMÁN-QUINTERO, Liliana TERRAZAS-ONOFRE y Rogelio CARRILLO-GONZALEZ^{2*}

¹ Estudiante de Maestría en el Colegio de Postgraduados, Programa Hidrociencias

² Profesor investigador. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, km 36.5 Carretera Federal México- Texcoco, Texcoco, México. C.P. 56230.*Autor de correspondencia, correo electrónico: crogelio@colpos.mx

³ Postdoctoral Researcher, Wetland Biogeochemistry Institute, Oceanography & Coastal Sciences, Ontario University, Canadá

(Recibido marzo 2006, aceptado junio 2007)

Palabras clave: aguas residuales, contaminación biológica, descargas urbanas

RESUMEN

Los ríos de la zona de Texcoco, en la Cuenca de México, reciben descargas de aguas residuales no tratadas. Hasta antes de este estudio no se tenía un inventario de fuentes de contaminación y se desconocía la cantidad de contaminantes de las descargas. El objetivo de esta investigación fue identificar las descargas a los ríos y determinar su grado de contaminación. Se hicieron 10 muestreos en 28 descargas de mayo de 2004 a abril de 2005 y se cuantificaron algunos contaminantes químicos (substancias activas al azul de metileno, elementos traza, N, P y conductividad eléctrica) y biológicos (bacterias coliformes totales (CT), fecales (CF) y huevos de helmintos). Las cantidades de CT (número más probable, NMP) varió de 1.6×10^4 a 2.4×10^7 NMP 100 mL⁻¹; de CF varió 1×10^4 a 2.4×10^7 y los huevos de helmintos de 0.38 a 6.78 huevos L⁻¹. Estas cantidades rebasan los límites permisibles establecidos por la norma NOM-001-SEMARNAT, que es de: 1000 NMP 100 mL⁻¹ para CF y 5 huevos de helminto L⁻¹ como promedio mensual para riego no restringido. Una fracción de esta agua se utiliza para riego de cultivos agrícolas, otra parte se infiltra hacia el acuífero y existe el riesgo de su contaminación. Por lo anterior, se considera urgente el tratamiento de estas aguas residuales.

Key words: wastewater, biological pollution, urban effluents

ABSTRACT

The Texcoco zone, located at the east of the Mexican Basin, presents serious contamination of its rivers caused by discharges of raw wastewater. Until this research, there were not available records about the contamination sources and the pollutants discharge. The aim of this research was to identify the effluent discharges to the river and their degree of pollution. From May 2004 to April 2005, water samples were collected ten times from 28 wastewater discharges to the rivers. Chemical (methylene blue active substances, trace elements, N, P and EC) and biological (total coliform bacteria content (TBC), fecal bac-

teria coliform (FBC) and helminth ova) contaminant contents were analyzed, according to the Mexican regulation. The TBC (as the most probable number MPN) ranged from 1.6×10^4 MPN 100 mL⁻¹ to 2.4×10^7 MPN 100 mL⁻¹, the FBC ranged from 1×10^4 to 2.4×10^7 and helminth ova ranged from 0.38 to 6.78 eggs L⁻¹. These amounts exceeded the permissible limits established by the Mexican guideline NOM-001-SEMARNAT (1000 NMP of FBC per 100 mL and 5 helminth ova as monthly average in water used for not restricted irrigation). A fraction of the wastewater discharge into streams and rivers is used for irrigation of agricultural lands, while other is lixiviated to subsoil and could eventually polluted groundwater. The waste water treatment before its discharge to the rivers is recommended.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de las aguas superficiales en el país es un problema que ha sido objeto de estudio en los últimos años (Soto-Galera *et al.* 1994, Downs *et al.* 1999, Hene *et al.* 2002). Las fuentes de contaminación son descargas de drenaje doméstico, industrial y actividad agropecuaria (Gold-Bouchot *et al.* 1997, Downs *et al.* 1999).

El agua residual de las comunidades del municipio de Texcoco se descarga sin tratamiento en los ríos Texcoco, Chapingo y San Bernardino. Los sitios en los que se realizan las descargas a dichos ríos se localizan relativamente cerca de las colonias, barrios y poblados que las producen, por lo que se considera que el riesgo de exposición a los residuos es elevado y puede traducirse en efectos en la salud humana (Hass *et al.* 1999). Al igual que ocurre en otras áreas de México (Downs *et al.* 1999, Jiménez 2005) parte del agua residual vertida a los ríos se utiliza en el riego de cultivos básicos en la parte baja de las cuencas, porque es una fuente barata para zonas con régimen pluvial errático y por la escasez creciente de agua para riego (Cuadri 1981). Aunado a lo anterior, desde hace unos 20 años se observa una sobreexplotación de los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, que se manifiesta en el abatimiento del manto freático (Barke *et al.* 2000, Postel 2000).

