

EVALUACIÓN MICROBIOLÓGICA DE AGUAS RESIDUALES PARA RIEGO DE PRINCIPALES PRODUCTOS AGRÍCOLAS DEL ALTIPLANO HIDALGUENSE

Franco-Márquez M. I^{a.}, Fuentes-Jiménez L^{a.}, Mendoza-Saldivar I^{a.}, Romero-López M. R^{a.}

^a Laboratorios del P.E. de Ingeniería en Industrias Alimentarias-Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo, Carretera Apan-Tepeapulco Km 3.5, Col. Las Peñitas, Apan, Hidalgo, México, C.P. 43900.
mromero@itesa.edu.mx

Recibido 04 de noviembre de 2017; aceptado 10 de agosto de 2018

Palabras clave:

Microbiota, calidad, cultivos agrícolas.

RESUMEN. *Un recurso natural imprescindible para la sociedad es el agua, en México son generadas alrededor de 200 m³/s de aguas residuales, de las cuales sólo 36% reciben tratamiento para uso en el riego de cultivos agrícolas. La contaminación microbiológica es responsable de más del 90% de las intoxicaciones y transmisión de enfermedades por alimentos regados con aguas residuales. Los principales microorganismos que se transmiten a través del agua engloban a las bacterias (*Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Shigella* spp, *Vibrio cholerae*, *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter jejuni*), virus (*Enterovirus*, *rotavirus*, *adenovirus*), protozoos (*Giardia lamblia*, *Cryptosporidium parvum*, *Entamoeba histolytica*) y helmintos (*Ascaris lumbricoides*). Por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad microbiológica de aguas negras principalmente empleadas para la irrigación de cebada del Altiplano Hidalguense, basado en métodos estandarizados de acuerdo a normatividad vigente. Se recolectaron muestras líquidas en 5 regiones (Apan, Almoloya, Tepeapulco, Emiliano Zapata y Sahagún) donde fueron consideradas características físicas y químicas del agua. A cada muestra se le realizaron análisis microbiológicos por triplicado como son: técnica del NMP, recuento de mesófilos aerobios, mohos y como indicadores de contaminación de microorganismos que son potencialmente patógenos para el ser humano, en específico cultivos agrícolas en los que se emplee agua residual para el riego. En 4 regiones, los valores obtenidos fueron mayores a los límites estándar permisibles, con referencia a coliformes fecales (1.80-3.05 NMP/mL), una alta presencia de levaduras (93,000 a 200,000 UFC/g) y un conteo de 4×10^3 UFC/g para mohos, por lo tanto la carga microbiana identificada indica que las muestras son mezcladas sin tratamiento previo como alternativa de eliminación o reducción, sumando a esto la mezcla de este tipo de aguas con otros residuos líquidos derivados de la industria; afectando negativamente la calidad de los alimentos de origen vegetal al convertirse en vehículos con un riesgo sanitario a largo plazo.*

Key words:

Microbiota, quality, agricultural crops.

ABSTRACT. *An essential natural resource for society is water, in Mexico around 200 m³/s of wastewater are generated, of which only 36% receive treatment for use in the irrigation of agricultural crops. Microbiological contamination is responsible more than 90% of poisonings and disease transmission from food irrigated with wastewater. The main microorganisms are transmitted through water include bacteria (*Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Shigella* spp, *Vibrio cholerae*, *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter jejuni*), viruses (*Enterovirus*, *rotavirus*, *adenovirus*), protozoa (*Giardia lamblia*, *Cryptosporidium parvum*, *Entamoeba histolytica*) and helminths (*Ascaris lumbricoides*). The objective of this work was to evaluate the microbiological quality of black waters mainly used for the irrigation of barley of the Hidalgo Upland, based on standardized methods according to current regulations. Liquid samples were collected in 5 regions (Apan, Almoloya, Tepeapulco, Emiliano Zapata and Sahagún city) where physical and chemical characteristics of the water were considered. Microbiological analyzes were carried out in triplicate in each sample, such as: NMP technique, aerobic mesophil count, molds and yeast as indicators of contamination of microorganisms that are potentially pathogenic for humans, in specific agricultural crops in which residual water is used for irrigation. In 4 regions, the values obtained were higher than the permissible standard limits, with reference to fecal coliforms (1.80-3.05 NMP/mL), a high presence of yeasts (93,000 to 200,000 CFU/g) and a count of 4×10^3 CFU/g for molds, therefore the identified microbial load indicates that the samples are mixed without prior treatment as an alternative of elimination or reduction, adding to this the mixture of this type of water with other liquid waste derived from the industry; negatively affecting the quality of plant-based foods by becoming vehicles with a long-term health risk.*

