

CALIDAD BIOLÓGICA DE AGUAS RESIDUALES UTILIZADAS PARA RIEGO DE CULTIVOS FORRAJEROS EN TULANCINGO, HIDALGO, MÉXICO

BIOLOGICAL QUALITY OF WASTEWATER USED IN IRRIGATION OF FORAGE CROPS IN TULANCINGO, HIDALGO, MEXICO

Elizabeth Hernández-Acosta¹; Evangelina E. Quiñones-Aguilar²; David Cristóbal-Acevedo¹; Juan E. Rubiños-Panta³

¹Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México-Texcoco. C. P 56230. Chapingo, Texcoco, Edo. de México, MÉXICO. Correo-e: elizahac@yahoo.com.mx

Tel.: 01 595 95 215 00 ext. 6359, 6342 (Autora para correspondencia).

²Unidad de Biotecnología Vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Av. Normalistas núm. 800, Colinas de la Normal. C. P. 44270. Guadalajara, Jalisco, MÉXICO.

³Colegio de Postgraduados. km 36.5 Carretera México-Texcoco. C. P. 56230.

Montecillo, Texcoco, Edo. de México, MÉXICO.

RESUMEN

El uso de aguas residuales para el riego de cultivos forrajeros es una práctica que aumenta día a día en áreas donde el agua, para este fin, es escasa. Sin embargo, los usuarios, al estar en contacto directo con las aguas residuales, padecen enfermedades gastrointestinales a causa de coliformes y parásitos (helmintos). En el presente estudio se evaluaron coliformes fecales (en aguas residuales, suelo y plantas) y helmintos (en aguas residuales) en el módulo II del Distrito de Riego 028, Tulancingo, Hidalgo. El análisis bacteriológico y de helmintos se hizo acorde con las metodologías señaladas en la NMX-AA-003-1980, NOM-001-SEMARNAT-1996, PROY NMX-AA-042-SCFI-2008 y en la sección 9810 APHA. Se determinaron 16 sitios de muestreo de aguas en los canales de riego y se tomaron 54 muestras, tanto de suelo como de plantas. Las concentraciones más altas de coliformes fecales fueron 2×10^{10} NMP·100 mL⁻¹ de agua, 10^9 NMP·100 g⁻¹ de suelo, 10^9 NMP·100 g⁻¹ de raíz y 3×10^9 NMP·100 g⁻¹ de tallo. Once de los 16 sitios de muestreo tuvieron helmintos. Se sugiere tratar las aguas residuales antes de su uso, para evitar problemas de salud entre los usuarios.

PALABRAS CLAVE: Patógenos, coliformes fecales, helmintos, canales de riego.

ABSTRACT

The use of wastewater in irrigation of forage crops is a practice that increases daily in areas where water, for this purpose, is scarce. However, growers, when being in direct contact with wastewater, suffer from gastrointestinal diseases caused by coliforms and parasites (helminths). In the present study, we evaluated fecal coliform (in wastewater, soil and plants) and helminths (in wastewater) in module II, Irrigation District 028, Tulancingo, Hidalgo. Bacteriological and helminth analyzes were consistent with the methodologies reported in the NMX-AA-003-1980, NOM-001-SEMARNAT-1996, PROY NMX-AA-042-SCFI-2008 and section 9810 APHA. A total 16 water sampling sites were determined in irrigation channels and 54 samples of both soil and plants were taken. The highest fecal coliform concentrations were 2×10^{10} MPN·100 mL⁻¹ of water, 10^9 MPN·100 g⁻¹ of soil, 10^9 MPN·100 g⁻¹ of root and 3×10^9 MPN·100 g⁻¹ of stem. Eleven of the 16 sampling sites were helminths. We suggest treating wastewater before use, to prevent health problems among growers.

KEYWORDS: Pathogens, fecal coliform, Helminths, irrigation canals.



Recibido: 30 de marzo, 2012

Aceptado: 05 de febrero, 2014

doi: 10.5154/r.rchscfa.2012.03.024

<http://www.chapingo.mx/revistas>

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural imprescindible para la sociedad y se utiliza en casi todas las actividades que el hombre realiza. No obstante, en la actualidad existen severos problemas de escasez y contaminación del agua (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2007).

A nivel mundial, la actividad agrícola atraviesa por serios problemas de producción de alimentos debido a la falta de agua, sobre todo en las zonas áridas y de extrema pobreza (Toledo, 2002). Por esta razón, muchos agricultores de áreas secas con ingresos bajos utilizan aguas residuales en la producción de cultivos, además de que al hacerlo no aplican fertilizantes y, por tanto, el uso de éstas les resulta económico (Méndez, Ricardo, Pérez, Hernández, & Campos, 2006). Uno de los inconvenientes del uso de aguas residuales es la presencia de bacterias coliformes, las cuales provienen de las heces de humanos y animales; y la existencia de helmintos, cuya procedencia además del uso de agua residual es el empleo de estiércol como fertilizante, carencia de instalaciones sanitarias adecuadas y la falta de control de animales. El alto riesgo para la salud causado por los helmintos se debe a que su estadio de huevo perdura en el ambiente. Córdoba et al. (2002) citan que los huevos de *Ascaris lumbricoides* y *Toxocara canis* conservan su poder infectante en el suelo entre siete y doce años. Si bien, el uso de aguas residuales impulsa la producción de los campos agrícolas, también origina riesgos para la salud de los productores, sus familias y a la población que consume los cultivos irrigados (SEMARNAT, 2007).

En México, Cifuentes et al. (1993) estudiaron algunos problemas de salud pública relacionados con el uso de aguas residuales en la agricultura de los distritos de riego 003 Tula y 100 Alfayucan, en el estado de Hidalgo. Los autores determinaron que el riesgo de infección por helmintos (*A. lumbricoides*) en la población infantil fue mayor en los grupos de exposición alta e intermedia que en habitantes que no estaban expuestos a las aguas residuales. Además, los niños de las familias expuestas presentaron enfermedades diarreicas. A largo plazo, la presencia de organismos en el suelo hace necesario no sólo el monitoreo del agua de riego que los transporta, sino también el control y prevención de la presencia de huevos de helmintos (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2010).

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la concentración de coliformes fecales (en aguas residuales, suelo y plantas) y huevos de helminto (en aguas residuales) en el módulo II del distrito de riego 028 (DR 028), Tulancingo, Hidalgo, con el fin de detectar posibles riesgos para la salud y evidenciar la necesidad del tratamiento de las aguas residuales antes de emplearse en el riego de cultivos forrajeros.

INTRODUCTION

Water is an essential natural resource for society and is used in almost all activities done by man. However, today there are severe problems of water scarcity and pollution (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2007).

Agriculture is experiencing serious food production, worldwide, due to the lack of water, especially in arid and extreme poverty areas (Toledo, 2002). For this reason, many growers in dry areas with low income use wastewater in crop production, besides they do not use fertilizers and, thus the use of wastewater is inexpensive (Méndez, Ricardo, Pérez, Hernández, & Campos, 2006). One of the problems of using wastewater is the presence of coliforms, which come from human and animal feces, and the existence of helminths, whose origin besides the use of wastewater is the use of manure as fertilizer, lack of adequate sanitation facilities and lack of animal control. The high risk to health caused by helminths is because their eggs remain in the environment. Córdoba et al. (2002) state that the eggs of *Ascaris lumbricoides* and *Toxocara canis* retain their infective power in soil between seven and 12 years. While the use of wastewater increases farmland production, also causes health risks of growers, their families and the people who consume the irrigated crops (SEMARNAT, 2007).