El crecimiento urbano y semiurbano, y las actividades productivas de la región de Texcoco han ocasionado aumento en la demanda de agua potable e incremento del volumen de agua residual. En 2004, 88% de la población contaba con el servicio de drenaje (Ayuntamiento municipal 2003) y desde entonces las aguas servidas se descargaban, sin tratamiento, a los cauces de los ríos. La parte oriental de la Cuenca de México es una de las regiones consideradas con baja disponibilidad de agua a nivel nacional (219 m³/habitante/año). Además la disminución de la infiltración natural por el incremento de la frontera agrícola y el crecimiento poblacional en

los últimos 60 años (Ayuntamiento municipal 2003) ha contribuido a este problema. Por lo que el manejo adecuado de las aguas residuales es imprescindible para la zona (CNA 2004).

La legislación vigente, a través de la NOM-001-SEMARNAT (Secretaría de Economía 1996), establece que las comunidades con poblaciones de más de 50,000 habitantes deben cumplir con la norma a partir de enero del año 2000; las comunidades con poblaciones entre 20,000 y 50,000 habitantes deben cumplir con la norma a partir de enero de 2005, y las comunidades con menos de 20,000 habitantes deben cumplirla a más tardar en enero de 2010. Texcoco cuenta con una población superior a los 100,000 habitantes, por lo que se encuentra en desacato con lo establecido en esta norma; el resto de las comunidades del municipio no rebasa dicha población, por lo que es relevante planear la forma de resolver el problema en corto tiempo.

En algunas zonas del país, el agua superficial y subterránea está contaminada con agentes orgánicos (Gold-Bouchot *et al.* 1994, Gelover *et al.* 2000), inorgánicos (SRH 1974, Carrillo *et al.* 1992, Carrillo y Cajuste 1995, Méndez-García *et al.* 2000) y biológicos (CNA 1998, Hene *et al.* 2002, Jiménez 2005). Sin embargo, en la mayor parte de México se carece de un banco de datos sobre las fuentes de contaminación de aguas, tampoco se posee un registro de la carga de contaminantes que las comunidades vierten a los cauces y cuerpos naturales de agua, sólo se tienen algunos reportes aislados (Rosales-Hoz *et al.* 2000, Hansen y van Afferden 2004). Por lo tanto, no se tienen evaluaciones cuantitativas de riesgo de exposición de los habitantes a los contaminantes físicos, químicos y biológicos que llevan las aguas residuales crudas; menos aún de las consecuencias en la morbilidad poblacional.

Se realizó esta investigación con la finalidad de diagnosticar el grado de contaminación de los ríos Texcoco, Chapingo y San Bernardino, ubicados en la parte oriental de la cuenca del Valle de México.

El estudio forma parte de un proyecto más amplio que incluye la determinación de variables físicas, químicas y biológicas para el diagnóstico de la contaminación de las aguas residuales descargadas a los ríos mencionados. En este trabajo se presentan los promedios de contaminantes químicos y los resultados relativos a la contaminación patógeno parasitaria: bacterias coliformes y huevos de helmintos, que pueden poner en riesgo la salud de la población aledaña a los ríos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se efectuó en las microcuencas de los ríos Texcoco, Chapingo y San Bernardino, ubicadas entre los paralelos 19° 22' y 19° 33' N y los meridianos 98° 38' y 98° 55' O. Estas microcuencas forman parte de los once ríos que conforman la cuenca tributaria oriental de la Cuenca de México y se encuentran dentro del municipio de Texcoco. El área de las tres microcuencas es de 114 km² aproximadamente.

Identificación de descargas

Se recabó la información disponible relativa al área de estudio y se programaron recorridos a lo largo de los cauces de cada uno de los tres ríos, para conocer de manera visual la problemática de cada uno de ellos e identificar las descargas de aguas residuales. Posteriormente, se localizaron geográficamente las principales descargas de aguas residuales mediante un geoposicionador (GPS), para elaborar el mapa de ubicación. En cada descarga se midió el gasto, por aforo a distintas horas y días en forma aleatoria (UNAM 1988, Lara 1991).

Muestreo y análisis de laboratorio

Se programaron muestreos mensuales a las principales descargas, de acuerdo a lo que marca la Norma Mexicana NMX-AA-003 para aguas residuales (Secretaría de Economía 1998). Se colectaron submuestras de 360 mL para formar una muestra compuesta de aproximadamente 10 L, de la cual se obtuvieron muestras separadas para los análisis. El muestreo se dividió en dos partes: las descargas de los ríos San Bernardino y Chapingo, y las descargas del río Texcoco.

En campo se midió pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos totales y sólidos disueltos y temperatura (promedio de 5 lecturas puntuales), según la norma NMX-AA-007 y 008. En el laboratorio se determinó: nitrógeno total (NMX-AA-026), fósforo total

(NMX-AA-029), metales (Cu, Zn, Ni, Pb, Cd y Cr_{VI}) (NMX-AA-051) y número de huevos de helmintos (HH) por litro de acuerdo al método propuesto en el Anexo 1 de la NOM-001-SEMARNAT-1996. Las bacterias coliformes totales (CT) en número más probable (NMP) 100 mL⁻¹ se determinaron por dilución de las muestras de 1 a 100,000 y siembra en caldo lauril triptosa a tres diluciones 1:1, 1:9 y 0.1 a 9.9, cinco tubos de cada dilución. Se usó colorante verde de bromocresol y la campana de Durham como indicadores. Los tubos con reacción positiva se confirmaron para coliformes fecales (CF) al sembrar en caldo bilis lactosa verde brillante, de acuerdo al método propuesto en la norma NMX-AA-42. El conteo de HH se hizo con ayuda de una cámara de conteo Sedgwick Rafter y se revisó por alícuotas en el total de la muestra concentrada utilizando un microscopio Olympus (CX31). Los huevos se identificaron considerando tamaño, forma, color, cubierta externa, presencia o ausencia de operculum, protoplasma y agrupación (Cox 1993, Anónimo 2006).

