

INDICADORES FECALES Y PATÓGENOS EN AGUA DESCARGADA AL RÍO BRAVO

Fecal Indicators and Pathogens in Water Discharged into the Rio Grande

Evangelina Olivas-Enriquez¹, Juan Pedro Flores-Margez^{1‡}, Mónica Serrano-Alamillo¹,
Eréndira Soto-Mejía¹, Jaime Iglesias-Olivas², Enrique Salazar-Sosa³ y Manuel Fortis-Hernández³

RESUMEN

Existen pocos estudios disponibles con base en microorganismos enteropatógenos que confirmen el impacto del Río Bravo en la frontera norte sobre la salud pública, aunque algunos datos revelan descargas diarias de millones de litros de aguas residuales, la mayoría sin el más mínimo tratamiento. Las partes bajas del río reciben las aguas negras de áreas urbanas, drenaje agrícola y descargas de la industria, lo que sugiere su alta y peligrosa contaminación con patógenos intestinales. El objetivo fue determinar la calidad microbiológica del agua del Río Bravo, proveniente de drenes y canales que desembocan en ambos lados de la frontera Juárez-El Paso (región denominada Paso del Norte) mediante la detección de organismos indicadores de contaminación fecal, los que permiten inferir la presencia de patógenos intestinales. Se identificaron y cuantificaron los indicadores fecales *Cryptosporidium* y *Giardia* por técnicas de separación inmunomagnética e inmunofluorescencia; otros indicadores fueron las bacterias coliformes totales y *Escherichia coli*, usando la técnica de filtración por membrana. Los resultados mostraron que el 100% de las muestras presentaron los dos parásitos y por lo menos alguno de los indicadores bacterianos, aunque en números fluctuantes, atribuido al tipo de descargas. Con base en que estos indicadores deben ser cero en el agua para beber y utilizando referencias para cuerpos de agua, se pudo deducir la calidad microbiológica, no siendo segura en el 100% de

las muestras ni para actividades recreativas ni aptas para riego agrícola. Se observó un número mayor de parásitos y bacterias en las muestras del lado mexicano; asimismo, en ambas fronteras se encontró un número mayor del parásito *Giardia* que de *Cryptosporidium*. Actualmente la presencia indiscutible de enteropatógenos en el agua del Río Bravo constituye un riesgo para la salud pública, principalmente para los agricultores que la manejan y en el riego por la contaminación de los productos agrícolas de consumo humano, así como para las personas que entran en contacto con el agua del río.

Palabras clave: coliformes, aguas residuales, ríos contaminados, *Cryptosporidium*, *Giardia*.

SUMMARY

There are few available studies based on microbial enteropathogens to confirm the different impacts of microbial contamination of the Rio Grande on the northern border, although some data show daily discharges of millions of gallons of wastewater, most without the slightest treatment. The river's lower reaches are the final destination of the sewage from cities and towns, agricultural drainage and industrial discharges, suggesting a high and dangerous pollution. Water samples were analyzed, from drains and canals that empty into the Rio Grande, on both sides of the border Juarez-El Paso. The parameters used to determine the microbiological quality of water were *Cryptosporidium* and *Giardia* counting, as fecal indicators by immunomagnetic separation and immunofluorescence techniques, as well as of total coliform bacteria and *Escherichia coli*, using the membrane filtration technique. The results showed the presence of both parasites and bacteria in all samples, with different number fluctuations attributed to the type of discharges. We observed a slightly higher number of parasites and bacteria in samples from the Mexican side. Likewise, in both borders is found a slightly greater number of *Giardia* than *Cryptosporidium*. Currently,

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Av. Plutarco Elías Calles 1210 Fovissste Chamizal. 32310 Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

[‡] Autor responsable (juflores@uacj.mx)

² Texas AgriLife Extension, Texas A&M System. El Paso County, 9521 Socorro Road. 79927 El Paso, TX, USA.

³ Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango. 35110 Venecia, Gómez Palacio, Durango, México.

the inevitable presence of enteropathogens in the Rio Grande water constitutes a health risk, especially for farmers who use irrigation and agricultural products for human consumption, as well for people that are in touch with water from the river.

Index words: *wastewater, polluted rivers, coliforms, Cryptosporidium, Giardia.*

INTRODUCCIÓN

El problema de la contaminación de las fuentes naturales de agua, tanto superficiales como subterráneas, ha cobrado importancia en los últimos años, siendo los organismos enteropatógenos uno de los principales contaminantes fecales (EPA, 2005). El desarrollo de la civilización e incremento desmedido de la población ha generado un vertido desordenado de residuos a los cursos de agua (Seoanez, 1999), contaminando con organismos patógenos intestinales variados procedentes de heces humanas y animales. (Solarte *et al.*, 2006). La contaminación de los recursos hídricos con patógenos transmitidas por el agua, deben ser considerados por las comunidades de cada región, efectuando estrategias de conservación del agua. Los desechos humanos y de animales contienen a menudo patógenos intestinales, que entran al agua a partir de una gran variedad de fuentes como las plantas tratadoras de aguas residuales, sistemas sépticos, las operaciones de ganado, la fauna, la escorrentía de las tierras rurales y urbanas, y actividades agrícolas. El más grande impacto de la contaminación del agua sobre la salud humana es a través de la ingestión, al actuar como un vehículo importante para la transmisión de enfermedades intestinales.