In Mexico, Cifuentes et al. (1993) studied some public health problems related to the use of wastewater in agriculture of the irrigation districts 003 Tula and 100 Alfayucan, Hidalgo. The authors determined that the risk of infection caused by helminths (*A. lumbricoides*) in children was higher in the groups with high and intermediate exposure compare to those who were not exposed to wastewater. Moreover, children of families exposed to wastewater had diarrheal diseases. In the long term, the presence of organisms in soil makes necessary to monitor the water irrigation, and also to control and prevent the presence of helminth eggs (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2010).

This study aimed to evaluate the concentration of fecal coliforms (in wastewater, soil and plants) and helminth eggs (in wastewater) in module II, irrigation district 028 (DR 028), Tulancingo, Hidalgo, in order to identify potential health risks and demonstrate the need for treatment of waste water before use in irrigation of forage crops.

MATERIALS AND METHODS

Description of the study area

Irrigation District 028 is located around the city of Tulancingo, Hidalgo, in the municipalities of Tulancingo de Bravo, Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero and Cuauhtepic de Hinojosa. The district is located in the southeastern part of the state (20° 03' 46.08" - 20° 09' 48.96" N and 98° 19' 36.48" - 98° 23' 29.76" W), at an altitude of 2,140 m.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la zona de estudio

El Distrito de Riego 028 se localiza en los alrededores de la ciudad de Tulancingo, Hidalgo, en los municipios de Tulancingo de Bravo, Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero y Cuauhtepic de Hinojosa. El distrito se ubica en la zona suroeste del estado (20° 03' 46.08" - 20° 09' 48.96" N y 98° 19' 36.48" - 98° 23' 29.76" O), a una altitud de 2,140 m.

La investigación se realizó en el módulo II del DR 028 (669 ha), localizado al norte de la ciudad de Tulancingo en los ejidos Laguna de Cerrito, Tulancingo, Cebolletas, Santa María y Santa Ana. Esta zona recibe agua contaminada por fuentes industriales, agropecuarias y domésticas, que es utilizada para el riego de avena forrajera (*Avena sativa* L.), maíz forrajero (*Zea mays* L.), alfalfa verde (*Medicago sativa* L.) y trébol verde (*Trifolium pratense* L.) (Hernández-Acosta, 2011).

Las descargas de aguas residuales provenientes de la ciudad de Tulancingo se reúnen en una presa derivadora en el ejido Huapalcalco. A partir de este sitio, inicia el canal de riego que se distribuye en las 669 ha que conforman el módulo II y en su trayecto recibe descargas de aguas residuales domésticas, de sanitarios portátiles, de fábricas de queso (suero) y establos. Lo anterior origina heterogeneidad del agua residual en sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Hernández-Acosta, 2011).

Ubicación de los sitios de muestreo y colecta de muestras de agua, suelo y planta

Los sitios de muestreo en los canales de riego se seleccionaron de acuerdo con los siguientes criterios: tipos de descargas, ubicación de las compuertas principales y programación de la apertura de los canales. Se consideró que los sitios fueran representativos y estuvieran situados de manera uniforme dentro del módulo II. Además de los sitios seleccionados, se colectó agua de un canal que sólo transporta agua de pozo, con el objetivo de comparar los resultados obtenidos entre las muestras. El pozo se encuentra en el sitio 16 del módulo II. En total se ubicaron 16 sitios de muestreo (Figura 1a), cuyas aguas residuales fueron heterogéneas en color y concentración de sólidos, como resultado de las descargas recibidas en el trayecto de los canales de riego.

Las muestras de agua se colectaron en el año 2009, durante la época seca y de lluvias. Los muestreos se realizaron el 29 de julio, 28 de agosto y 1 de septiembre. La recolección de aguas residuales, en cada uno de los puntos de muestreo, se hizo de acuerdo con la norma NMX-AA-003-1980 (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial [SECOFI], 1980). También se tomaron muestras de suelo, de acuerdo con lo establecido por la NOM-021-SEMARNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2002), y muestras de avena forrajera, maíz forrajero, alfalfa verde y trébol verde, cerca de los sitios donde se colectó agua

The research was conducted in the module II, DR 028 (669 ha), located north of Tulancingo in the ejidos Laguna Cerrito, Tulancingo, Cebolletas, Santa María and Santa Ana. This area receives water contaminated by industrial, agricultural and domestic sources; this water is used for irrigation of forage oats (*Avena sativa* L.), forage maize (*Zea mays* L.), green alfalfa (*Medicago sativa* L.) and green clover (*Trifolium pratense* L.) (Hernández-Acosta, 2011).

Discharges of wastewater from Tulancingo meet at a diversion dam at the ejido Huapalcalco. From this site, begins the irrigation channel which is distributed in 669 ha forming the module II and its trajectory receives domestic wastewater discharges, portable toilets, cheese factories (cheese whey) and stables. This causes heterogeneity of residual water in their physical, chemical and biological properties (Hernández-Acosta, 2011).

Location of the sampling sites and sample collection of water, soil and plant

Sampling sites at the irrigation channels were selected according to the following criteria: type of discharge, location of main dam gates and opening control system of channels. Sites were considered to be representative and located uniformly within the module II. In addition to the selected sites, we collected water from a channel that carries only well water, in order to compare the results obtained from the samples. The well is on site 16 of module II. We located a total of 16 sampling sites (Figure 1a), with heterogeneous wastewater and solids concentration as a result of discharges received in the trajectory of irrigation channels.

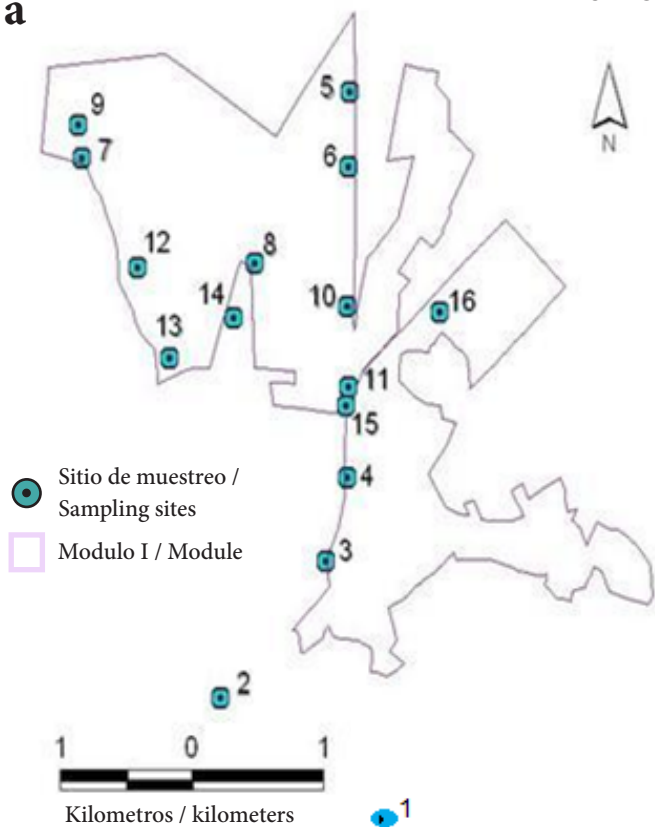
Water samples were collected in 2009, during the dry and rainy season. Sampling was conducted on July 29, August 28 and September 1. Wastewater collection in each of the sampling points was made according to NMX-AA-003-1980 (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial [SECOFI], 1980). Soil samples were also collected in accordance with that established by NOM-021-SEMARNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2002), and samples of forage oats, forage maize, green alfalfa and green clover close to the sites where water (irrigation channels) was collected. In total we obtained 54 samples comprised of the same amount of soil and plant samples.