Los análisis se hicieron por duplicado y se usó agua destilada-desionizada. Se tuvo certeza de los resultados de laboratorio, al cotejarlos con los análisis de un laboratorio certificado.

Análisis estadístico

Se determinaron las medidas de tendencia central y de dispersión de las variables cuantificadas. Se analizó y evaluó la información de laboratorio y campo, de acuerdo a los límites máximos permisibles (LMP) que se establecen en las normas oficiales correspondientes. Se elaboró una propuesta preliminar sobre las medidas a tomar para resolver los problemas de contaminación.

RESULTADOS

Se identificaron 14, 6 y 5 descargas principales de aguas residuales para los ríos Texcoco, Chapingo y San Bernardino, respectivamente (**Fig. 1**). Como lo indican Belmont y Metcalfe (2004), los cauces se pueden considerar drenes que colectan el agua residual de los pueblos aledaños (**Fig. 1**). Además se observó que a lo largo de los cauces de cada río hay residuos sólidos que deterioran el paisaje y la calidad del ambiente.

La parte superior de la cuenca del río Texcoco tiene diversos manantiales que se utilizan como fuente de agua potable y para riego. En la parte central y final del cauce se incorporan a la pequeña corriente del río las descargas de aguas residuales. En cambio,

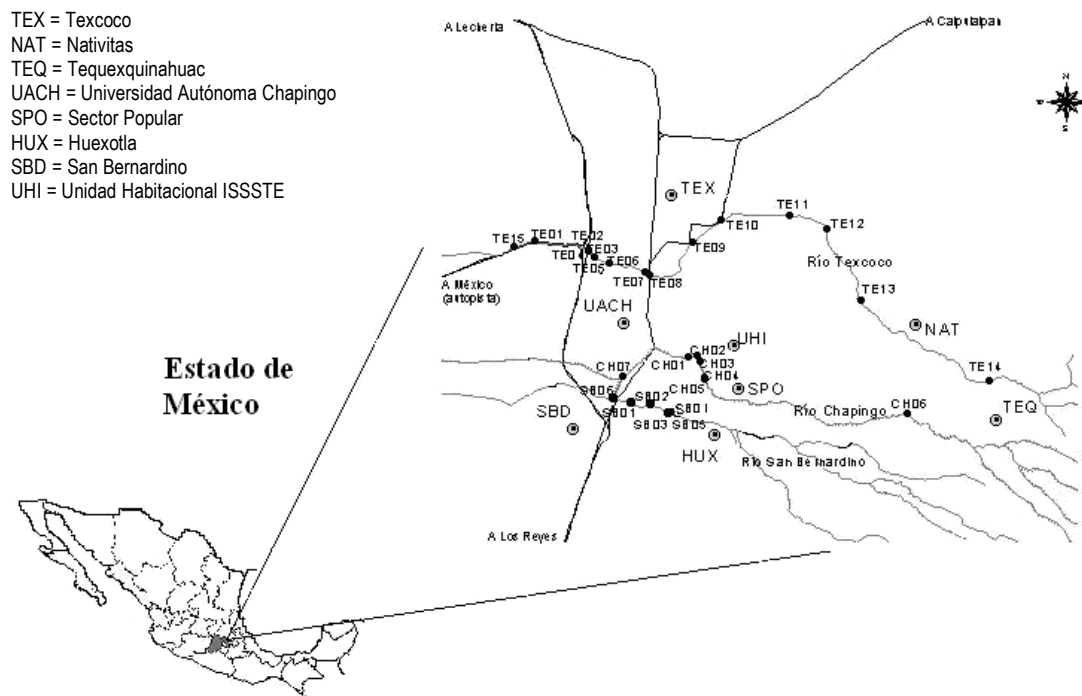


Fig. 1. Ubicación geográfica y descargas residuales de los ríos Texcoco, Chapingo y San Bernardino

debido a modificaciones en sus cauces, los ríos Chapingo y San Bernardino en la actualidad no llevan escurrimientos naturales. El destino final de las aguas de los tres ríos, es un dren colector que se une con las aguas residuales de la Ciudad de México.

Las descargas se realizan a través de tubos de asbesto (de 6 a 12 pulgadas de diámetro, sólo en dos descargas el diámetro es mayor a 30 pulgadas). Los caudales varían desde 0.2 L s^{-1} hasta 35 L s^{-1} , y las aguas residuales provienen de poblaciones urbanas y rurales.

De mayo de 2004 a abril de 2005 se realizaron 10 muestreos en las 25 descargas principales. Catorce de las descargas corresponden al río Texcoco (con claves de identificación de TE01 a TE14), 6 al río Chapingo (CH01 a CH06) y 5 al río San Bernardino (SB01 a SB05). Los sitios identificados como TE15, CH07 y SB06 corresponden a muestras colectadas de agua que fluye en los ríos, después que han recibido toda el agua residual de las descargas y en donde se desvía para ser utilizada para la agricultura local.