La línea divisoria entre tierras mexicanas y estadounidenses está representada por el Río Bravo, mismo que forma parte de la gran historia chihuahuense, es el más importante río de Chihuahua y considerado actualmente entre los diez más contaminados en el mundo, ya que sus caudales y ecosistemas naturales han sido afectados a tal grado que podrían desaparecer, advierte el Fondo Mundial para la Vida Silvestre (Echeverría, 2007). Aunque el gobierno del estado de Chihuahua, recientemente inauguró dos plantas tratadoras de aguas negras, la contaminación de otros tipos continúa, misma que se deriva de una economía de ambas fronteras (Herrera, 1998). El Río Bravo además de servir como frontera natural entre Texas y México,

proporciona agua a los residentes cercanos, para usos agrícolas, industriales y residenciales, sin embargo, las investigaciones sobre los patógenos intestinales contaminantes del río han sido muy limitadas (Di Giovanni, 2004; Iglesias *et al.*, 2005).

En México las enfermedades intestinales infecciosas generan altos porcentajes de morbilidad, encontrando a *Giardia* y *Cryptosporidium* como parásitos de humanos y animales (Sánchez *et al.*, 2000), adquiriendo gran importancia por ser transmitidos por el agua y su alta capacidad para sobrevivir en el ambiente, incluso en agua potable por resistir al cloro (Carpenter, 1999), además, se requieren entre uno y unos cuantos quistes, para inducir la infección (Soto, 2004). Una forma de evaluación de la calidad sanitaria del agua, es la utilización de algunos indicadores de contaminación fecal como bacterias coliformes totales y *Escherichia coli* o enteroparásitos como *Giardia* y *Cryptosporidium* (Di Giovanni *et al.*, 2006), debido a que son nativos del tracto digestivo de humanos y animales. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), aplica como regla para el agua potable municipal (agua para beber), que cumpla el requisito de cero bacterias coliformes totales, cero *E. coli* y cero parásitos, como *Cryptosporium* y *Giardia* (EPA, 2006; Anderson y Davidson, 2010). Los coliformes totales no siempre indican reciente contaminación fecal del agua, ni son patógenos, pero su presencia en agua potabilizada es usada para determinar si la desinfección es efectiva, y su número debe ser cero en agua para beber. En cuerpos de agua su presencia indica presencia de suelo, sedimento u otra fuente de coliformes. De acuerdo con la EPA, no hay un número estándar para coliformes totales en cuerpos de agua superficiales, como los ríos, pero con base en diversos estudios, existen directrices como la de la Universidad del estado de Kansas (Janke *et al.*, 2006).

Los parásitos intestinales *Giardia* y *Cryptosporidium* afectan a humanos y a muchos animales (Gray *et al.*, 1994) siendo igualmente responsables de epidemias intestinales transmitidas por agua (Sánchez *et al.*, 2000). En abril de 1993, *C. parvum* causó una epidemia intestinal en más de 400 000 personas, transmitida por agua potable en los Estados Unidos (MacKenzie *et al.*, 1994). Los indicadores tradicionales bacterianos de contaminación fecal no son adecuados para monitorear la presencia potencial de parásitos como *Cryptosporidium* y *Giardia* transmitidos por agua, debido a la mayor capacidad de

éstos para sobrevivir por meses en el agua, incluso en agua clorada. Por lo tanto, un efluente puede mostrar pruebas negativas para indicadores como bacterias coliformes, pero puede ser positivo a estos parásitos. De acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT (1996) el límite máximo permisible, es de 1000 y 2000 coliformes fecales por 100 mL diarios para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas nacionales y por lo que respecta a parásitos es de 1 huevo de helminto por litro para riego agrícola no restringido. Sin embargo, no menciona a otros indicadores, como los utilizados en este estudio, mismos que ya se están popularizando en los países desarrollados (EPA, 2005). En esta investigación no se utilizaron los indicadores huevos de helmintos, como describe la NOM-001-SEMARNAT (1996), debido a que en esta región ese tipo de parásitos son escasos, generalmente ausentes, y por otro lado, las condiciones geográficas desérticas no permiten a los geohelminos completar su ciclo biológico.

El presente estudio se desarrolló con el objetivo de determinar la calidad del agua de drenes y canales que son descargados al Río Bravo en el área Ciudad Juárez Chihuahua-El Paso Texas, mediante la utilización de los indicadores fecales *Giardia*, *Cryptosporidium*, coliformes totales y *E. coli*, cuya presencia y número permite determinar si el agua del río constituye un riesgo como diseminadora de patógenos intestinales, no solo en el caso de ser ingerida sino cuando se usa para recreación o para riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de muestreo incluyó todos los drenes y canales de descarga en ambas orillas del Río Bravo, de junio de 2006 hasta junio del 2007, en el área Juárez-El Paso. En el Cuadro 1 se muestran los sitios detectados de descarga a lo largo del Río Bravo, desde Ciudad Juárez, hasta Porvenir en el estado de Chihuahua y desde El Paso hasta Forth Quitman en el estado de Texas. Nueve sitios fueron muestreados en el lado estadounidense, desde la ciudad de El Paso a Fort Quitman, Texas, mientras que seis sitios fueron en el lado mexicano del Río Grande cubriendo entre Ciudad Juárez y El Cuervo, Chihuahua (Cuadro 1). Los seis lugares americanos contaban con aprobación de la gestión permanente en el río (US1, US2, US3, US5, US8, US9) y dos en el lado mexicano (MX1, MX6). El agua en los sitios mexicanos provenía de un tratamiento primario avanzado de agua y era de color negro y con