Determining coliform bacteria in wastewater, soil and plant, and assessing helminth eggs in wastewater

Contamination by pathogenic microorganisms in water, soil and plant was determined using the amount of fecal coliform as an indicator, following the methodology described in PROY-NMX-AA-042-SCFI-2008. Due to the high amount of bacteria present in waste water, each sample was serially diluted (1:10) using peptone water, starting from a concentration of 10⁻¹ to 10⁻⁹. The test for determining the total coliform was performed with lactose broth (three suc-

SITIOS DE MUESTREO DE AGUA / WATER SAMPLING SITES

a



- 1. Presa La Esperanza
 - 2. Derivadora Huapalcalco
 - 3. Punto medio, ejido Cebolletas
 - 4. Cárcamo de bombeo, ejido Cebolletas
 - 5. Descarga de suero, ejido Santa Ana
 - 6. Compuerta para riego, ejido Santa Ana
 - 7. Limite ejido Cebolletas
 - 8. Limite entre ejido Tulancingo y el ejido Laguna del Cerrito (A)
 - 9. Ejido Cebolletas
 - 10. Limite entre ejido Tulancingo y el ejido Laguna del Cerrito (B)
 - 11. Ejido La Laguna
 - 12. Ejido Santa María
 - 13. Limite entre the ejidos Santa Ana y Santa María
 - 14. Ejido Santa Ana
 - 15. Ejido Laguna de Cerrito
 - 16. Pozo de agua Cebolletas (testigo)
-
- 1. La Esperanza dam
 - 2. Huapalcalco diversion dam
 - 3. Midpoint, ejido Cebolletas
 - 4. Lift station, ejido Cebolletas
 - 5. Whey discharge, ejido Santa Ana
 - 6. Irrigation gate, ejido Santa Ana
 - 7. Boundary ejido Cebolletas
 - 8. Boundary between the ejido Tulancingo and the ejido Laguna de Cerrito (A)
 - 9. Ejido Cebolletas
 - 10. Boundary between the ejido Tulancingo and the ejido Laguna de Cerrito (B)
 - 11. Ejido La Laguna
 - 12. Ejido Santa María
 - 13. Boundary between the ejidos Santa Ana y Santa María
 - 14. Ejido Santa Ana
 - 15. Ejido Laguna de Cerrito
 - 16. Cebolletas well (control treatment)

b



FIGURA 1. Ubicación de los sitios de muestreo de agua (a), de suelos y plantas (b) para determinación de coliformes fecales y helmintos, en el módulo II del DR 028. Tulancingo, Hidalgo.

FIGURE 1. Location of water (a), soil and plant (b) sampling sites to determine fecal coliforms and helminths, in module II DR 028 Tulancingo, Hidalgo.

(canales de riego). En total se obtuvieron 54 muestras compuestas de suelo y la misma cantidad de muestras vegetales.

Determinación de bacterias coliformes en agua residual, suelo y planta, y evaluación de huevos de helmintos en agua residual

La contaminación por microorganismos patógenos en agua, suelo y planta se determinó utilizando la cantidad de coliformes fecales como indicador, siguiendo la metodología descrita en el PROY-NMX-AA-042-SCFI-2008. Debido al elevado número de bacterias presentes en el agua residual, cada muestra se diluyó de forma seriada (1:10) con agua peptonada, partiendo de una concentración de 10^{-1} hasta 10^{-9} . La prueba presunta para la determinación de coliformes totales se hizo con caldo lactosado (tres series sucesivas de cinco tubos incubados a 35-37 °C). La prueba se consideró positiva en los tubos con turbidez y producción de gas. Posteriormente se hizo la prueba confirmativa en medio específico caldo E. C. (*Escherichia coli*). Los tubos se incubaron a 44.5 °C (± 0.5 °C) por 24 h. Finalmente, el NMP se determinó mediante tablas estadísticas establecidas (American Public Health Association [APHA], 1989).

La contaminación del agua por parásitos se evaluó mediante la presencia de huevos de helmintos, acorde con el método normalizado de APHA (1989). En el sitio de muestreo se filtraron 5 litros de agua en un tamiz (tamaño aproximado de 30 μm), el cual se colocó en la pared de un frasco de vidrio. La superficie del tamiz se limpió con agua destilada de ocho a 10 veces, para desprender los nematodos. Los frascos de las muestras se colocaron en baño maría a 57 °C por 15 min y después se agregó formol (4 %). Posteriormente, se procedió al conteo de huevos de helmintos en microscopio.

Análisis de datos en las muestras de suelo y plantas, para determinar concentraciones de coliformes fecales

Los coliformes fecales (CF) se obtuvieron de muestreos puntuales en campo. En el laboratorio, las muestras se analizaron por triplicado con el objetivo de tener un valor promedio como medida de tendencia central de los datos. El NMP se determinó mediante tablas estadísticas establecidas por APHA (1989).

El análisis y la representación de los resultados de CF en suelo y plantas se realizaron con base en áreas generadas con ayuda del software Arcgis 9.3 (ESRI, 2009) y, en específico, con el método de interpolación Kriging. Esta herramienta geoestadística ubica áreas contaminadas y muy contaminadas en el distrito de riego a partir de valores superiores a los establecidos por las normas, desechando los valores extremos y tomando en cuenta solo los valores medios (Oliver & Webster, 1990). Una vez obtenidas las áreas, se generaron categorías o escalas para facilitar el análisis de los resultados. Debido a que no se encontraron referencias de escalas o categorías en investigaciones similares, se propuso la creación de dos categorías: la primera denominada "contaminada" con concentraciones de coliformes menores de 2×10^6

cessive sets of five tubes incubated at 35-37 °C). The test was positive in the tubes with turbidity and gas production. Then, the confirmatory testing was performed using broth E. C. (*Escherichia coli*). The tubes were incubated at 44.5 °C (± 0.5 °C) for 24 h. Finally, the MPN was determined using established statistical tables (American Public Health Association [APHA], 1989).

Water pollution by parasites was assessed by the presence of helminth eggs, according to the method of APHA (1989). At the sampling site, 5 liters of water were filtered through a sieve (30 μm approximate size), which was placed in the wall of a glass flask. The screen surface was cleaned with distilled water, eight to 10 times to eliminate nematodes. Sample flasks were placed in water bath at 57 °C for 15 min and then formaldehyde (4 %) was added. Subsequently, we proceeded to count worm eggs using a microscope.

Data analysis in plant and soil samples to determine concentrations of fecal coliform

Fecal coliforms (FC) were obtained from field samples. At the laboratory, the samples were analyzed in triplicate in order to have an average value as a measure of central tendency of the data. The MPN was determined by statistical tables established by APHA (1989).

The analysis and representation of the results of FC in soil and plants were performed based on areas generated by means of the software Arcgis 9.3 (ESRI, 2009) and, specifically, using the Kriging interpolation method. This geostatistical tool locate polluted and very polluted areas in the irrigation district from higher values to those established by the standards, discarding the extreme values and taking into account only the mean values (Oliver & Webster, 1990). Once the areas were obtained, categories or ranges were generated to facilitate the analysis of the results. Since no reference of scales or categories were found in similar research, we proposed to create two categories: the first one called "contaminated" with coliform concentrations lower than 2×10^6 MPN·100 g⁻¹ and the second, identified as "highly contaminated" with concentrations higher than 2×10^6 MPN·100 g⁻¹.

RESULTS AND DISCUSSION

Fecal coliforms in wastewater

FC concentrations in wastewater ranged from 2×10^4 to 2×10^{10} MPN·100 mL⁻¹. Site 5 (whey discharge, ejido Santa Ana) and Site 2 (diversion dam, Huapalcalco) had higher concentration of FC; while the lowest concentrations were found at the site 16 (well, Cebolletas), which served as control 2×10^4 MPN·100 mL⁻¹ of water, and site 15 (ejido Laguna de Cerrito) with 10^5 MPN·100 mL⁻¹ of water. With the above results, we determined that well water has high contamination of FC. This could occur because sometimes, irrigation channels carrying water from wells are exposed to contamination by feces. In this regard, Venezuela, Hernández,

CUADRO 1. Coliformes fecales y huevos de helmintos en aguas residuales del módulo II del Distrito de Riego 028 en Tulancingo, Hidalgo.