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la superficie cultivada en México es de 90 mil hectáreas produciendo principalmente cultivos y forrajes como maíz, alfalfa, frijol, cebada y trigo entre otros. En el Altiplano Hidalguense, se cuenta con 1.5 % de la superficie irrigada ⁽¹⁾. La reutilización aguas residuales provenientes tanto de uso doméstico como industrial, en la agricultura se ha considerado como benéfica en el manejo de cultivos, debido al contenido de nitrógeno y fósforo (sólidos en suspensión, coloidales o disueltos) permitiendo la reducción en los requerimientos en fertilizantes comerciales y la contaminación que generarían. Sin embargo, la generación de importantes volúmenes de aguas residuales, representa una fuente de infección y toxicidad a la salud humana y ambiental ⁽²⁾. El nivel de contaminación de aguas residuales provenientes de zonas industriales y lagunas, debe encontrarse dentro de los niveles permisibles respecto a la normatividad vigente, esto permitirá su aprovechamiento de una forma segura como se práctica para el riego ⁽³⁾. Relativo a la investigación a nivel estatal, solo se han orientado a un municipio en particular, Ixmiquilpan Hidalgo, ubicado en la región del Valle del Mezquital ⁽⁴⁾. Otro estudio reportado por Cifuentes fue evaluado el impacto en la salud pública debido al uso de aguas residuales en la agricultura de los distritos de riego 003 Tula y 100 Alfajayucan, en el estado de Hidalgo. En estas investigaciones se han encontrado inconvenientes del uso de aguas residuales, como la presencia de bacterias coliformes, ¿las cuales provienen de las heces de humanos y animales; además de la existencia de helmintos, cuya procedencia además del uso de agua residual es el empleo de estiércol como fertilizante, la carencia de instalaciones sanitarias adecuadas y la falta de control de animales ⁽⁵⁾.

Por lo tanto el objetivo del presente proyecto fue evaluar la calidad fisicoquímica y microbiológica de las aguas residuales del distrito de riego 028, que riegan el Altiplano Hidalguense.

METODOLOGIA

Se tomó 1 L de diferentes muestras de aguas residuales de 5 regiones de Hidalgo (Apan, Tepeapulco, Almoloya, Cd. Sahagún y Emiliano Zapata), en donde son empleadas para el riego de cultivos agrícolas. La recolección de muestras hídricas se realizó de acuerdo a lo establecido en la NMX-AA-3⁽⁶⁾, cada muestra líquida fue vertida en recipientes estériles de plástico con un volumen de 500 mL (por duplicado), para posteriormente ser conservadas a temperatura de 4°C para su posterior análisis microbiológico en el laboratorio de microbiología del Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo, en el municipio de Apan, obteniéndose un total de 10 muestras de aguas. Se realizaron los análisis con agua peptonada buferada (90 mL), posteriormente se agregaron 10 mL de cada muestra en frascos para medio de cultivo para tener un total de 100 mL para tener una solución madre, partiendo de una transferencia de 0.1, 1 y 10 mL a caldo lauril sulfato de sodio ⁽⁷⁾ para realizar la cuenta del NMP. La prueba presuntiva para la determinación de coliformes totales se realizó con dos series sucesivas de 3 tubos incubados a 37±0.5°C. Para la realización de esta metodología se aplicó como indica la NOM (7). Posteriormente se aplicó una prueba confirmativa en caldo brilla incubando los tubos a 44.5±0.5°C/24 h ⁽⁷⁾. Para calcular el NMP se tomaron en cuenta tablas estadísticas establecidas en la norma ⁽⁸⁾. Para la determinación de Mohos y Levaduras se utilizó PDA acidificando el medio con ácido tartárico a pH 3.5, incubándose en placas invertidas a 25±1°C; realizando por duplicado considerando la dilución 1x10⁻² y 1x10⁻⁴; de acuerdo a lo establecido en norma ⁽⁹⁾.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se encuentran las condiciones y ubicación geográfica de la toma de muestras de aguas residuales en el Altiplano Hidalguense. En la Tabla 2 se muestran los valores obtenidos en muestras de aguas residuales para la determinación de la carga microbiana.