mal olor, ya que eran descargas de las plantas de tratamiento primario de aguas residuales en Ciudad Juárez. En el lado estadounidense la mayoría fueron drenes que descargan excedentes de agua de drenajes agrícolas y de las plantas de tratamiento terciario de agua negra. El sitio estadounidense US1 representa la descarga de la planta de tratamiento de agua Bustamante. La cantidad de aguas residuales descargadas en el río de cada sitio fue variable y a su vez, fuertemente afectadas por las condiciones climáticas, ya que la cantidad de agua de la lluvia en los últimos cuatro años se incrementó y el comportamiento fue inusual en 2006 de julio a septiembre. Esta situación provocó que el caudal del río aumentara considerablemente como resultado del agua, en las ciudades de El Paso y Ciudad Juárez, impidiendo en ocasiones efectuar la colecta.

Se estudiaron 18 muestras de agua superficial proveniente de drenes y canales que desembocan en el lado americano del Río Bravo, El Paso, Texas y 12 del lado de Ciudad Juárez, las fechas de muestreo fueron mensuales desde junio de 2006 hasta junio de 2007. En esta investigación se monitorearon los parásitos *Cryptosporidium* y *Giardia*, como indicadores de contaminación fecal del agua del Río Bravo en los lugares de las descargas de aguas residuales. Se utilizó una técnica basada en el método 1623 de la EPA (2005) para la detección de *Cryptosporidium* y *Giardia* en muestras de agua. Este método es utilizado para

Cuadro 1. Localización geográfica de las áreas de muestro.

Sitio	Latitud	Longitud
MX-1	31°27.903'	106°12.384'
MX-2	31°24.580'	106°09.999'
MX-3	31°20.744'	105°59.582'
MX-4	31°20.027'	105°59.425'
MX-5	31°07.060'	105°39.458'
MX-6	31°06.375'	105°38.748'
US-1	31°37.759'	106°18.409'
US-2	31°32.629'	106°14.833'
US-3	31°25.488'	106°7.428'
US-4	31°24.770'	106°5.782'
US-5	31°16.404'	105°51.22'
US-6	31°13.745'	105°48.571'
US-7	31°07.974'	105°41.809'
US-8	31°07.799'	105°41.304'
US-9	31°07.437'	105°40.248'

Los sitios MX fueron drenes y los US fueron canales de riego.

la identificación y conteo de quistes de *Cryptosporidium* y de *Giardia* en muestras de 10 L de agua; el procedimiento consistió en la concentración de las muestras de agua por ultrafiltración, con el fin de separar las partículas por una membrana de poliacrilonitrilo de 0.2 m² acuerdo al tamaño con el uso de un filtro Microza AHP-1010 con fibrillas agrupadas de 0.8 mm de diámetro. El filtrado se lleva a cabo mediante el impulso del agua por la membrana, pasando a través de ella las partículas menores al poro solamente, el impulso es ejercido por una bomba peristáltica. El agua que no puede atravesar la membrana se le conoce con el nombre de concentrado y es donde se recolectan las partículas que no logran atravesar el poro, quedando junto con ellas los quistes de los parásitos. El concentrado de aproximadamente 200 mL se reparte en tubos y se centrifuga a 4000 rpm (centrífuga Rotofix 32, Hettich) durante 30 min. Al término se separa el sobrenadante de los tubos y se juntan los sedimentos, teniendo como concentrado aproximadamente 5 mL. El cual se somete a la separación inmunomagnética de los quistes de *Giardia* y quistes de *Cryptosporidium* por medio de la adición de partículas paramagnéticas con anticuerpos específicos contra los epítomos de la pared celular del parásito. Las partículas con los anticuerpos captan a los quistes y se quedan magnetizadas en la pared, esto facilita la eliminación del residuo restante. Para desarrollar la técnica, se utiliza un juego de reactivos Aureon CG (Aureon Biosystems), que consta de una solución de anticuerpos monoclonales contra epítomos (parte antigénica) presentes en la pared celular de los quistes de *C. parvum* y *G. lamblia*, los cuales recubren partículas paramagnéticas. Estas partículas cargadas con anticuerpos se unen a los quistes, y al ser aplicado un campo magnético, permiten que el complejo se una a la pared lateral del recipiente que los contiene, permitiendo la eliminación de otros residuos (Bukhari *et al.*, 1998). Finalmente se disocian las partículas para liberar los quistes. Estos son separados de la muestra de agua y se colocan en un portaobjetos extendiendo en un frote y se deja secar. Se tiñen con inmunofluorescencia, mediante anticuerpos monoclonales marcados con fluoresceína (Aqua-Glo), que actúan contra antígenos de superficie de los quistes, siguiendo las instrucciones del proveedor; los quistes de *Cryptosporidium* se observan como esferas de alrededor de 5 µm de diámetro; en el caso de *Giardia* el tamaño de los quistes es alrededor de 10 a 15 µm, observando, mostrando ambos parásitos un color verde manzana, muy brillante, lo cual facilita su

identificación al microscopio de epifluorescencia (LW Scientific). Se revisó la preparación en su totalidad con el objetivo de 40x, efectuando un conteo total, siendo el número total para los 10 litros de agua.