	Sitio de muestreo	Coliformes fecales (NMP·100 mL ⁻¹)	Helmintos (huevos·litro ⁻¹)
1	Presa La Esperanza	3 x 10 ⁸	0
2	Derivadora Huapalcalco	9 x 10 ⁹	13
3	Punto medio, ejido Cebolletas	1 x 10 ⁷	24
4	Cárcamo de bombeo, ejido Cebolletas	1 x 10 ⁸	12
5	Descarga de suero, ejido Santa Ana	3 x 10 ⁹	5
6	Compuerta para riego, ejido Santa Ana	5 x 10 ⁷	17
7	Límite ejido Cebolletas	3 x 10 ⁸	12
8	Límite entre ejido Tulancingo y La Laguna del Cerrito (A)	1 x 10 ⁷	15
9	Ejido Cebolletas	2 x 10 ⁵	16
10	Límite entre ejido Tulancingo y La Laguna del Cerrito (B)	5 x 10 ⁸	16
11	Ejido La Laguna	8 x 10 ⁹	0
12	Ejido Santa María	5 x 10 ⁹	0
13	Límite entre ejidos Santa Ana y Santa Ma.	1 x 10 ⁹	9
14	Ejido Santa Ana	3 x 10 ⁸	11
15	Ejido Laguna de Cerritos	1 x 10 ⁵	0
16	Pozo Cebolletas (testigo)	2 x 10 ⁴	0

TABLE 1. Fecal coliforms and helminth eggs in wastewater of Module II Irrigation District 028 in Tulancingo, Hidalgo.

	Sampling site	Fecal coliforms (MPN·100 mL ⁻¹)	Helminths (eggs·liter ⁻¹)
1	La Esperanza dam	3 x 10 ⁸	0
2	Huapalcalco diversion dam	9 x 10 ⁹	13
3	Midpoint, ejido Cebolletas	1 x 10 ⁷	24
4	Lift station, ejido Cebolletas	1 x 10 ⁸	12
5	Whey discharge, ejido Santa Ana	3 x 10 ⁹	5
6	Irrigation gate, ejido Santa Ana	5 x 10 ⁷	17
7	Boundary ejido Cebolletas	3 x 10 ⁸	12
8	Boundary between the ejido Tulancingo and the ejido Laguna del Cerrito (A)	1 x 10 ⁷	15
9	Ejido Cebolletas	2 x 10 ⁵	16
10	Boundary between the ejido Tulancingo and the ejido Laguna del Cerrito (B)	5 x 10 ⁸	16
11	Ejido La Laguna	8 x 10 ⁹	0
12	Ejido Santa María	5 x 10 ⁹	0
13	Boundary between the ejidos Santa Ana and Santa Ma.	1 x 10 ⁹	9
14	Ejido Santa Ana	3 x 10 ⁸	11
15	Ejido Laguna de Cerritos	1 x 10 ⁵	0
16	Cebolletas well (control treatment)	2 x 10 ⁴	0

NMP·100 g⁻¹ y la segunda, identificada como “muy contaminada” con concentraciones mayores de 2 x 10⁶ NMP·100 g⁻¹.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Coliformes fecales en aguas residuales

Las concentraciones de CF en aguas residuales fluctuaron de 2 x 10⁴ a 2 x 10¹⁰ NMP·100 mL⁻¹. El sitio 5 (descarga de

Espinoza, Malpica, and De Jesús (2011) assessed the quality of irrigation water for agricultural use and found values of FC higher (1 x 10⁵ a 9.3 x 10⁶ MPN·100 mL⁻¹) than those indicated for well water in this study. The authors noted that well water might be contaminated with water from a natural lagoon. In the case of this study, we did not find a source of contamination of well water (site 16); however, we suggest that the damage is due to nonpoint sources of pollution from cattle grazing in this area.

CUADRO 2. Coliformes fecales en suelo y plantas regados con aguas residuales en el módulo II del Distrito de Riego 028 en Tulancingo, Hidalgo.

TABLE 2. Fecal coliforms and plants irrigated with wastewater in Module II Irrigation District 028 in Tulancingo, Hidalgo.

Muestra	Coliformes fecales (NMP·100 g ⁻¹)						
	Suelo / Soil	Planta / Plant		Muestra /	Suelo / Soil	Planta / Plant	
		Raíz / Root	Tallo / Stem	Sample		Raíz / Root	Tallo / Stem
1	2 x 10 ⁶	1 x 10 ⁷	2 x 10 ⁶	28	2 x 10 ⁵	2 x 10 ⁸	1 x 10 ⁷
2	2 x 10 ⁶	1 x 10 ⁵	2 x 10 ⁶	29	2 x 10 ⁷	2 x 10 ⁷	9 x 10 ⁶
3	2 x 10 ⁵	3 x 10 ⁶	3 x 10 ⁹	30	1 x 10 ⁷	9 x 10 ⁶	2 x 10 ⁷
4	7 x 10 ⁶	1 x 10 ⁸	1 x 10 ⁷	31	2 x 10 ⁷	ND	6 x 10 ⁶
5	2 x 10 ⁶	9 x 10 ⁶	3 x 10 ⁸	32	2 x 10 ⁵	ND	ND
6	1 x 10 ⁸	ND	1 x 10 ⁸	33	8 x 10 ⁷	1 x 10 ⁷	1 x 10 ⁶
7	1 x 10 ⁵	7 x 10 ⁵	9 x 10 ⁸	34	2 x 10 ⁵	2 x 10 ⁷	1 x 10 ⁶
8	9 x 10 ⁶	2 x 10 ⁷	7 x 10 ⁶	35	2 x 10 ⁷	1 x 10 ⁷	5 x 10 ⁶
9	2 x 10 ⁶	8 x 10 ⁶	5 x 10 ⁷	36	3 x 10 ⁵	3 x 10 ⁷	6 x 10 ⁶
10	2 x 10 ⁵	7 x 10 ⁵	4 x 10 ⁶	37	2 x 10 ⁷	ND	ND
11	1 x 10 ⁹	6 x 10 ⁵	4 x 10 ⁶	38	2 x 10 ⁵	4 x 10 ⁷	3 x 10 ⁷
12	2 x 10 ⁵	2 x 10 ⁶	1 x 10 ⁸	39	2 x 10 ⁵	2 x 10 ⁵	5 x 10 ⁶
13	2 x 10 ²	ND	5 x 10 ⁶	40	2 x 10 ⁷	2 x 10 ⁷	1 x 10 ⁵
14	2 x 10 ⁴	2 x 10 ⁷	2 x 10 ⁶	41	2 x 10 ⁶	ND	ND
15	8 x 10 ³	ND	2 x 10 ⁷	42	2 x 10 ⁵	2 x 10 ⁷	1 x 10 ⁶
16	2 x 10 ⁵	3 x 10 ⁶	2 x 10 ⁶	43	2 x 10 ⁶	4 x 10 ⁶	2 x 10 ⁶
17	2 x 10 ⁶	2 x 10 ⁶	1 x 10 ⁸	44	2 x 10 ⁵	ND	ND
18	2 x 10 ⁶	ND	2 x 10 ⁶	45	2 x 10 ⁵	9 x 10 ⁵	2 x 10 ⁶
19	2 x 10 ⁶	6 x 10 ⁵	9 x 10 ⁵	46	2 x 10 ⁵	2 x 10 ⁵	2 x 10 ⁶
20	2 x 10 ⁷	5 x 10 ⁴	1 x 10 ⁷	47	2 x 10 ⁵	2 x 10 ⁸	3 x 10 ⁷
21	2 x 10 ⁵	9 x 10 ⁴	1 x 10 ⁸	48	2 x 10 ⁶	2 x 10 ⁶	1 x 10 ⁶
22	2 x 10 ⁵	ND	ND	49	5 x 10 ⁶	9 x 10 ⁶	6 x 10 ⁶
23	2 x 10 ⁴	1 x 10 ⁹	5 x 10 ⁷	50	2 x 10 ⁷	6 x 10 ⁷	3 x 10 ⁶
24	2 x 10 ⁵	2 x 10 ⁷	1 x 10 ⁸	51	2 x 10 ⁵	2 x 10 ⁷	2 x 10 ⁶
25	2 x 10 ⁷	9 x 10 ⁷	9 x 10 ⁷	52	2 x 10 ⁷	1 x 10 ⁷	8 x 10 ⁶
26	2 x 10 ⁵	1 x 10 ⁹	1 x 10 ⁷	53	2 x 10 ⁷	2 x 10 ⁶	2 x 10 ⁶
27	2 x 10 ⁶	2 x 10 ⁶	2 x 10 ⁶	54	2 x 10 ⁷	ND	ND