Las aguas de las descargas son ligeramente alcalinas, muy turbias debido al contenido de materia orgánica y sólidos totales, ligeramente salinas, con

baja concentración de oxígeno disuelto, lo que es muy restrictivo para la vida acuática (**Cuadro I**). La concentración de oxígeno es menor que el valor crítico (3 mg L^{-1}) propuesto por Radojevic (1999) para la vida acuática. Los contenidos de fósforo y nitrógeno totales son ligeramente elevados, el promedio de nitrógeno superó el LMP pero el de fósforo no. El fósforo está relacionado con el contenido de sustancias activas al azul de metileno (SAAM) que proceden de los detergentes. Los metales pesados no constituyen un problema de contaminación en esta agua, porque están por debajo de los LMP establecidos en la norma y no se detectó Cr hexavalente (**Cuadro I**).

Los coliformes totales (CT) se determinaron en los diez muestreos; mientras que las coliformes fecales (CF) sólo se determinaron en tres de los diez muestreos. Más del 96 % de los tubos de siembra positivos para CT fueron también positivos para CF en el medio caldo bilis lactosa verde brillante (**Cuadro II**). Con datos de 3 muestreos se estableció una relación lineal entre el NMP de coliformes totales y fecales ($CF = 11097 + 0.9736 \text{ CT}$, con una $R^2 = 0.9868$) y en términos del logaritmo de los NMP la

CUADRO I. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL AGUA RESIDUAL

Variable	Unidad	Valor promedio	Variable	Unidad	Valor promedio
pH		7.6	N total		43.4
Turbidez	¹ NTU	448.0	P total		14.8
² CE	$\mu\text{S cm}^{-1}$	1,031.8	³ SAAM		10.2
Sólidos totales		1,876.7	Pb	mg L^{-1}	0.031
Sólidos totales disueltos	mg L^{-1}	514.7	Zn		0.231
Oxígeno disuelto		1.6	Ni		0.026
			Cu		0.089
Ca^{2+}		28.7	Cd		0.004
Mg^{2+}	me L^{-1}	16.6	Helmintos	No. de Huevos L^{-1}	2.03
Cl^{-}		6.7	Coliformes	⁴ NMP100 mL^{-1}	2.46×10^8

¹NTU= Unidades nefelométricas de turbidez²CE= Conductividad eléctrica³SAAM= Sustancias activas al azul de metileno⁴NMP= número más probable**CUADRO II.** PROMEDIO DE NÚMERO MÁS PROBABLE DE BACTERIAS COLIFORMES TOTALES (CT¹) Y FECALIS (CF²), Y HUEVOS DE HELMINTO (HH) POR SITIO DE DESCARGA

Clave del sitio	HH (huevos L^{-1})			CT (x 10^6 NMP 100 mL^{-1})			CF (x 10^6 NMP 100 mL^{-1})		
	³ Prom	⁴ Mín	⁵ Máx	³ Prom	⁴ Mín	⁵ Máx	³ Prom	⁴ Mín	⁵ Máx
CH 01	3.06	0.80	8.50	1.50	0.08	5.4	1.20	0.08	2.4
CH 02	3.12	1.25	7.20	3.44	0.02	24.0	3.32	0.02	9.2
CH 03	3.40	2.25	5.00	1.94	0.02	16.0	1.88	0.02	16.0
CH 04	2.25	1.00	4.50	2.11	0.02	16.0	2.00	0.02	16.0
CH 05	4.28	0.50	7.25	2.50	0.02	16.0	2.47	0.02	16.0
CH 06	1.27	0.75	3.40	3.21	0.01	24.0	3.01	0.01	24.0
SB 01	0.80	0.00	2.00	0.60	0.11	24.0	0.48	0.05	7.9
SB 02	2.84	0.80	10.00	2.64	0.02	24.0	2.55	0.02	24.0
SB 03	5.89	0.00	16.20	2.59	0.05	16.0	2.59	0.05	16.0
SB 04	1.41	0.50	4.00	4.28	0.11	24.0	4.26	0.05	24.0
SB 05	4.29	0.40	8.00	3.64	0.02	24.0	3.62	0.02	24.0
TE 01	1.59	0.00	3.60	5.19	0.02	24.0	4.98	0.49	24.0
TE 02	0.38	0.00	1.50	1.40	0.05	9.2	1.40	0.07	9.2
TE 03	0.80	0.00	4.00	0.98	0.07	3.5	0.83	0.11	2.4
TE 04	2.37	0.00	4.60	1.57	0.05	9.2	1.57	0.05	9.2
TE 05	1.26	0.00	3.60	1.33	0.02	5.4	1.33	0.02	5.4
TE 06	0.43	0.00	1.75	1.48	0.05	9.2	1.48	0.33	9.2
TE 07	0.52	0.00	1.60	0.56	0.02	3.5	0.56	0.13	1.7
TE 08	0.04	0.00	0.20	2.56	0.11	16.0	2.55	0.13	16.0
TE 09	7.68	0.25	30.80	3.90	0.11	24.0	3.85	0.49	24.0
TE 10	2.15	0.00	5.00	3.17	0.05	24.0	3.17	0.05	24.0
TE 11	0.97	0.00	3.00	1.25	0.05	9.2	1.22	0.33	9.2
TE 12	2.01	0.00	5.80	3.24	0.17	24.0	2.49	0.17	16.0
TE 13	1.75	0.75	3.00	4.39	0.04	24.0	4.22	0.33	24.0
TE 14	1.92	0.00	4.50	1.99	0.02	9.2	1.86	0.49	9.2
TE 15	0.14	0.00	0.40	16.73	0.2	24.0	16.7	2.2	24.0
Promedio									
⁶ CH	2.50	0.94	5.19	2.75	0.62	18.1	2.70	0.03	17.8
SB	2.56	0.28	6.77	2.88	0.38	18.7	2.72	0.03	16.5
TE	1.60	0.07	4.89	2.36	0.59	13.9	2.29	0.30	13.1