El método de detección de bacterias coliformes totales y *E. coli* es uno solo que permite la detección de ambos por la técnica de membrana. El equipo de filtración consiste de un portafiltro estéril reusable, en el que se ensambla un filtro bacteriológico de membrana de 47 mm de diámetro y poro 0.45 µm con cuadrícula, estéril. Enseguida se filtraron 100 mL de muestra de agua, se separó la membrana del portafiltros y se colocó sobre una placa de medio MI (DIFCO), con la cuadrícula hacia arriba, marcando la caja. Se efectuaron diluciones seriadas 1:100, 1:1000, 1:10 000, 1:100 000 y 1:1 000 000 siguiendo la misma metodología de filtración y siembra para cada una de ellas. Todas las placas se incubaron a 35 °C durante 24 horas. A este término se sacaron todas las cajas Petri de la incubadora y se procedió a la lectura. Se contaron todas las colonias azules, mismas que corresponden a *E. coli* y se registraron los resultados. También se contaron en cada filtro las colonias blancas, correspondientes a las coliformes totales. Solo se registraron conteos de menos de 200 colonias, como coliformes totales (CT) y como *E. coli* (EC). Los cálculos para obtener el número total de organismos a partir de las diluciones, se realizaron utilizando el número de colonias de *E. coli* y de coliformes totales en las placas multiplicando por la dilución. Los datos colectados se analizaron estadísticamente utilizando el programa computacional SPSS versión 15.0, se calcularon promedios, errores estándar y comparaciones entre sitios con la técnica de la diferencia mínima significativa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presencia de ambos parásitos y bacterias fue evidente en las muestras de agua de los drenes de descarga al Río Bravo tanto del lado mexicano como del estadounidense, lo cual indica contaminación fecal relacionada directamente a la naturaleza del agua residual vertida. El 100% de las muestras mostró la presencia de *Cryptosporidium* y *Giardia* (Figura 1), en diferentes números, lo cual significa un riesgo sanitario para las personas que entran en contacto con el agua, como los bañistas o los ilegales que cruzan nadando al lado americano, y principalmente los agricultores del Valle de Juárez que la usan para riego, con base en que uno o unos cuantos quistes inician la infección.

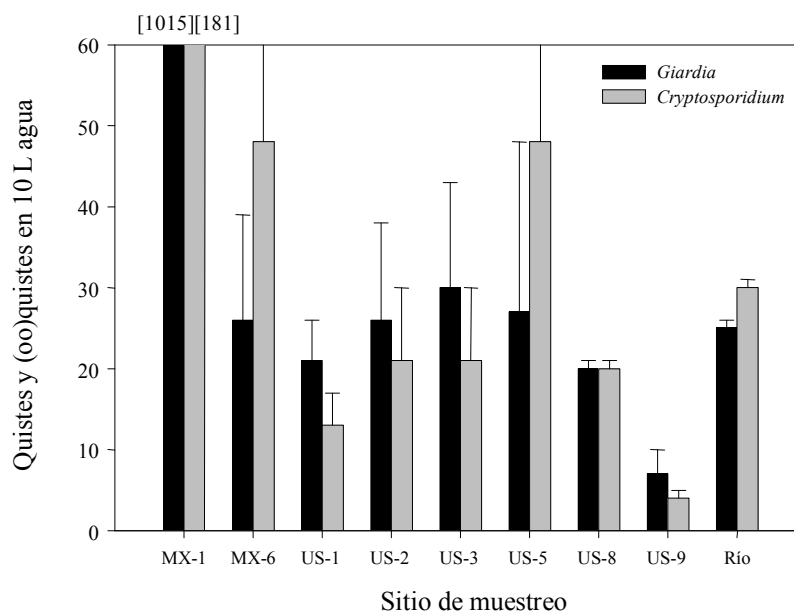


Figura 1. Promedio de quistes de *Giardia* y *Cryptosporidium* en agua de canales y drenes que descargan al Río Bravo en el tramo Ciudad Juárez y El Paso, Texas. Las barras delgadas indican el error estándar. 1015 y 181 son el promedio de quistes para la muestra MX-1.

La descarga de ambas fronteras resultó en un número ligeramente mayor de *Giardia* que *Cryptosporidium*. Sin embargo, el número de *Giardia* fue ligeramente mayor en el lado mexicano (Figura 1), los datos coinciden con la prevalencia de *Giardia* en este país (Di Giovanni *et al.*, 2006), ya que *G. lamblia* es uno de los parásitos intestinales predominantes, no solo en niños sino también en adultos (Sánchez, 2000) y las aguas negras son un reflejo de los parásitos de los habitantes del área.