ND = No determinado / Not determined

suero, ejido Santa Ana) y el Sitio 2 (derivadora, Huapalcalco) presentaron mayor concentración de CF; mientras que las menores concentraciones se encontraron en el sitio 16 (pozo, Cebolletas), el cual fungió como testigo con 2 x 10⁴ NMP·100 mL⁻¹ de agua, y el sitio 15 (ejido Laguna de Cerrito) con 10⁵ NMP·100 mL⁻¹ de agua. Con los resultados anteriores, se determinó que el agua de pozo presenta alta contaminación de CF. Esto pudo ocurrir porque, en ocasiones, los canales de riego que transportan agua de pozo están expuestos a la contaminación por heces fecales. Al respecto, en Venezuela, Hernández, Espinoza, Malpica, y De Jesús (2011) evaluaron la calidad del agua de riego para uso agrícola y encontraron valores de CF superiores (1 x 10⁵ a 9.3 x 10⁶ NMP·100 mL⁻¹) a los indicados para el agua de pozo del

The results of this study showed that in all sampling sites the maximum permissible limits (MPL) (Table 1) were exceeded. NOM-001-SEMARNAT-1996 (SEMARNAT, 2003) specifies that the MPL of FC in wastewater should be 1,000 to 2,000 MPN·100 mL⁻¹, for disposal by irrigation. According to the standard, the results of this study show that there is risk to human health and the need to implement pretreatments to wastewater for irrigation of forage crops. Cuevas, León, Jiménez, and Chaidez (2009) reached a similar conclusion. These authors detected the presence of *E. coli* and Salmonella in water and agricultural land, and the resistance of these bacteria to antibiotics. Researchers noted that agricultural irrigation channels, being outdoors, can become contaminated with the introduction of wastewater,

presente trabajo. Los autores señalaron que el agua de pozo pudo contaminarse con agua de una laguna natural. En el caso del presente estudio, no se encontró una fuente puntual de contaminación del agua de pozo (sitio 16); sin embargo, se sugiere que la afectación se debe a fuentes dispersas de contaminación del ganado que pasta en la zona.

Los resultados de este trabajo mostraron que en todos los sitios de muestreo se rebasaron los límites máximos permisibles (LMP) (Cuadro 1). La NOM-001-SEMARNAT-1996 (SEMARNAT, 2003) especifica que el LMP de CF en aguas residuales debe ser de 1,000 a 2,000 NMP·100 mL⁻¹, para su disposición mediante riego agrícola. De acuerdo con la norma, los resultados de la presente investigación muestran la existencia de riesgo para la salud humana y la necesidad de implementar tratamientos previos a las aguas residuales destinadas al riego de cultivos forrajeros. Cuevas, León, Jiménez, y Chaidez (2009) llegaron a una conclusión similar. Estos autores detectaron la presencia de *E. coli* y *Salmonella* en agua y suelo agrícola, así como la resistencia de estas bacterias a los antibióticos. Los investigadores señalaron que los canales de riego agrícola, al estar al aire libre, pueden contaminarse con la introducción de agua residual, descargas domésticas y excretas de animales. En su estudio observaron la presencia de animales silvestres y ganado bovino en las cercanías de los canales. Lo expuesto por Cuevas et al. (2009) ocurre en el módulo II de DR 028, situación que aumenta el riesgo perjudicial a la salud de los usuarios de riego y todos aquellos que estén en contacto directo con estas aguas, sobre todo por el número alto de CF (Cuadro 1).

Mora (1998) menciona que el riego con aguas residuales en áreas verdes, cultivos de legumbres y árboles frutales es cada día mayor. En consecuencia, existe alto riesgo de contraer enfermedades intestinales por bacterias CF, sobre todo con los productos de consumo crudo. Al respecto, Veliz, Llanes, Fernández, y Bataller (2009) señalan que para evitar problemas de salud pública por patógenos en las aguas residuales, especialmente en la población infantil, éstas deben utilizarse principalmente en el riego de cultivos no destinados al consumo humano directo, como forrajes y cultivos industriales. En el DR 028, en Tulancingo, Hidalgo, las aguas residuales se utilizan para cultivos forrajeros; sin embargo, se observó que también el cilantro (*Coriandrum sativum* L.), el tomate verde (*Physalis ixocarpa* Brot.), la calabacita (*Cucurbita pepo* L.) y la lechuga (*Lactuca sativa* L.) se riegan con aguas residuales. Los resultados obtenidos en el presente estudio, respecto a las concentraciones de CF en el agua residual para riego de especies forrajeras, muestran que existe riesgo para la salud de los productores.

Coliformes fecales en suelos regados con aguas residuales

No existen normas mexicanas que indiquen el LMP para la variable CF en el suelo. Por tal razón, en este trabajo, se consideró el LMP que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996 (2,000 NMP·100 mL⁻¹). Las concentraciones de CF en suelos

domestic discharges and animal excreta. In their study they observed the presence of wild animals and cattle in the vicinity of the channels. That said by Cuevas et al. (2009) occurs in the module II of DR 028, this increases detrimental health risk of irrigation users and all those who are in direct contact with wastewater, especially for the high number of FC (Table 1).

Mora (1998), mentions that wastewater irrigation is in green areas, vegetable crops and fruit trees. Consequently, there is high risk of intestinal disease due to FC bacteria, especially with raw food. In this regard, Veliz, Llanes, Fernández, and Bataller (2009) mention that to avoid public health problems by pathogens in wastewater, especially in children, wastewater should be used mainly to irrigate crops not intended for human consumption, as forage and industrial crops. In the DR 028 in Tulancingo, Hidalgo, wastewater is used for forage crops, but we observed that coriander (*Coriandrum sativum* L.), husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.), Zucchini (*Cucurbita pepo* L.) and lettuce (*Lactuca sativa* L.) are also irrigated with wastewater. The results obtained in this study with respect to the concentrations of FC in wastewater for irrigation of forage species show a risk to the health of producers.

Fecal coliforms in soils irrigated with wastewater

There are not Mexican standards indicating the MPL for the variable FC in soil. For this reason, this study considered the MPL established by the NOM-001-SEMARNAT-1996 (2,000 MPN·100 mL⁻¹). FC concentrations in soil showed values of 2×10^2 a 1×10^9 MPN·100 g⁻¹ (Table 2). The spatial distribution of FC prevailing in Module II of the DR 028 is described as "highly contaminated". In this regard, it is important to mention that soils of DR 028, Tulancingo, Hidalgo, are irrigated with wastewater every 25 days for 4-10 continuous h per day, this situation favors the continuous soil contamination by coliform bacteria. Few studies report the presence of FC in soils irrigated with wastewater.

