



MÉTODOS DE RIEGO Y PRÁCTICAS DE MANEJO DEL CULTIVO PARA EL USO DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN LA AGRICULTURA EN MÉXICO

**Juan Manuel Angeles Hernández^{1*}; Waldo Ojeda Bustamante¹; Olga Xóchitl
Cisneros Estrada¹**

¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Coordinación de Riego y Drenaje. Paseo
Cuauhnáhuac 8532. Col. Progreso. Jiutepec, Morelos. México. C.P. 62550.

jangeles@tlaloc.imta.mx - (*Autor de correspondencia)

Resumen

El crecimiento demográfico y la urbanización han generado un volumen mayor de aguas residuales, que se podría considerar como una nueva fuente de agua. Desde la antigüedad, esta fuente de agua, siempre ha sido importante para la producción agrícola, se utilizaba sobre todo para incrementar la fertilidad de la tierra; hoy en día, la principal motivación es la escasez de agua.

Se realiza una revisión de la calidad del agua residual para uso agrícola, de sus riesgos y beneficios, así como los métodos de riego y prácticas de cultivos recomendados para minimizar los problemas de contaminación a trabajadores y al producto de la cosecha para reducir problemas de infección al consumidor final. Para el uso del agua residual en la agricultura lo recomendable es utilizar métodos de riego por goteo, dado que permite reducir al mínimo el contacto directo entre el agua con el trabajador, y del agua con el fruto o producto de la cosecha. En los métodos de riego por gravedad se debe considerar reducir al mínimo la percolación profunda y de hecho eliminar el escurrimiento superficial para evitar la contaminación de cuerpos de agua; mediante la tecnificación del riego parcelario que considere la utilización de terrenos nivelados, longitudes de riego menores a las que se usan con aguas de primer uso, trazos y caudales de riego apropiados para el tipo de suelo de la parcela, y un excelente control de la aplicación del riego por parte del regador. Como buenas prácticas de manejo del cultivo se debe de considerar el uso de acolchados plásticos, del manejo del entutorado o envarado en cultivos que así lo requieran como el jitomate, pepino, chile, y tomate de cáscara entre otros. Así como también el riego de surcos alternos, que permite mantener un surco seco y reducir el contacto del agua con el cultivo y con el trabajador.

Palabras clave: agua para reúso agrícola, riego por gravedad, riego por goteo.



Introducción

La generación de aguas residuales es un proceso ligado al crecimiento poblacional y al desarrollo de las actividades económicas, que en su mayoría desechan agua debido a sus procesos productivos. Estas aguas al ser colectadas mediante un sistema de alcantarillado y conducidas a plantas de tratamiento, se puede mejorar su calidad y posibilitar su reúso. Se estima que más del 80 % de las aguas residuales generadas se vierte al medio ambiente sin tratamiento alguno (UNESCO, 2017), las cuales poseen una composición variada dependiendo de la actividad y uso que les dio origen y por lo tanto las concentraciones de contaminantes presentes también varían. Sin embargo, de manera general se puede decir que las aguas residuales contienen materia orgánica, organismos patógenos, grasas y aceites, nutrientes, contaminantes tóxicos orgánicos e inorgánicos y minerales disueltos. En promedio el agua residual cruda contiene alrededor de 1 000 mg / L de sólidos en solución y suspensión, lo que equivale a decir que es agua en un 99.9 %. Por lo anterior, con su respectivo proceso de tratamiento, el uso de las aguas residuales en la agricultura constituyen una valiosa fuente tanto de agua como de nutrientes y su uso contribuye a la seguridad alimentaria y a mejorar los medios de subsistencia.

De acuerdo con la FAO, la superficie irrigada a nivel mundial es de 275 millones de hectáreas (AQUASTAT, 2014). Con los aproximadamente 330 km³ de aguas residuales municipales que se generan cada año se podrían regar adicionalmente 40 millones de hectáreas, considerando un volumen promedio de 8,000 m³ por hectárea, (Mateo-Sagasta *et al.*, 2015) o el 15% de todas las tierras irrigadas. En la actualidad, más de 20 millones de hectáreas de tierra se riegan con aguas residuales (Hiroshan, 2017), con el beneficio que representa al aportar diversos nutrientes para los cultivos. Sin embargo, el uso de aguas residuales no tratadas o parcialmente tratadas para el riego conlleva riesgos tanto para la salud de los agricultores, de las personas que trabajan en toda la cadena alimentaria y de los consumidores, debido a la posible contaminación microbiana y química, como también algunos riesgos ambientales que incluyen la contaminación de los suelos y las aguas subterráneas, así como la degradación de las fuentes de agua superficial.