De acuerdo con Giovanni *et al.* (2006) el límite crítico de los parásitos *Giardia* y *Cryptosporidium* en aguas superficiales aun no ha sido regulado por la EPA, sin embargo, tomando como base estudios de diferentes autores en cuanto a la dosis infectiva, los valores aunque varían un poco, 10 quistes de *Giardia* o *Cryptosporidium* por 10 L de agua pueden ser considerados como nivel relativamente alto y un riesgo de salud. Si se toma como referencia que debe ser cero el número de cualquiera de los dos parásitos en agua para beber, los valores encontrados se pueden interpretar en base a que a un número mayor de parásitos, mayor riesgo para contraer enfermedad, no solo en el caso de ingerir el agua sino al quedar en contacto con ella, como en actividades recreativas, o los ilegales al cruzar el río, o también en el caso de los productos agrícolas de consumo humano, que fueron regados con aguas contaminadas, actividad rutinaria en el Valle de Juárez.

El método utilizado no permite detectar todos los quistes de *Cryptosporidium* y *Giardia*, por lo que el número real debe ser aproximadamente cerca del doble del detectado en este estudio. Esto se comprobó al desarrollar la técnica con un control de agua destilada inoculada con una cantidad conocida de quistes de los parásitos, pudiendo perderse un gran porcentaje hasta cerca de la mitad.

La mayoría de los lugares excedió a los 10 quistes por 10 L de agua en ambos lados de la frontera (Figura 1). Los sitios MX1, MX6, US1, US2, y US3, correspondientes a las plantas tratadoras de aguas negras en ambos lados del Río, presentaron el máximo número de quistes de ambos parásitos, siendo *Giardia* más frecuente que *Cryptosporidium*. La muestra US1 provenía directamente de la planta de tratamiento de aguas negras Bustamante en el Paso, Texas, sin embargo, antes de descargar al río, el agua es mezclada con agua del Tratado Internacional que proviene de la presa El Elefante en Nuevo México, es decir, parte del año (marzo a septiembre) y probablemente por este motivo el número de quistes fue menor que en los sitios de México, lo cual se puede atribuir tanto al efecto de dilución con agua de mejor calidad como al sistema de tratamiento terciario de agua negra en El Paso, Texas. El mezclado del agua residual reduce progresivamente y de manera importante el número de coliformes totales,

ya que el efecto de dilución del agua residual y las variaciones en el espacio se asocian geoestadísticamente a la distancia (Palomo y Figueroa, 2007).

La muestra MX-1 de la planta de tratamiento incluye las muestras MX-1, MX-2 y MX-3 que fueron anotadas así en campo por estar en el área cercana al sitio de descarga en el poblado El Millón, municipio de Juárez. El sitio MX1 no presentó una descarga permanente al río durante todo el año, en el estudio se incluyó una muestra de agua tratada y colectada directamente en la salida de la planta de tratamiento en Ciudad Juárez, la cual presentó 108 y 2 598 quistes de *Cryptosporidium* y *Giardia*, respectivamente en noviembre. En este mismo lugar, en diciembre el número de quistes fue muy grande (número incontable) en la descarga de la planta de tratamiento en comparación al resto de los sitios muestreados en ambos lados de la frontera.

El agua correspondiente a los dos países debido al Tratado Internacional de Aguas de 1906, se descarga antes de los sitios MX-1 y US-1 durante los meses de abril a septiembre lo que causa un efecto de dilución con las aguas tratadas de las descargas al llegar al río. En cambio de octubre a marzo solo llega agua de las plantas tratadoras al río, por lo que en estas fechas se detectan la mayor concentración de quistes de los parásitos estudiados. En cuanto a los análisis estadísticos, se muestra una correlación entre quistes de *Giardia* y *Cryptosporidium*, lo cual evidencia la posibilidad de una misma fuente de contaminación. El número de quistes de *Giardia* y *Cryptosporidium* en muestras de agua, en la mayoría superan los 10 organismos, tanto de México como de los sitios americanos. Los datos sugieren que aún en el caso de números bajos, existe un riesgo para la salud de las personas que entran en contacto con el agua. Algunos estudios han demostrado que en aguas superficiales de diversos lugares de Estados Unidos es común la presencia de *Cryptosporidium* y *Giardia*, no solo de fuentes humanas, sino proveniente de reservorios animales (Xiao *et al.*, 2001). En este estudio la fuente de parásitos seguramente fue humana, a partir de las aguas negras de descarga de la planta de tratamiento norte de Ciudad Juárez. Los valores de *E. coli* están en un rango de entre 2.8 y 2.3×10^6 CT 100 mL^{-1} , los cuales son más altos que 5×10^5 CT 100 mL^{-1} mostrados por Giovanni *et al.* (2006). Las principales diferencias pueden ser atribuidas a las descargas de aguas de pequeños pueblos y viviendas a lo largo del Valle que están conectadas al dren principal paralelo al río el cual finalmente descarga en él.