With respect to the survival of FC in soils, Fasciolo, Meca, Calderón, and Rebollo (2005) studied the residual microbial contamination in soils irrigated with treated domestic effluents and obtained 33 MPN·100 g⁻¹ of soil, corresponding to *E. coli*, six days after the last irrigation performed. They found that the presence of *E. coli* decreased after 26 days of the last irrigation been applied. Furthermore, Paluszak, Ligocka, Breza-Boruta, and Olszewska (2003) indicate that fecal bacteria remain in the soil for 21 to 27 weeks and, if the conditions are favorable (after abundant rainfall, temperature 10 °C [Filip, Kaddu-Mulindwa, & Milde 1988], neutral to alkaline pH [Sjogren, 1994]) can seep through the soil profile and contaminate groundwater used for drinking water (Entry, Hubbard, Thies, & Fuhrmann, 2000). Sjogren (1994) noted that *E. coli* survives in the soil from 20.7 to 23.3 months, a situation that increases the risk to health in case of contaminating the water used for human consumption.

presentaron valores de 2×10^2 a 1×10^9 NMP·100 g⁻¹ (Cuadro 2). La distribución espacial de CF que prevalece en el módulo II del DR 028 se calificó como “muy contaminada”. Al respecto, cabe señalar que los suelos del DR 028, Tulancingo, Hidalgo, se riegan con aguas residuales cada 25 días con un tiempo de 4 a 10 h continuas por día; esta situación favorece la continua contaminación de los suelos por bacterias coliformes. Pocos estudios reportan la presencia de CF en suelos regados con aguas residuales. Respecto a la sobrevivencia de CF en los suelos, Fasciolo, Meca, Calderón, y Rebollo (2005) investigaron la contaminación microbiológica residual en suelos regados con efluentes domésticos tratados y obtuvieron 33 NMP·100 g⁻¹ de suelo, correspondiente a *E. coli*, seis días después del último riego realizado. Estos autores observaron que la presencia de *E. coli* disminuía después de 26 días de haberse aplicado el último riego. Por otro lado, Paluszak, Ligocka, Breza-Boruta, y Olszewska (2003) indican que las bacterias fecales permanecen en el suelo de 21 a 27 semanas y, si las condiciones son favorables (después de lluvias abundantes, temperatura de 10 °C [Filip, Kaddu-Mulindwa, & Milde 1988], pH de neutro a alcalino [Sjogren, 1994]) pueden filtrarse por el perfil del suelo y contaminar aguas subterráneas que se utilizan como fuente de agua potable (Entry, Hubbard, Thies, & Fuhrmann, 2000). Sjogren (1994) señaló que *E. coli* sobrevive en el suelo de 20.7 a 23.3 meses, situación que aumenta el riesgo a la salud en caso de contaminar el agua que se destina al consumo humano.

Coliformes fecales en plantas regadas con aguas residuales

La concentración de coliformes fecales fue mayor en el tallo (1×10^5 a 3×10^9 NMP·100 g⁻¹) que en las raíces (5×10^4 a 1×10^9 NMP·100 g⁻¹) (Cuadro 2). Lo anterior significa que, probablemente, los coliformes fecales migraron al tallo de la planta, situación que pudo favorecerse porque el agua residual estuvo en contacto directo y por más tiempo con esta estructura. Al respecto, Solomon, Yaron, y Matthews (2002) demostraron, con estudios de microscopía y la recuperación de células viables de tejidos internos de las plantas, que *E. coli* puede entrar en la planta de lechuga a través del sistema de raíces y migrar a lo largo de la porción comestible. Los autores también comprobaron que *E. coli* migraba a sitios internos en el tejido vegetal y se protegía de la acción de agentes desinfectantes, en virtud de su inaccesibilidad. No existe mucha información que explique la migración de bacterias coliformes a partes superiores de la planta cuando éstas son regadas con aguas residuales. En la presente investigación, el mayor número de coliformes se reportó en el tallo, lo cual pudo favorecerse por el manejo que los usuarios de aguas residuales dan a los suelos y plantas, ya que cada 25 días realizan el riego y durante un día riegan por un periodo de 4 a 10 h continuas. En este tiempo, los suelos permanecen inundados y una parte importante de los tallos de cultivos como la alfalfa, los pastos y el trébol quedan sumergidos en las aguas residuales favoreciendo con esto, de forma indirecta, la sobrevivencia de coliformes en las plantas.

Fecal coliforms in plants irrigated with waste water

The fecal coliform concentration was higher in the stem (1×10^5 to 3×10^9 MPN·100 g⁻¹) than in the roots (5×10^4 to 1×10^9 MPN·100 g⁻¹) (Table 2). This means that probably the fecal coliform migrated to the stem of the plant, a situation that could be favored because the residual water was in direct contact and longer with this structure. In this regard, Solomon, Yaron, and Matthews (2002) demonstrated, with microscopy studies and viable cell recovery of internal tissues of the plants, that *E. coli* can enter the lettuce plant through the root system and migrate throughout the edible portion. The authors also found that *E. coli* migrated to internal locations in plant tissue and was protected from the action of disinfecting agents by virtue of their inaccessibility. There is little information explaining the migration of coliforms to higher parts of the plant when it is irrigated with wastewater. In the present research, the highest number of coliforms was reported in the stem, which may be favored by the handling provided by the wastewater users to soil and plants, because every 25 days irrigation is done and for a day they irrigate for a period of 4 to 10 continuous hours. At this time, soils remain flooded and an important part of the stems of crops such as alfalfa and grass and clovers remain immersed in wastewater favoring with this, indirectly, the survival of coliforms in plants. In the case of forage crops, such survival is not as serious because forage is not consumed by man but in the case of vegetables this is a risk, because vegetables may present unacceptable sanitary conditions (Rivera-Jacinto, Rodríguez-Ulloa, & López-Orbegoso (2009).

Number of helminth eggs in wastewater used for irrigation of forage crops

The results showed that the MPL for discharged into the soil (agricultural use: 1 egg·liter⁻¹ for restricted irrigation and 5 eggs·liter⁻¹ for unrestricted irrigation) was exceeded. In point 3 (midpoint ejido de Cebolletas) the maximum number of helminth eggs (24 eggs·liter⁻¹) was recorded. Eleven of the collected samples contained helminth eggs and larvae (5-24 eggs·liter⁻¹), while in point 16 (well [control sample]) showed no presence of helminth eggs and larvae (Table 1).

The presence of helminth eggs in wastewater used for irrigation of forage crops in the DR 028 in Tulancingo, Hidalgo, represents a public health problem. It is important to keep forage crops free of these organisms, because there zoonotic diseases such as those caused by the nematodes *Trichinella spiralis* and *Gnathostoma doloresi* that can be transmitted to humans through food (Romero, 2007). The risk to public health increases because as quoted above, although only this occur on a small scale, wastewater is used to irrigate vegetables and fruit in some plots, a situation that favors an increase in gastrointestinal illness in consumers (Camargo & Campuzano, 2006).

En el caso de cultivos forrajeros, dicha sobrevivencia no es tan grave porque no se consumen por el hombre pero en el caso de las hortalizas sí, **ya que éstas pueden presentar un estado sanitario inaceptable** (Rivera-Jacinto, Rodríguez-Ulloa, & López-Orbegoso (2009).

Número de huevos de helmintos en aguas residuales utilizadas para riego de cultivos forrajeros

Los resultados mostraron que el LMP para las descargas vertidas al suelo (uso agrícola: 1 huevo-litro⁻¹ para riego restringido y 5 huevos-litro⁻¹ para riego no restringido) se superó. En el punto 3 (punto medio ejido de Cebolletas) se registró el número máximo de huevos de helminto (24 huevos-litro⁻¹). Once de las muestras colectadas contenían huevos y larvas de helmintos (5 a 24 huevos-litro⁻¹), mientras que en el punto 16 (pozo [muestra testigo]) no se encontraron (Cuadro 1).