La agricultura se puede beneficiar de la reutilización del agua de varias maneras: las aguas residuales (tratadas o no) suponen una fuente de agua muy estable todo el año y es una de las opciones que tienen los agricultores para mejorar su seguridad del agua en el largo plazo y minimizar la exposición a riesgos hídricos estacionales, además, las aguas residuales pueden sustituir a la extracción de aguas subterráneas, teniendo significativos ahorros en los costos de bombeo. Asimismo su alto contenido en nutrientes esenciales (nitrógeno y fósforo) y la disponibilidad de micronutrientes; contribuye a aumentar el rendimiento de los cultivos. El agua residual no nada más adiciona nutrientes a los suelos, sino que también enriquece el contenido húmico mediante la adición de materia orgánica la cual permite un aumento en la retención de la humedad del suelo, retiene los



metales (a través del intercambio catiónico y de la formación de compuestos organometálicos) y aumenta la actividad microbiana (World Health Organization, 2006).

Objetivos

Revisar los métodos de riego más adecuados para aplicar el agua residual en función del tipo de cultivos y de la calidad del agua de riego.

Revisar las buenas prácticas existentes para minimizar los riesgos de contaminación por el uso de las aguas residuales en los cultivos y consumidores.

Metodología

Calidad del agua para riego

Las aguas residuales son aguas de composición variada, debido a que las descargas son provenientes de usos domésticos, municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuario y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas. El aprovechamiento de las aguas residuales con fines de reúso en agricultura requiere poner especial atención a la calidad tanto desde el punto de vista agronómico (lo que involucra la calidad fisicoquímica del agua), como desde el punto de vista bacteriológico. El elemento clave en el manejo del agua será determinar su calidad considerando su origen, y luego verificar mediante muestreos si cumple los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos que marca la normatividad vigente en México (NOM-001-SEMARNAT-1996), o los límites de contaminantes que establece la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el reúso (IMTA, 2016).

Los parámetros agronómicos más importantes a considerar en la determinación de la calidad del agua residual para riego son conductividad eléctrica; cationes: sodio, calcio, magnesio y potasio; aniones: carbonato, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y nitrato. Con estos parámetros se debe tener presente que una mala calidad del agua de riego puede afectar las características físicas de los suelos y los puede degradar por la acumulación de sales. Para el caso de presencia de metales pesados y cianuros, La NOM-001-SEMARNAT-1996, considera que por encima de determinados límites éstos puedan producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna; considerando los metales pesados más relevantes por sus efectos sobre la salud humana al arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc.

El parámetro bacteriológico más importante a considerar en la calidad del agua residual con fines de reúso en riego de cultivos agrícolas es la presencia de patógenos como coliformes fecales y huevos de helmintos, que son los indicadores internacionales que se utilizan para establecer la contaminación del agua por bacterias y parásitos, causantes de enfermedades de tipo gastrointestinal en humanos. La presencia de parásitos o patógenos en el agua de



riego afecta la calidad sanitaria de los cultivos irrigados e incrementarán el riesgo de contraer enfermedades en los consumidores de estos productos o entre los trabajadores agrícolas que entren en contacto directo con el agua y con los cultivos durante la aplicación del riego.

De acuerdo a La NOM-001-SEMARNAT-1996, para determinar la contaminación por patógenos se toma como indicador a los coliformes fecales, el límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 como número más probable de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario respectivamente. Para determinar la contaminación por parásitos se toma como indicador los huevos de helminto, el límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego no restringido, y de cinco huevos por litro para riego restringido. Definiendo como riego no restringido a la utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas en forma ilimitada como forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras; y riego restringido a la utilización de agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, excepto legumbres y verduras que se consumen crudas.

Riesgos

Ante la creciente demanda de alimentos y la cada vez mayor escasez del agua de primer uso, resulta inevitable el incremento del uso de las aguas residuales para la producción agrícola. Sin embargo, se requiere una gestión inteligente de los riesgos sanitarios a través de un tratamiento adecuado o un uso apropiado.

Debido a la posible contaminación microbiana y química, la utilización de aguas residuales representa un riesgo para la salud de los agricultores, las personas que trabajan en toda la cadena alimentaria y los consumidores. Por otro lado, también representa un riesgo su utilización por la contaminación (salinización) y deterioro (posible pérdida de permeabilidad) del suelo.