Estudios de la Universidad del estado de Kansas (Janke *et al.*, 2006) sugiere datos que sirven como guía para determinar la calidad microbiológica de cuerpos de agua superficiales, haciendo referencia al agua de río, cuyo conteo de coliformes totales y de *E. coli*, puede indicar reciente contaminación fecal del agua de diferentes fuentes y que, además puede contener otros patógenos. Aunque *E. coli* no cause enfermedad, su importancia radica en que es un organismo indicador y señala el riesgo de otros organismos peligrosos que pudieran estar presentes en el agua, debido a la contaminación fecal. En el estudio en Kansas, los valores que sugieren como guía son los siguientes: calidad del agua de río en base a número de unidades formadoras de colonias (ufc)/100 mL de agua, de coliformes totales y coliformes fecales como *E. coli*: la mejor calidad para beber, debe tener cero coliformes totales y cero *E. coli*; el agua segura para usos recreativos por contacto, como natación debe tener menos de 2000 ufc de coliformes totales y menos de 200 ufc colonias de *E. coli*; el agua de calidad regular no segura para usos recreativos por contacto, como natación, pero aceptable para recreación sin contacto, como el canotaje debe tener coliformes totales 2000 a 20 000 ufc y *E. coli* detectada entre 200 y 2000 ufc; la calidad pobre de agua, no se considera segura ni siquiera para recreación sin contacto y debe tener más de 20 000 ufc de coliformes totales, así como más de 2 000 ufc de *E. coli* (Janke *et al.*, 2006). Por lo que respecta al número de bacterias coliformes totales y *E. coli* en agua para riego agrícola, de acuerdo con ciertas directrices sugeridas por la Unversidad de Vermont, se consideran no más de 200 ufc /100 mL de agua, de coliformes totales y no más de 77 ufc /100 mL de *E. coli* (Vermont, 2009).

En los Cuadros 2 y 3 se muestran los resultados del conteo de coliformes totales y se observa que la mayoría de las muestras son de calidad más que pobre, no pudiendo ser útiles ni siquiera para actividades recreativas ni para riego; la presencia de *E. coli* y coliformes fecales fue detectada en la mayoría de los sitios mexicanos (MX-1, MX-4, MX3) y americanos (US1, US2 y US3).

En el lado americano la US1 y US2 representa las descargas de la planta de tratamiento Bustamante en El Paso, Texas. El promedio de coliformes totales por sitios en MX1 y MX2 muestran valores de entre 15.8 y 9.4×10^6 CT (colonias totales) en 100 mL^{-1} . Estos son valores bajos acerca de 5.1×10^5 CT 100 mL^{-1} reportados por Giovanni *et al.* (2006) por los principales

Cuadro 2. Coliformes totales y *Escherichia coli* en aguas descargadas al Río Bravo, Ciudad Juárez, 2006-07.

Sitio	Fecha	Coliformes totales	<i>E. coli</i>	Actividad recreativa	Apta para riego agrícola
		en 100 mL	ufc/100 mL		
MX-2	7/3/06	3.9×10^3	0	R	No
MX-3	9/25/06	10.2×10^3	1.35×10^3	R	No
MX-4	9/25/06	10×10^3	3.75×10^2	R	No
MX-4	10/16/06	1.8×10^6	395×10^3	P	No
MX-3	10/30/06	19.7×10^4	72.6×10^3	P	No
MX-1	11/26/06	3.5×10^6	64×10^4	P	No
MX-1	12/18/06	7.55×10^6	4.89×10^6	P	No
MX-1	1/16/07	52.15×10^6	5.8×10^6	P	No
MX-4	2/5/07	65×10^6	18.4×10^6	P	No
MX-3	2/19/07	13.55×10^6	1.9×10^6	P	No
MX-4	3/26/07	13.195×10^3	11.318×10^3	P	No
MX-4	5/28/07	4.5×10^6	25.9×10^3	P	No
MX-5	6/18/07	49.767×10^3	3.633×10^3	P	No

† ufc = unidades formadoras de colonias. M = la mejor (apta para beber); B = buena (natación); R = regular (canotaje); P = pobre (nada).

canales del Valle de Juárez, pero dentro del rango de 3.8×10^5 CT 100 mL⁻¹ a 3.0×10^8 CT 100 mL⁻¹. Los conteos de coliformes totales de US1, US2, y US3 fueron 10 veces menor que los encontrados en el lado mexicano, el rango entre 1.1 y 1.4×10^5 CT 100 mL⁻¹

(Cuadro 2 y 3). Estos conteos son similares a 0 y 1.9×10^5 CT 100 mL⁻¹ indicadas por Mendoza *et al.* (2004) de puntos localizados en el canal americano al lado de la planta de tratamiento. Los sitios US5, US8 y US9 muestran muy baja presencia de coliformes totales

Cuadro 3. Número de unidades formadoras de colonias de coliformes totales y *Escherichia coli* en muestras de agua descargadas al Río Bravo, El Paso Texas.