La presencia de huevos de helmintos en aguas residuales utilizadas para riego de cultivos forrajeros en el DR 028, en Tulancingo, Hidalgo, representa un problema de salud pública. Es importante mantener los cultivos forrajeros libres de estos organismos, pues existen enfermedades zoonóticas como las ocasionadas por los nematodos *Trichinella spiralis* y *Gnathostoma doloresi* que pueden transmitirse a los humanos a través de los alimentos (Romero, 2007). El riesgo para la salud pública aumenta porque como se citó anteriormente, aunque solo se hace en pequeña escala, en algunas parcelas se utiliza el agua residual para el riego de hortalizas y frutales, situación que favorece el aumento de enfermedades gastrointestinales en los consumidores (Camargo & Campuzano, 2006).

Existen evidencias de que la presencia de huevos de helmintos en aguas utilizadas para riego de cultivos agrícolas representa riesgo para la salud. Devera, Blanco, González, y García (2006), y Cifuentes y Rodríguez (2005) encontraron que el riesgo es mayor en la población consumidora de hortalizas regadas con estas aguas. Scorza y Vilchez (2007) señalan que en condiciones higiénicas desfavorables, la contaminación de suelos por huevos de parásitos alcanza el centenar por gramo de suelo y su infectividad tiene una duración de hasta 15 años, situación que posibilita un mayor riesgo para la salud pública.

Durante la última década, investigadores de países latinoamericanos evidenciaron el problema de salud pública generado por el consumo de lechuga (*L. sativa*) (Devera et al., 2006; Traviezo-Valles, Dávila, Rodríguez, Perdomo, & Pérez, 2004), perejil (*Petroselinum crispum* M.) (Rivera-Jacinto et al., 2009), cilantro (*C. sativum*), cebolla (*Allium cepa* L.), repollo (*Brassica oleracea* L.) y elote (*Zea mays* L.) (Pérez-Cordón, Rosales, Renzo, Vargas-Vásquez, & Córdova, 2008) contaminados con agua de mala calidad microbiológica. Estos investigadores concluyen que se requiere del tratamiento de las aguas y la desinfección de los cultivos, previo al consumo, para disminuir las enfermedades transmitidas

There is evidence that the presence of helminth eggs in water used for irrigation of agricultural crops represents health risk. Devera, Blanco, González, and García (2006), and Cifuentes and Rodríguez (2005) found that the risk is higher in the population consuming vegetables irrigated with wastewater. Scorza and Vilchez (2007) point out that under unfavorable sanitary conditions, soil contamination by parasite eggs reaches hundred per gram of soil and infectivity lasts for up to 15 years, a situation that allows a greater risk to public health.

During the last decade, researchers from Latin American showed the public health problem generated by the consumption of lettuce (*L. sativa*) (Devera et al., 2006; Traviezo-Valles, Dávila, Rodríguez, Perdomo, & Pérez, 2004), parsley (*Petroselinum crispum* M.) (Rivera-Jacinto et al., 2009), coriander (*C. sativum*), onion (*Allium cepa* L.), cabbage (*Brassica oleracea* L.) and maize (*Zea mays* L.) (Pérez-Cordón, Rosales, Renzo, Vargas-Vásquez, & Córdova, 2008) contaminated with water of poor microbiological quality. These researchers conclude that water treatment and disinfection of crops are required, before consumption, to reduce parasite-transmitted diseases.

Other researchers also point out that treatment and disinfection of wastewater are required, before being used for irrigation (Camargo & Campuzano, 2006; Cuenca-Adame, Riestra-Díaz, Pérez-Mangas, & Echegaray-Alemán, 2001). In this regard, Castro-Espinoza et al. (2009) mention that the treated wastewater is an inexpensive alternative of irrigation of agricultural crops, but their use may be restricted by the microbiological quality.

According to Mexican law, in this study, coliforms (in water, soil and plants) and helminths (in water) are in quantities that represent risks to the health of irrigation users, however, the use of wastewater in the DR 028 generates economic benefits for growers. Some researchers note that the reuse of wastewater for irrigation brings agronomic benefits that result in lower costs, because via the effluents we obtain nutrients, which can contribute to less use of fertilizers, and thus less sowing costs (Lasso & Ramírez 2011). This makes it difficult to change the idea that irrigation user have about the use and management of wastewater. This activity has lasted for years and, in the future, the use of wastewater will increase in Mexico.

CONCLUSIONS

There is high fecal coliform contamination (in water, soil and plants) and helminth eggs in wastewater used for irrigation of crops in the DR 028 in Tulancingo, Hidalgo. The values obtained exceed the permissible limits of Mexican standards, so the health risk by the presence of these parasites is evident. Consequently, it is suggested to implement wastewater treatment systems, before using wastewater for irrigation of forage crops. We recommend for further re-

por parásitos.

Otros investigadores también señalan que el tratamiento y desinfección del agua residual son obligatorios, antes de utilizarse para riego (Camargo & Campuzano, 2006; Cuenca-Adame, Riestra-Díaz, Pérez-Mangas, & Echegaray-Alemán, 2001). Al respecto, Castro-Espinoza et al. (2009) mencionan que las aguas residuales tratadas son una alternativa de bajo costo en la irrigación de cultivos agrícolas; sin embargo, su uso puede restringirse por la calidad microbiológica.

Según la normatividad mexicana, en el presente estudio, los coliformes (en agua, suelo y plantas) y los helmintos (en agua) se encuentran en cantidades que representan riesgo para la salud de los usuarios de riego; sin embargo, el uso de las aguas residuales en el DR 028 genera ganancias económicas para los productores. Algunos investigadores señalan que el reúso de las aguas residuales para riego trae ventajas agronómicas que se traducen en menores costos, ya que por medio de los efluentes se tienen aportes de nutrientes, lo cual incide en un menor uso de fertilizantes y, por ende, se reducen los costos de siembra (Lasso & Ramírez 2011). Lo anterior dificulta cambiar la idea que tienen los mismos usuarios, acerca del uso y manejo de dichas aguas. Esta actividad ha perdurado por años y, en el futuro, se visualiza su creciente aplicación en México.

CONCLUSIONES

Existe contaminación alta por coliformes fecales (en agua, suelo y plantas) y huevos de helmintos en las aguas residuales utilizadas para riego de cultivos en el DR 028 en Tulancingo, Hidalgo. Los valores obtenidos rebasan los límites permisibles de las normas mexicanas, por lo que el riesgo para la salud por la presencia de estos parásitos es evidente. En consecuencia, se sugiere implementar sistemas de tratamiento a las aguas residuales, antes de utilizarlas para el riego de cultivos forrajeros. Se recomienda en investigaciones posteriores, identificar las fuentes puntuales de contaminación de coliformes fecales y de huevos de helmintos en la zona de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, a través del FOMIX Conacyt-Hidalgo y a la Universidad Autónoma Chapingo, por el apoyo otorgado para realizar esta investigación.

REFERENCIAS

American Public Health Association (APHA). (1989). *Standard methods for examination of water and wastewater (17th ed)*. Washington, DC, USA: Autor.

Camargo, C. N. A., & Campuzano, S. (2006). Estudio piloto de detección de parásitos en frutas y hortalizas expeditas en los mercados públicos y privados de la ciudad de Bogotá, D. C. *Nova*, 4(5), 77–81. Obtenido de http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/ARTORIG7_5.pdf

search to identify point sources of fecal coliforms and helminth eggs in the study area.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the National Council for Science and Technology of Mexico, via FOMIX Conacyt-Hidalgo, and to the University of Chapingo, for the support given to perform this research.