¹Promedio de 10 muestreos. ²Promedio de 3 muestreos. ³Prom= promedio. ⁴Mín= mínimo. ⁵Máx= Máximo. ⁶Descargas en los ríos CH=Chapingo, TE=Texcoco y SB=San Bernardino

relación observada fue $\text{Log CF} = -0.1667 + 1.0171 \text{ Log CT}$ con una $R^2 = 0.9417$, en los cuales se observa la interrelación de las variables, (**Fig. 2**).

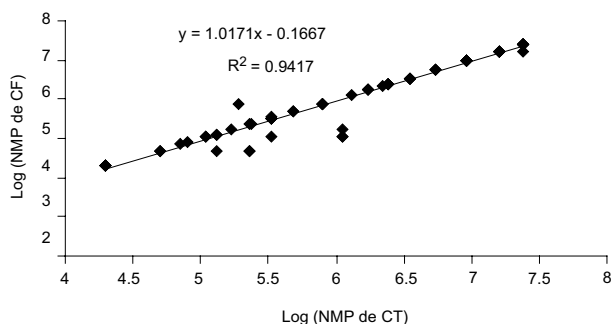


Fig. 2. Relación entre el logaritmo del NMP de CT y CF determinadas en muestras de agua residual de las descargas a los ríos

No se observaron diferencias estadísticas entre sitios de muestreo probablemente por la amplia variabilidad en los NMP. Aunque en los sitios de descarga

con mayor densidad de población se observaron mayores valores máximos. El intervalo de variación entre el número de coliformes fecales fue de 2 órdenes de magnitud. Sin embargo, hubo diferencias entre fechas de muestreo, (la DSH = 5.45×10^6 con $\alpha = 0.01$). Las concentraciones de CF sobrepasaron, en varios órdenes de magnitud, los LMP que marca la norma (1,000 NMP/100 mL para promedio mensual y 2,000 NMP/100 mL para promedio diario, cuando el agua es vertida en los cauces y se usa para riego agrícola).

Los sitios con mayor contenido de coliformes corresponden a las descargas de las colonias más grandes (TE01, TE09, TE13 y CH02). La cantidad de huevos de helmintos contabilizados en el río San Bernardino pocas veces superó el límite (5 HH L^{-1}) para riego no restringido, pero en la mayoría de los casos rebasó la norma establecida de 1 huevo L^{-1} cuando el agua se emplea para riego restringido. En las descargas de los ríos Chapingo y San Bernardino el promedio fue de 2.5 HH L^{-1} , en las del río Texcoco fue de 1.6 HH L^{-1} . El número máximo de huevos se observó en las descargas provenientes de los núcleos