Sitio	Fecha	Coliformes totales	<i>E. coli</i>	Actividad recreativa	Apta para riego agrícola
		en 100 mL	ufc/100 mL		
US-1	7/28/06	2.8×10^3	0	B	No
US-9	9/11/06	9×10^2	0	B	No
US-1	9/18/06	9.5×10^3	4×10^2	R	No
US-9	10/02/06	44.5×10^3	5.56×10^2	P	No
US-1	10/09/06	12.693×10^3	4×10^3	P	No
US-8	10/22/06	17.7×10^3	10.036×10^3	P	No
US-1	11/06/06	640.5×10^3	1.9×10^3	P	No
US-5	11/13/06	26.625×10^3	5.8×10^3	P	No
US-3	12/04/06	94.333×10^3	5.547×10^3	P	No
US-1	12/11/06	8.75×10^2	1.37×10^2	B	No
US-10	1/08/07	37.667×10^3	1.37×10^2	R	No
US-1	1/29/07	6.73×10^2	2.07×10^2	R	No
US-3	2/12/07	45.567×10^3	4.48×10^3	P	No
US-3	2/26/07	379×10^3	3.785×10^3	P	No
US-3	4/16/07	15.153×10^3	2.275×10^3	P	No
US-2	4/30/07	2.96×10^3	59.688×10^3	P	No
US-2	6/04/07	342.5×10^3	16.965×10^3	P	No
US-5	6/11/07	1.14×10^6	1×10^3	P	No
US-2	6/25/07	92.433×10^3	2.867×10^3	P	No

† ufc = unidades formadoras de colonias. M = la mejor (apta para beber); B = buena (natación); R = regular (canotaje); P = pobre (nada).

dentro de 2.4×10^3 y 2.2×10^4 CT 100 mL⁻¹. La presencia de *E. coli* varió de 137 a 26 507 CT 100 mL⁻¹ por todos los sitios y este fue el más alto de US2 que el resto del lado americano.

A pesar de que el coliforme fecal *E. coli* no se detectó en algunas muestras, en todas se identificaron los parásitos *Cryptosporidium* y *Giardia*, por ser más resistentes en el ambiente, principalmente en agua. Los mayores valores de los indicadores fecales se asociaron a la cercanía del sitio con las plantas de tratamiento de agua residual. Generalmente, dicha contaminación biológica está relacionada con las descargas de origen doméstico e industrial a los cuerpos de agua. Los gobiernos regionales deben reconocer los problemas de contaminación del Río Bravo. Tanto Estados Unidos como México y deben trabajar juntos para limpiar y proteger el Río Bravo que es uno de los más contaminados del mundo. Contrastar con otros estudios del río y proponer soluciones. Es necesario que las plantas recicladoras traten las aguas negras con todos los procesos necesarios para eliminar los patógenos. A nivel municipal se requiere evitar las descargas de aguas de pequeños pueblos y viviendas a lo largo del Valle que están conectadas al dren principal paralelo al río el cual finalmente descarga en él.

CONCLUSIONES

El 100% de las muestras presentó *Cryptosporidium* y *Giardia*, en concentraciones mayores de 10 ejemplares por 10 L de agua, lo que se traduce como riesgo para la salud de los que se sumergen en el río y para los agricultores del Valle de Juárez que usan el agua para riego. La cantidad de quistes de *Cryptosporidium* en ambos lados de la frontera fue similar, *Giardia* fue mayor en el lado mexicano. En todas las muestras *Giardia* se encontró en un mayor número que *Cryptosporidium*. Los sitios con descargas de plantas tratadoras de agua mostraron el número más alto de parásitos. La mayoría de las muestras mostraron no sólo coliformes totales, sino el coliforme fecal *Escherichia coli*. Los sitios de descarga del lado mexicano presentaron mayor cantidad de *E. coli* y coliformes totales que en el lado americano. Un sitio mexicano presentó el mayor índice de indicadores fecales. En dos sitios de descarga americanos se observaron los valores más bajos de indicadores. Se comprobó que muestras de agua negativas a *E. coli*,