Dentro de los riesgos para la salud al utilizar aguas residuales en la producción agrícola, implica desde el personal encargado de la aplicación del riego, manejo del cultivo, la cosecha, distribución del producto y el consumidor final: para trabajadores agrícolas que no usan ninguna prenda de protección (botas de plástico y guantes), que realizan el riego con métodos de gravedad sobre todo los cultivos que se inundan como el arroz; el riesgo de contaminación en cultivos de frutas y hortalizas por un lado durante el manejo del cultivo y por el otro cuando se realiza la cosecha y no se realiza ninguna práctica que evite el contacto del agua con el producto; incluso en el caso de la cosecha de forrajes como la alfalfa y ésta se acarrea recién cortada y de manera manual; el riesgo para la salud aún mayor para consumidores que no lavan y no desinfectan los productos y que además los ingieren crudos.



En la parte del riesgo de deterioro del suelo, un factor es la disminución de la capacidad de infiltración del agua y la disminución de la capacidad de circulación del aire en el suelo, ocasionado por los altos contenidos de sodio, grasas, aceite y sólidos disueltos; por lo que el reúso de aguas residuales en la agricultura se recomienda en suelos con buena permeabilidad y sin problemas de drenaje.

Resultados

Beneficios

La reutilización del agua para riego agrícola se torna viable y atractiva desde el punto de vista económico cuando permite la recuperación de los costos que implica su tratamiento, esto se logra al tratar las aguas residuales hasta un nivel de calidad aceptable para los usuarios o más bien «adecuada a los fines» es decir, que las exigencias en materia de la intensidad del tratamiento serán determinadas por la calidad de agua necesaria para ese fin en particular, en este caso para el cultivo a producir.

En cuanto a los rendimientos de los cultivos, el riego con aguas residuales, por ejemplo en los DR-003 Tula, DR-100 Alfajayucan y DR-112 Ajacuba; los principales cultivos son alfalfa y maíz, pero también se producen avena forrajera, colza, centeno y algunos vegetales, como calabacín, coliflor y chiles, en donde la producción promedio de maíz de 10 t/ha está por encima de la media nacional, que se obtiene con la agricultura de secano de 2 t/ha y en aquella donde se utiliza agua de pozo para riego de 8.6 t/ha (Hiroshan, 2017).

Por otro lado, la reutilización del agua facilita la implantación de sistemas productivos periurbanos, más cerca de los núcleos de consumo, con lo que los costos de transporte de alimentos también disminuyen. Todo esto se puede traducir en mayores rendimientos, más cultivos por año y, en definitiva, mayores ingresos para los agricultores. Además la agricultura hace un efecto de filtro verde, que a través del suelo se facilita la absorción de nutrientes por las plantas, que si se vierten descontroladamente a las masas de agua, pueden provocar serios problemas de eutrofización de masas de agua superficiales y contaminación de acuíferos (por ejemplo, por exceso de nitratos). Así, el uso de aguas residuales en la agricultura puede liberar el agua dulce para usos medioambientales y de turismo, por ejemplo para recarga de acuíferos o para aumentar el caudal ecológico en los ríos.

Agricultura con aguas residuales en México

El crecimiento demográfico y la urbanización han generado un volumen mayor de aguas residuales, que se podría considerar como una nueva fuente de agua. Esta fuente de agua, siempre ha sido importante para la producción agrícola, en la antigüedad, se utilizaba sobre todo para incrementar la fertilidad de la tierra; hoy



en día, la principal motivación de la reutilización de las aguas residuales es la escasez de agua.

En México se produce una cantidad de agua potable de 348.1 m³/s y de ésta se generan 229.1 m³/s de agua residual, colectándose 212.2 m³/s, con una capacidad instalada de las plantas de tratamiento de aguas residuales de 178 m³/s, sin embargo, el caudal tratado es de 120.9 m³/s; en un total de más de 2,287 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación (Conagua, 2016).

De acuerdo a (IMTA, 2016) en tan sólo 14 de los 86 distritos de riego de México (D.R. 001 Pabellón, Aguascalientes.; D.R.003 Tula, Hidalgo.; D.R. 009 Valle de Juárez, Chihuahua; D.R. 016 Morelos; D.R. 020 Morelia-Queréndaro, Michoacán; D.R. 025 Bajo Río Bravo, Tamaulipas; D.R. 030 Valsequillo, Puebla; D.R. 031 Las Lajas, Nuevo León; D.R. 052 Durango; D.R. 066 Santo Domingo, Baja California Sur; D.R. 085 La Begoña, Guanajuato.; D.R. 088 Chiconautla, Edo, de México; D.R. 100 Alfajayucan, Hidalgo.; y D.R. 112 Ajacuba, Hidalgo) que suman una superficie física dominada de 530,772 ha, la superficie regada con aguas residuales es de 178,952 ha, para cultivos de avena, cebada forrajera, sorgo, trigo, maíz, alfalfa, pastos, nogal, naranja, garbanzo, arroz, frijol, espárrago, calabacita, chile, zanahoria, jícama y cebolla, principalmente. En muchas unidades de riego se aprovechan las aguas residuales mezcladas con agua de pozos, y se estima que la superficie regada en ellas asciende a 166,131 ha, por lo que se considera que en el año 2016 la superficie total de riego con reúso de aguas residuales con fines agrícolas en México es de alrededor de 345,083 ha (IMTA, 2016).