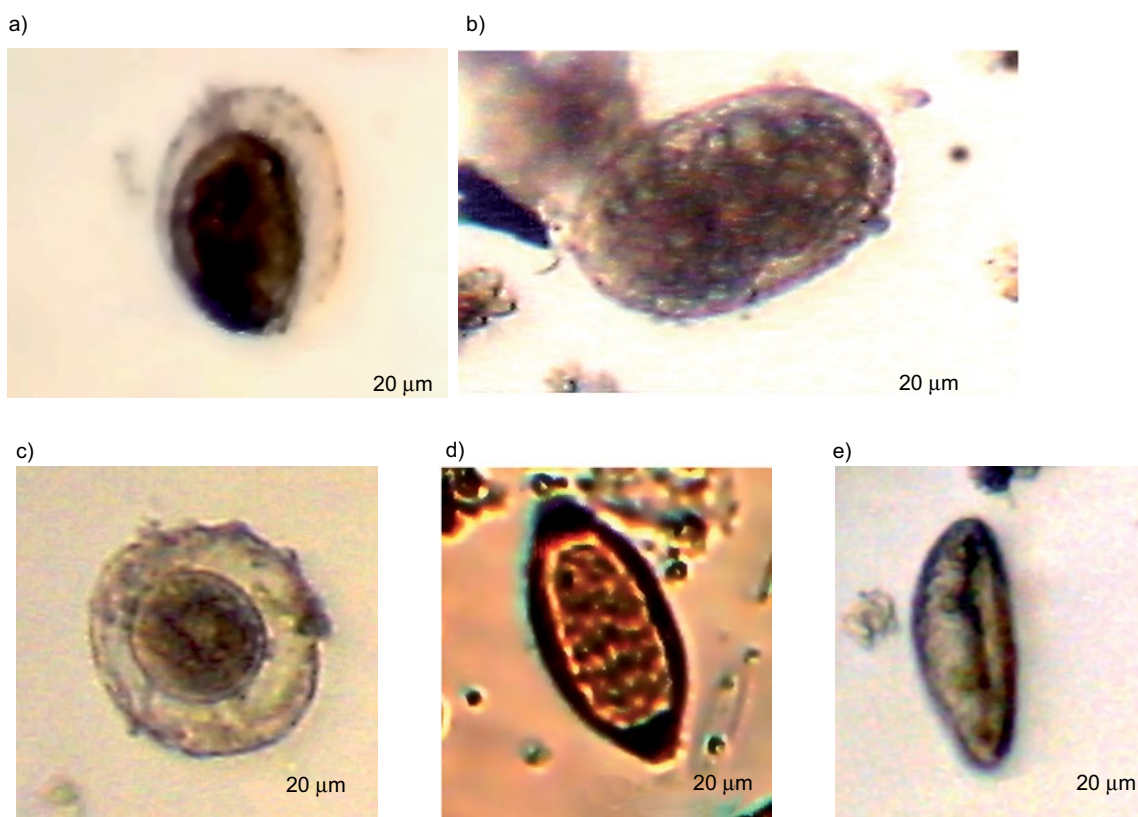


Fig. 3. Huevos de especies de helmintos encontrados en el agua residual: a) *Ancylostoma* sp., b) *Ascaris* sp., c) *Himenolepis* sp., d) *Trichuris* sp. y e) *Enterobius* sp. (en etanol- ácido sulfúrico, 40x). Fotos: L. P. González Ramírez.

poblacionales más numerosos: en los ríos Texcoco y San Bernardino.

Entre los géneros y especies de helmintos observados en las muestras están *Ancylostoma* sp., *Hymenolepis nana*, *Ascaris* sp. (posiblemente *A. lumbricoides* o *A. suum*, pues se descargan heces fecales porcinas), *Trichuris trichiura* y *Enterobius* sp. (Fig. 3).

DISCUSIÓN

Las elevadas concentraciones de bacterias coliformes fecales implican una carga de excrementos de humano muy grande, superan en varios órdenes de magnitud los LMP propuestos en la norma. Esto es lógico pues los límites corresponden a aguas residuales tratadas, mientras que las aguas muestreadas del presente estudio no son tratadas. El uso agrícola de estas aguas constituye una fuente de exposición, principalmente en la producción de hortalizas, que se venden en el mercado local, y forrajes como la alfalfa que se usa para la alimentación de animales como las vacas lecheras. En las aguas residuales urbanas se suelen encontrar altas cantidades de coliformes fecales. Medema (2001) ha reportado cifras similares del contenido de bacterias coliformes totales. Cifuentes *et al.* (2000) reportaron intervalos de 7.41×10^3 a 1.19×10^8 en aguas procedentes de la Ciudad de México. La dispersión del polvo de los sedimentos de las aguas usadas para riego podría constituir un riesgo epidemiológico (Rosas *et al.* 1997).

A la alta concentración de coliformes que se encontró, hay que agregar el problema de los huevos de helmintos, que son un riesgo adicional que es necesario atender, a pesar de no pasar los LMP en forma constante.

Las muestras obtenidas del cauce de cada uno de los ríos, al final de la zona de descargas, tuvieron en forma general menor NMP de CT, CF y número de HH (sitios CH07, SB06 y TE15). Esto se debe, aparentemente, a la sedimentación de partículas suspendidas en el lecho del río, que en términos prácticos se podría interpretar como atenuación de la contaminación durante el trayecto del agua; pero implica que los sedimentos en el cauce sean los que contengan las bacterias coliformes y los huevos de helmintos. Los huevos al secarse pueden ser arrastrados por el viento y permanecer algún tiempo suspendidos en la atmósfera (Rylander 1999).

Si se considera que los huevos de algunas especies de helmintos son resistentes por periodos prolongados a condiciones adversas como sequía y altas temperaturas o tratamiento de lodos (Araujo *et al.*

2003), existe el riesgo de dispersión con el polvo y por lo tanto de otra forma de exposición a las personas que viven cerca del río.

Sería conveniente estudiar en esta zona la relación entre la contaminación del agua y las denominadas patologías hídricas: diarrea, cólera, disentería, que ha sido investigada en otras regiones (Blumenthal *et al.* 2000). En la región no se conocen estudios en los que se pruebe esta relación. Además hay factores que inciden también en dichas enfermedades, tales como nivel de educación, tipo de vivienda, hábitos de higiene y disponibilidad de servicios públicos (Crompton y Nesheim 2002).