fueron positivas a *Cryptosporidium* y *Giardia*, las cuales resisten mucho más en el ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Environmental Protection Agency de los Estados Unidos (US-EPA) el apoyo financiero, así como a la oficina de Extensión Cooperativa de Texas en El Paso (Texas A&M University) por las facilidades para el muestreo del agua en Estados Unidos y la coordinación del proyecto por el Dr. Jaime Iglesias Olivas. Gracias a la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) por la infraestructura del laboratorio de Microbiología y de Ciencias Ambientales, así como a Mónica Serrano Alamillo y Luz Eréndira Soto Mejía quienes obtuvieron su Licenciatura en Química con esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Anderson, K. A. and P. M. Davidson. 2010. Drinking water and recreational water quality: microbiological criteria. University of Idaho. College of Agriculture. Cooperative Extension System. Moscow, ID, USA.
- Bukhari, Z, R. M. McCuin, C. R. Fricker, and J. L. Clancy 1998. Immunomagnetic separation of *Cryptosporidium parvum* from source water samples of various turbidities. Appl. Environ. Microbiol. 64: 4495-4499.
- Carpenter, C., R. Fayer, J. Trout, and M. J. Beach. 1999. Chlorine disinfection of recreational water for *Cryptosporidium parvum*. Emerg. Infect. Dis. 5: 579-584.
- Di Giovanni, G. 2004. Drought may concentrate pathogens in surface water. Research fact sheet. Texas A&M University, Agricultural Experimental Station. El Paso, TX, USA.
- Di Giovanni, G., W. Q. Betancourt, J. Hernández, N. W. Assadian, J. P. Flores, and E. J. Jaramillo. 2006. Investigation of potential zoonotic transmission of cryptosporidiosis and giardiasis through agricultural use of reclaimed wastewater. Int. J. Environ. Health Res. 16: 405-418.
- Eaton, D. J. and D. Hurlbut. 1992. Challenges in the binational management of water. Resources in the Rio Grande/Rio Bravo, LBJ, School of Public Affairs, University of Texas. Austin, TX, USA.
- Echeverria, M. 2007. WWF. World Wildlife Fund. <http://www.worldwildlife.org/who/media/press/2007/WWFPresitem925.html> (Consulta: mayo 27, 2010).
- Herrera, P. 1998. Rio Grande-Rio Bravo River: A study case as international sharing basin in the borderline between Mexico and USA. Mexican Institute of Water Technology, Morelos – Mexique. Congress International de Kaslik-Lebanon.
- Iglesias, O. J., J. P. Flores M., E. Olivas E., and M. Domínguez. 2005. Chemical and microbial impact of wastewater from drains and canals on water quality of the Rio Grande River. Final project report, EPA.

- Janke, R., R. Moscou, and M. Powell. 2006. Citizen science water quality testing series, PK-13 W-6 total coliform and *E. coli* bacteria. Kansas State University. Kansas State University Agricultural Experimental Station and Cooperative Extension Service. <http://www.ksre.ksu.edu/library/h20ql2/pk13w6.pdf> (Consulta: abril 21, 2010).
- Mac Kenzie, W. R., N. J. Hoxie, M. E. Proctor, M. S. Gradus, K. A. Blair, D. E. Peterson, J. J. Kazmierczak, D. G. Addiss, K. R. Fox, J. B. Rose, and J. P. Davis. 1994. A massive outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* infection transmitted through the public water supply. *N. Engl. J. Med.* 33: 161-167.
- Medina, N. 2002. Estudio hidrobiológico de la cuenca del río Armería para las predicciones de un desarrollo sustentable. Universidad de Colima. Colima, México.
- NMED (New Mexico Environment Department, USA). 2004. Water quality survey summary for the Middle Rio Grande. Las Cruces, NM, USA. <http://www.nmenv.state.nm.us/swqb/Surveys/MiddleRioGrande1999.pdf> (consulta: enero 10, 2005).
- NOM-001-SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 1996. Norma oficial mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. http://www.ucof.mx/docencia/facultades/facimar/descargas/normas_semarnat/ACLARACION_NOM_001_30_ABR_97.pdf
- Palomo R., M. y U. Figueroa V. 2007. Variabilidad espacial aplicada a coliformes en agua residual a lo largo del distrito de riego 009. *Ciencia en la Frontera* 4: 32-37.
- Sánchez P., H. J., M. G. Vargas y J. D. Méndez. 2000. Calidad bacteriológica del agua para consumo humano en zonas de alta marginación de Chiapas. *Salud Pública México* 42: 397-406.
- Sánchez-Vega, J. T., J. Tay-Zavala, L. Robert-Guerrero, R. Romero-Cabello, D. Ruiz-Sánchez y C. Rivas-García. 2000. Frecuencia de parasitosis intestinales en asentamientos humanos irregulares. *Rev. Fac. Med. UNAM* 43: 80-83.
- Seoanez, M. 1999. Aguas residuales urbanas. Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Colección Ingeniería Medioambiental. Mundimedia. Madrid, España.
- Solarte, Y., M. Peña y C. Madera. 2006. Transmisión de protozoarios patógenos a través del agua para consumo humano. *Col. Med.* 37: 74-82.
- Soto B., J. M. 2004. Presencia de *Cryptosporidium* y *Giardia* en agua de uso agrícola, tinas de lavado, espreas y superficie de tomate. CIAD (<http://www.ciad.edu.mx/salima/display1.asp>. (Consulta: octubre 4, 2007).
- US-EPA (United States Environmental Protection Agency). 2005. United States Environmental Protection Agency Method 1623: *Cryptosporidium* and *Giardia* in water by filtration/IMS/IFA. (<http://www.epa.gov/nerlcwww/1623de05.pdf> (Consulta: enero 10, 2008).
- US-EPA (United States Environmental Protection Agency). 2006. Monitoring and assessing water quality. 5.11 Fecal bacteria. <http://www.epa.gov/volunteer/stream/vms511.html> (Consulta: marzo 12, 2010).
- Vermont (Seal of quality Vermont Agency of Agriculture). 2009. Water quality criteria for agricultural water sources and microbial testing guidelines. USDA Good agricultural practices (GAP) audit verification program. Washington, DC, USA.
- Xiao, L., A. Singh, J. Limor, T. K. Graczyk, S. Gradus, and A. Lal. 2001. Molecular characterization of *Cryptosporidium oocysts* in samples of raw surface water and wastewater. *Appl. Environ. Microbiol.* 67: 1097-1101.