End of English Version

- Castro-Espinoza, L., Gortáres-Moroyoqui, P., Mondaca-Fernández, I., Meza-Montenegro, M. M., Balderas-Cortez, J. J., López-Cervantes, J., & Lares-Villa, F. (2009). Patógenos emergentes como restricción para el reúso de las aguas residuales municipales tratadas de Cd. Obregón, Sonora. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 5, 9–21. Obtenido de <http://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Paginas/vol05.aspx>
- Cifuentes, E., Blumenthal, U., Ruiz, G., Bennett, S., Quigley, M., & Peasey, A. (1993). Problemas de salud asociados al riesgo agrícola con agua residual en México. *Salud Pública de México*, 35, 614–619. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10635613>
- Cifuentes, E., & Rodríguez, S. (2005). Urban sprawl, water insecurity, and enteric diseases in children from Mexico City. *EcoHealth*, 2(1), 70–75. doi: 10.1007/s10393-004-0117-3
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2010). *Manual para el manejo de zonas de riego con aguas residuales*. México, D. F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Córdoba A., Ciarmela, Ma. L., Pezzani, B., Gamboa, M. I., De Luca, M. M., Minvielle, M., & Basualdo, J. A. (2002). Presencia de parásitos intestinales en paseos públicos urbanos en La Plata Argentina. *Parasitología Latinoamericana*, 57(1-2), 25–29. doi: 10.4067/S0717-77122002000100007
- Cuenca-Adame, E., Riestra-Díaz, D., Pérez-Mangas, J. M., & Echegaray-Alemán, A. (2001). Uso de aguas residuales y control de organismos patógenos en la producción de cebolla. *Agrociencia*, 35, 255–265. Obtenido de <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/302/30200301.pdf>
- Cuevas, L. O., León, J. F., Jiménez, M. E., & Chaidez, C. Q. (2009). Detección y resistencia a antibióticos de *Escherichia coli* y *Salmonella* en agua y suelo agrícola. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32, 119–126. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61011222006>
- Devera, R., Blanco, Y., González, H., & García, L. (2006). Parásitos intestinales en lechugas comercializadas en mercados populares y supermercados de ciudad Bolívar, estado Bolívar, Venezuela. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 26, 100–107. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=199416676007>
- Entry, J. A., Hubbard, R. K., Thies, J. E., & Fuhrmann, J. J. (2000). The

- influence of vegetation in riparian filterstrips on coliform bacteria: II Survival in soils. *Journal of Environmental Quality*, 29(4), 1215–1224. Obtenido de <https://www.crops.org/publications/jeq/pdfs/29/4/JEQ0290041215>
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2009). *ArcGIS (versión 9.3). Software de procesamiento digital de imágenes satelitales*. Los Ángeles, Estados Unidos: Autor.
- Fasciolo, G., Meca, M. I., Calderón, E., & Rebollo, M. (2005). Contaminación microbiológica en ajos y suelos regados con efluentes domésticos tratados. Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNcuvo*, 37(1), 31–40. Obtenido de http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/1265/fascioloagrarias1-05.pdf
- Filip, Z., Kaddu-Mulindwa, D., & Milde, G. (1988). Survival of some pathogenic and facultative pathogenic bacteria in groundwater. *Water Science and Technology*, 20, 227–231. doi: 10.1007/978-90-481-2344-5_13
- Hernández-Acosta, E. (2011). *Uso de aguas residuales en la agricultura. Estudio de caso; Distrito de riego 028, Tulancingo, Hidalgo, México*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Hernández, J., Espinoza, Y., Malpica, L., & De Jesús, M. (2011). Calidad del agua de riego y parámetros microbiológicos y químicos del suelo de la zona agrícola de Barbaças, estado Aragua. *Revista Facultad Agronomía*, 37(1), 1–10. Obtenido de http://www.revistaagronomiacv.org/ve/revista/articulos/2011_37_1_1.pdf
- Lasso, J., & Ramírez, J. L. (2011). Perspectivas generales del efecto del reúso de aguas residuales para riego en cultivos para la producción de biocombustibles en Colombia. *El Hombre y la Máquina*, 36, 95–105. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/478/47821598009.pdf>
- Méndez, M. A. F., Ricardo, M. P. C., Pérez, P. J., Hernández, G. C., & Campos, O. (2006). Uso de las aguas residuales para el riego de cultivos agrícolas en la agricultura urbana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 15, 17–21. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215304>
- Mora, A. D. (1998). Actualización de los criterios microbiológicos para evaluar la calidad del agua en sus diferentes usos Período 1998 - Costa Rica. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 7(13), 15–24. Obtenido de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14291998000200003
- Oliver, M. A., & Webster, R. (1990). Kriging: A method of interpolation for geographical information systems. *International Journal of Geographic Information*, 4(3), 313–332. doi: 10.1080/02693799008941549
- Paluszak, Z., Ligočka, A., Breza-Boruta, B., & Olszewska, H. (2003). The survival of selected fecal bacteria in peat soil amended with slurry. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 6(2), 1–6. Obtenido de <http://www.ejpau.media.pl>
- Pérez-Cordón, G., Rosales, M. J., Renzo, V. A., Vargas-Vásquez, F., & Córdova, O. (2008). Detección de parásitos intestinales en agua y alimentos de Trujillo, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 25, 144–148. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v25n1/a18v25n1.pdf>
- PROY NMX-AA-042-SCFI-2008. Calidad del agua. Determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva. México: Secretaría de Economía.
- Rivera-Jacinto, M., Rodríguez-Ulloa, C., & López-Orbegoso, J. (2009). Contaminación fecal en hortalizas que se expiden en mercados de la ciudad de Cajamarca, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 26, 45–48.
- Romero, C. R. (2007). *Microbiología y parasitología humana (3a. ed.)*. México, D. F.: Editorial Médica Panamericana.
- Scorza, J. V., & Vilchez, M. (2007). Recuperación de huevos de *Ascaris lumbricoides* del follaje de hortalizas intencionalmente contaminadas. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 47(2), 1–5. Obtenido de http://www.scielo.org/ve/scielo.php?pid=S1690-46482007000200004&script=sci_arttext
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI). (1980). NORMA MEXICANA NMX-AA-003-1980 Aguas residuales-Muestreo. Que establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas, debiéndose observar las modalidades indicadas en las normas de métodos de prueba correspondientes. México, D. F.: Autor.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. **México:** Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2003). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. México, D. F.: Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2007). *Programa de saneamiento de aguas en Hidalgo*. México, D. F.: Autor.
- Sjogren, R. E. (1994). Prolonged survival of an environmental *Escherichia coli* in laboratory soil microcosms. *Water Air & Soil Pollution*, 75(3-4), 389–403. doi: 10.1007/BF00482948
- Solomon, E. B., Yaron, S., & Matthews, K. R. (2002). Transmission of *Escherichia coli* O157:H7 from contaminated manure and irrigation water to lettuce plant tissue and its subsequent internalization. *Applied and Environmental Microbiology*, 68, 397–400. doi: 10.1128/AEM.68.1.397-400.2002
- Toledo, A. (2002). El agua de México y el mundo. *Gaceta Ecológica*, 64, 9–18. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53906402>
- Traviezo-Valles, L., Dávila, J., Rodríguez, R., Perdomo, O., & Pérez, J. J. (2004). Contaminación enteroparasitaria de lechugas expandidas en mercados del estado Lara, Venezuela. *Parasitología Latinoamericana*, 59, 167–170. Obtenido de <http://www.scielo.cl/pdf/parasitol/v59n3-4/art14.pdf>
- Veliz, L., E., Llanes, J. G. O., Fernández, L. A., & Bataller, M. V. (2009). Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. Valoración crítica. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 40(1), 35–44. Obtenido de <http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Saneamiento/Reuso%20de%20efluentes%20en%20riego%20CEPIS.pdf>