Las estadísticas sobre los problemas de salud ocurridos en el Estado de México durante 2004, muestran que las enfermedades infecciosas y parasitarias del aparato digestivo son la segunda causa de consulta en los centros de salud, hospitales y consultorios particulares (ISEM 2004). Para el caso que nos ocupa, la alta incidencia de las enfermedades infecciosas y parasitarias del aparato digestivo se puede estudiar en función al contacto con agua contaminada, o de alimentos que estuvieron en contacto con dichas aguas, o la presencia de polvo en el aire. En este sentido las aguas residuales pueden ser un agente de dispersión de patógenos, como se ha sugerido para otras regiones (Down *et al.* 1999). Según datos de la SSA (2004) en Texcoco (con una población de 230,000 habitantes) de cada 100 personas, 18 consultaron al médico por dichas enfermedades, que corresponde a 41,828 casos, valor mayor al reportado por Downs *et al.* (1999) en el Valle del Mezquital, Hidalgo, donde se riega con aguas residuales. A nivel estatal con una población de 13 millones, el número se reduce a 6 casos por cada 100 habitantes, que es un total de 762,938 casos. Sin embargo, es necesario hacer estudios epidemiológicos para no incurrir en conjeturas o especulaciones, puesto que el sólo contacto con las aguas contaminadas no determina que exista una infección.

Para resolver este problema de contaminación de las aguas de los ríos, se considera importante rehabilitar y operar las plantas de tratamiento existentes en la zona, además de planear y construir plantas adicionales para tratar el volumen de aguas residuales que se generan. En este último caso habría que analizar la conveniencia de implementar métodos alternativos para la depuración, como son los humedales artificiales que ya han sido probados satisfactoriamente en la zona (Belmont *et al.* 2004) y lagunas de estabilización o tratamientos primarios avanzados (Jiménez, 2005). Estos métodos de tratamiento simples y de bajo costo de operación y mantenimiento permitirían la recarga de los acuíferos (Denny 1997).

CONCLUSIONES

La descarga de aguas residuales no tratadas en los ríos de la región de Texcoco contaminan los cauces principalmente con bacterias coliformes fecales, lo que constituye un problema cuya solución requerirá del establecimiento, rehabilitación y operación de plantas de tratamiento u otras alternativas. El contenido promedio de huevos de helminto sólo es superior al LMP establecido para riego restringido en los ríos Chapingo y San Bernardino y sólo en la descarga 03 del río San Bernardino fue algunas veces mayor que el LMP para riego no restringido.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se financió a través del proyecto 2002-C01-283 de SEMARNAT-CONACyT. Tres de los autores recibieron becas del CONACyT. Los autores reconocemos el apoyo otorgado por la administración del Municipio y del Departamento de Agua Potable y Alcantarillado de Texcoco 2003-2006. Se agradece la crítica constructiva de dos revisores anónimos.

REFERENCIAS

- Anónimo (2006). Endoparasite identification. Medaille College. Buffalo, NY. [En línea]. Disponible en: www.medaille.edu/umacer/126_lec:02endoparasiteid.html. (Consultado: febrero de 2005).
- Ayuntamiento Municipal (2003). Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Texcoco 2003-2006. Texcoco, México.
- Barke R., Scout C.A., De Fraiture C. y Amarasinghe U. (2000). Global water shortages and challenges facing México. *Inter. J. Water Resour. Develop.* 16, 525-542.
- Belmont M.A. y Metcalfe C.D. (2004). Contaminación del agua en la cuenca del río Texcoco, Mexico. En: *Gestión integral de cuencas y asentamientos humanos*. (S. Mercure, W. Wilson y T. Whillans, Eds.). Memorias Imbakucha, 2002, Otavalo, Ecuador, Abya-Yala, Quito, Ecuador, pp. 273-282.
- Belmont M.A., Cantellano E., Thompson S., Williamson M., Sánchez A. y Metcalfe C.D. (2004). Treatment of domestic wastewater in a pilot-scale natural treatment system in Central Mexico. *Ecol. Eng.* 23, 299-311.
- Blumenthal U.J., Mara D.D., Peasey A., Ruiz-Palacios G. y Stott R. (2000). Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. *Bulletin of the World Health Organization* 78, 1104-1116.
- Carrillo-González R. y Cajuste L.J. (1995). Behavior of trace metals in soils of Hidalgo, México. *J. Environ. Sci. Health.* A30, 143-155.
- Carrillo-González R., Cajuste L.J. y Hernández H.L. (1992). Acumulación de metales pesados en un suelo regado con aguas residuales. *Terra* 10, 166-173.
- Cifuentes E., Gómez M., Blumenthal U., Tellez-Rojo M.M., Romiel I., Ruiz-Palacios G. y Ruiz-Velazco S. (2000). Risk factors for *Giardia intestinalis* infection in agricultural villages practicing wastewater irrigation in México. *Am. J. Trop. Med. Hig.* 62, 388-392.
- CNA (Comisión Nacional del Agua) (1998). Ley Federal de Derechos. México. [En línea] Disponible en: <http://www.cna.gob.mx>. (Consultado el 24 de noviembre de 2005)
- CNA (Comisión Nacional del Agua) (2004). Estadísticas básicas del agua 2004. Un producto del sistema unificado de información básica del agua (SUIBA). México, D.F.
- Cox F.E.G. (1993). *Modern parasitology. A text book of parasitology*. 2 ed. Blackwell Science, 292 p.
- Crompton D.W.T. y Nesheim M.C. (2002). Nutritional impact of intestinal helminthiasis during the human life cycle. *Annual Review Nutr.* 22, 35-59.
- Cuadri M.J. (1981). Agricultural land irrigation with wastewater in the Mezquital Valley. En: *Municipal wastewater in agriculture* (F.M. D'Itri, M.J. Aguirre y N.M. Athie Academic Press, Nueva York, pp. 217-248.
- Denny P. (1997). Implementation of constructed wetlands in developing countries. *Water Sci. Tech.* 35, 27-34
- Downs T.J., Cifuentes-García E. y Suffet I.M. (1999). Risk screening for exposure to groundwater pollution in a wastewater irrigation district of the Mexico City region. *Environ. Health Perspect.* 107, 553-561.
- Foster S., Garduño H. y Kemper K. (2004). The COTAS. Progress with stakeholder participation in groundwater management in Guanajuato, México. Case profile collection No. 10. World Bank. GW. Mate.
- Gelover S., Bandala E.R., Leal-Ascencio T., Pérez S. y Martínez E. (2000). GC-MS determination of volatile compounds in drinking water supplies in Mexico. *Environ. Toxicol* 15, 131-139.
- Gold-Bouchot G., Silva-Herrera T. y Zapata-Pérez O. (1995). Organochlorine pesticide residue concentrations in biota and sediments from Rios Palizada, México. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 54, 554-561.
- Gold-Bouchot G., Zavala-Coral M., Zapata-Pérez O. y Ceja-Moreno V. (1997). Hydrocarbon concentration in oysters (*Crassostrea virginica*) and recent sediments from three coastal lagoons in Tabasco, México. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 59, 430-437.