El conteo de coliformes totales (enterobacterias) se encontró entre 0.11 a 3.05 NMP/mL, correspondiendo al mayor valor a la región de Emiliano Zapata (3.05 NMP/mL). Demuestra que se

tiene una mezcla de aguas provenientes de una gasolinera y una empresa de papel semicraf, no obstante, la NOM-001 ⁽¹⁰⁾ especifica que el límite máximo permisible de coliformes fecales en aguas residuales vertidas a suelo (uso agrícola) es de 1 a 2 NMP/mL. Por lo tanto 4 de las regiones se encuentran en los límites que establece esta norma. Para el caso de muestras provenientes de canales de aguas de zonas industriales como la de Cd. Sahagún (1.80 NMP/mL) la cual tiene como punto de descarga el canal del papalote presenta un valor cerca del límite máximo. Sin embargo, en el conteo de levaduras obtenido en el presente estudio fue de 200,000 UFC/g en Apan, Tepeapulco, Almoloya y Cd. Sahagún, mientras tanto para el caso de los mohos no se encuentran reportes, no obstante en el presente trabajo se encontraron valores de 4×10^3 UFC/g; con referencia a los valores obtenidos para este tipo de microorganismos, no se encuentran reportes en literatura, sin embargo, al ser comparados con los límites establecidos para normas en alimentos⁽⁹⁾ éstos se encuentran fuera del límite permisible, una investigación sobre la determinación

de hongos y levaduras en agua residual en Egipto indica una estrecha relación entre la presencia de estos microorganismos y su resistencia a los metales pesados debido a que esta biomasa podría ser empleada como un bioabsorbente de iones metálicos en aguas residuales ⁽¹¹⁾.

La contaminación con coliformes fecales, en aguas residuales utilizadas para riego de cultivos forrajeros como lo reportado en el municipio de Tulancingo, Hidalgo ⁽¹²⁾ puede deberse a que los canales de irrigación que transportan agua de pozo están expuestos al contacto con heces. Así mismo la determinación de *E. coli* y *Salmonella* en agua, es atribuida a la introducción de agua residual, descargas domésticas y excretas de animales. 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 coliformes fecales, sobre todo con los productos de consumo crudo, debido a que estos no se les aplican tratamiento térmico que ayudaría a la eliminación de estos microorganismos ⁽¹³⁾.

Tabla 1. Características fisicoquímicas de aguas residuales de 5 regiones del Altiplano Hidalguense.

Región	Temperatura (°C)	pH	Ubicación latitud Norte	Ubicación Latitud Oeste
Apan	24	7.84	19° 42' 36.5"	98° 27' 55.6"
Tepeapulco	21	7.80	19° 46' 39.6"	98° 34' 22.8"
Almoloya	19	9.29	19° 42' 11.8"	98° 24' 14.7"
Emiliano Zapata	34	7.96	19° 38' 23.3"	98° 31' 51.4"
Cd. Sahagún	23	8.26	19° 44' 16.8"	98° 34' 39.9"

Tabla 2. Analisis microbiológico de aguas residuales de 5 regiones del Altiplano Hidalguense

Región	NMP/mL*	Levaduras (UFC/ g)*	Mesófilos aerobios (UFC/ g)*
Apan	0.11 ± 0.10	$2.00 \times 10^5 \pm 0.01$	$195 \times 10^7 \pm 0.01$
Tepeapulco	0.11 ± 0.09	$2.00 \times 10^5 \pm 0.02$	$230 \times 10^7 \pm 0.02$
Almoloya	0.98 ± 0.06	$2.00 \times 10^5 \pm 0.02$	$263 \times 10^7 \pm 0.03$
Cd. Sahagún	1.80 ± 0.10	$2.00 \times 10^5 \pm 0.03$	$340 \times 10^7 \pm 0.03$
Emiliano Zapata	3.05 ± 0.05	$9.30 \times 10^4 \pm 0.06$	$1000 \times 10^7 \pm 0.03$

*Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar

En una investigación realizada en Tulancingo, Hidalgo ⁽¹²⁾ en los cultivos de cilantro (*Coriandrum sativum* L.), tomate verde (*Physalis ixocarpa* Brot.), calabacita (*Cucurbita pepo* L.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.) al ser irrigados con aguas residuales se reportaron concentraciones de coliformes fecales en éstas, siendo una muestra del riesgo para la salud de los productores además de los consumidores de estos vegetales ⁽¹⁴⁾. No obstante, describe que la contaminación del agua subterránea por nitratos, producto de la fertilización excesiva o de la inadecuada disposición de las aguas residuales, tanto industriales como domésticas; constituyen un problema de actualidad, no sólo en los países en vías de desarrollo, sino también en los que se encuentran en vías de desarrollo ⁽¹⁵⁾. Los resultados obtenidos en las pruebas microbiológicas de muestras acuosas del Altiplano Hidalguense, indican que están fuera de los límites permisibles de acuerdo a las normas mexicanas vigentes, debido a que generalmente no se utiliza un tratamiento previo de aguas para verterlos hacia el alcantarillado público. La NOM ⁽⁹⁾ indica que si el valor de pH en aguas está entre 5 a 10; es causa de riesgos a la salud, además de promover el crecimiento de parásitos; siendo necesaria la neutralización antes de su vertido al sistema de alcantarillado, para las aguas residuales fuertemente ácidas o básicas, generadas durante procesos industriales químicos, ácidos, bases, tintes, explosivos, insecticidas, fungicidas, productos farmacéuticos, resinas de silicona, materiales de construcción entre otros ⁽¹⁵⁾.

CONCLUSIONES

Se determinaron características físicas como pH y temperatura que demuestran el inadecuado tratamiento de las muestras aguas residuales de diferentes regiones de la Altiplanicie Hidalguense antes de ser desechadas, mientras que en la calidad microbiológica se obtuvieron valores se encuentran por encima de los límites permisibles establecidos por las normas mexicanas. Por lo que no cuentan con una calidad que asegure la inocuidad de los cultivos agrícolas que sean irrigados con este tipo de aguas.

AGRADECIMIENTOS Y/O RECONOCIMIENTOS:

Se agradece a la convocatoria “Apoyo a la Investigación Científica, Aplicada, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2016 en los Programas Educativos de los Institutos Tecnológicos Descentralizados” por el financiamiento otorgado para el desarrollo de este proyecto, así como, al Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo para la realización de las pruebas.

REFERENCIAS

1. Cajuste, L. J., Vázquez, A.A., Siebe, G.Ch., Alcántar, G.G. & Isla de Bauer, M. (2001) Cadmio, Níquel y Plomo en agua residual, suelo y cultivos en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Agrociencia*, 35 (3), 267-274.
2. Jiménez, C. B. (2001). Análisis químicos de suelos. 3ra ed. España: Editorial Omega.
3. Córdoba A., Ciarmela Ma. L., Pezzani B., Gamboa M., De luca M., Minvielle M. & Basualdo, J. (2002). Presencia de parásitos intestinales en paseos públicos urbanos en la plata argentina. *Parasitología latinoamericana*, 57, 25–29. Doi: 10.4067/s0717-77122002000100007.
4. Velázquez, M. A. (2001). Las variaciones de los procesos de adsorción de sodio en función de los diferentes valores de la relación de adsorción de sodio en las aguas residuales de la red hidrográfica de Zumpango Ixmiquilpan, Valle del Mezquital, Hidalgo. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo Texcoco, Estado de México.
5. 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.
6. NMX-AA-3. (1980) Método de Muestreo de Aguas Residuales. Norma Oficial Mexicana. Dirección General de Normas. Recuperado de: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa003.pdf>.
7. NOM-112-SSA1. (1994). Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable. Dirección General de Normas. Recuperado de: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4728925&fecha=15/08/1994.
8. NMX-F-187. (1978). Determinación del número más probable (Técnica del NMP). Normas mexicanas. Dirección general de normas. Dirección General de Normas. Recuperado de: <http://www.colpos.mx/bancodennormas/nmexicanas/nmx-f-187-1978.pdf>.
9. NOM-111-SSA1. (1994). Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. Norma Oficial Mexicana. Dirección General de Normas. Recuperado de: <http://www.cofepris.gob.mx/MJ/Documents/Normas/111ssa1.pdf>.
10. NOM-001-SEMARNAT. (1996). Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas

de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Dirección General de Normas. Recuperado de: <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3290/1/nom-001-semarnat-1996.pdf>.

11. El-Morsy, E. M. (2004). Cunninghamella echinulata a new biosorbent of metal ions from polluted water in Egypt. *Mycologia*, 96(6), 1183- 1189.

12. Hernández E., Quiñones E., Cristóbal D. & Rubiños J. (2014). Calidad biológica de aguas residuales utilizadas para riego de cultivos forrajeros en Tulancingo, Hidalgo, México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 20, 89-92. Obtenido de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v20n1/v20n1a9.pdf>.

13. 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.

14. 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.

15. Larios, O. L. (2009). Contaminación del agua por nitratos: significación sanitaria. *Archivo Médico de Camagüey*, 13, 1-10.