- Haas C.N., Rose J.B. y Gerba C.P. (1999). *Quantitative microbial risk assessment*. New York. John Wiley & Son, 499 p.
- Hansen A.M. y van Afferden M. (2004). Modeling cadmium concentration in water of Lake Chapala, Mexico. *Aquatic Sci.* 66, 266-273.
- Hene L.J., Schneider D.W. y Martínez L.M. (2002). Rapid assessment of organic pollution in a west central Mexican river using a family level biotic index. *J. Environ. Planning Manag.* 45, 613-632.
- ISEM (Instituto de Salud del Estado de México) (2004). Informe anual 04 de enero de 2004 a 01 de enero de 2005. *Boletín Epidemiológico*. Año 7. No 52A. Vol 565A. Toluca, México.
- Jiménez B. (2005). Treatment technology and standards for agricultural wastewater reuse: a case study in Mexico. *Irr. Drainage*. 54, S23-S33.
- Lara G.J.L. (1991). Alcantarillado. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica. Departamento de Ingeniería Sanitaria. México. pp: 55-68.
- Medema G., y Schijven J.F. (2001). Modelling the sewage discharge and dispersion of *Cryptosporidium* and *Giardia* in surface water. *Water Research*. 35, 4307-4316.
- Méndez-García L., Rodríguez-Domínguez L. y Palacios-Mayorga S. (2000). Impacto del riego con aguas contaminadas, evaluado a través de la presencia de metales en suelos. *Terra* 18, 279-288.
- Mestre J.E.R. (1997). Integrated approach to river basin management: Lerma-Chapala case study- attributions and experiences management in México. *Water Int.* 22, 140-152.
- Postel S. (2000). Entering an era of water scarcity: the challenges ahead. *Ecological Applications* 10, 941-948.
- Radojevic M. y Bashkin V. N. (1999). *Practical environmental analysis*. RSC. Cambridge, UK. pp. 466.
- Rosales-Hoz L., Carranza-Edwards A. y López-Hernández M. (2000). Heavy metals in sediments of a large, turbid tropical lake affected by anthropogenic discharges. *Environ. Geol.* 39, 378-383.
- Rosas I., Salinas E., Yela A., Calva E., Eslava C. y Cravioto A. (1997). *Escherichia coli* in settled dust and air samples collected in residential environments in Mexico city. *Applied Environ. Microbiol.* 63, 4093-4095.
- Rylander R. (1999). Health effects among workers in sewage treatment plants. *Occupational Environ. Med.* 56, 354-357.
- Secretaría de Economía (1996). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SAMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. *Diario Oficial de la Federación*, 6 de enero de 1996. México, D.F.
- Secretaría de Economía (1998). Norma Oficial Mexicana NOM-003-SAMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. *Diario Oficial de la Federación*, 21 de septiembre de 1998. México, D.F.
- Shaffer P.T.B., Metcalf T.G. y Sproul O.J. (1980). Chlorine resistance of poliovirus isolants recovered from drinking water. *Appl. Environ. Microbiol.* 40, 1115-1119.
- Soto-Galera E., Paulo-Maya J., López-López E. y Serna-Hernández J.A. (1994). Environmental deterioration of Rio Grande de Morelia, Mexico: An endangered tropical system. *Lake Reserv. Manage.* 9, 105-115.
- SRH (Secretaría de Recursos Hidráulicos) (1974). Intern. report on nutrient and pesticide pollution in the Lerma river basin. México. Plan Nacional Hidráulico. pp. 25.
- UNAM (Universidad Autónoma de México) (1988). Normas de proyecto para obras de alcantarillado sanitario en localidades urbanas de la República Mexicana. Facultad de Ingeniería. México, pp. 33-45.