El reúso de aguas residuales en la agricultura, deberá ir acompañado de prácticas muy específicas de manejo del suelo, del cultivo, y sobre todo del método o sistema de riego con el fin de evitar el contacto entre el agua con el trabajador, y del agua con el fruto o producto de la cosecha, principalmente.

Métodos de riego

En el riego por gravedad, al realizar el aporte de agua en la cabecera de la parcela, para que el agua escurra a través de un cauce o canal inclinado, como una melga o un surco, en la dirección de la pendiente para proporcionar agua, a través del proceso de infiltración, a las raíces de las plantas para su desarrollo; debido a este proceso de abastecer del agua a las plantas, se tiene un alto potencial de contacto del agua con el follaje del cultivo, y en algunos cultivos con el propio fruto; aunado de que puedan presentarse pequeñas o grandes áreas de la parcela con encharcamiento debido al relieve topográfico de la parcela. Por lo tanto, es muy importante, con la finalidad de reducir al mínimo la contaminación por contacto directo, el realizar un riego tecnificado, es decir, alta uniformidad (sin encharcamiento) y alta eficiencia de aplicación del riego (sin escurrimiento fuera de la parcela y sin percolación profunda), e incluso es recomendable manejar surcos o melgas cerradas para reducir riesgos de contaminación a otras fuentes de agua. Para lo cual es importante que el reúso de las aguas residuales en la agricultura considere la utilización de terrenos nivelados topográficamente, longitudes de riego menores a las que se usan con aguas de primer uso, trazos y



caudales de riego apropiados para el tipo de suelo de la parcela, y un excelente control de la aplicación del riego por parte del regador.

Con el método de riego por aspersión al aplicarse el agua en forma de lluvia, el reúso de agua residual está muy restringido a la parte agrícola debido al contacto directo del agua con el follaje del cultivo. Su uso únicamente se permite a aquellos cultivos destinados a la agroindustria como pueden ser granos, cereales u oleaginosas que necesitan ser procesados antes de su consumo, o cultivos industriales como la caña de azúcar.

En relación al método de riego por goteo en donde la entrega del agua se realiza, mediante una red de conductos cerrados, directamente al pie del cultivo, de ahí también el otro nombre que reciben de sistemas de riego localizados; permite de alguna manera un mayor potencial para reusar el agua residual en la agricultura. Mediante este sistema de riego y con las medidas de protección necesarias como el uso de acolchados plásticos que nulifiquen el contacto agua de riego - cultivo, las aguas residuales puede ser utilizadas en cultivos que sean para consumo humano en crudo, como uvas, tomates, chiles, u otros de porte medio y bajo, así como en huertas de frutales. Dentro de las principales desventajas de usar este método de riego cuando se reúsan aguas residuales son una elevada inversión inicial, pues se deberá considerar adicionalmente infraestructura que permita regular y garantizar un volumen de agua constante y que también permita la sedimentación previa de los sólidos en suspensión que aún contenga el agua, así como considerar un sistema de filtrado muy eficiente, de manera que evite la obstrucción o taponamiento de las líneas de riego y de los goteros.



Fotos 1 y 2. Cultivos de chile pimiento y jitomate regados aguas residuales tratadas, con sistema de riego por goteo, y con la práctica de entutorado, en invernadero del IMTA.

El riego por goteo subterráneo, es muy importante su implementación con aguas residuales, ya que eliminaría totalmente el riesgo de contacto del agua con el follaje del cultivo, como es el caso del cultivo de alfalfa; lo cual implica un diseño adecuado del sistema de riego para que el agua aplicada no emerja a la superficie.

Buenas prácticas de manejo del cultivo

Con la finalidad de evitar o reducir al máximo el contacto entre el agua residual de riego y el cultivo (y fruto) se recomiendan ciertas medidas de manejo del cultivo como utilizar, en el caso de riego por gravedad, surcos con lomos altos para tener las hileras del cultivo en la parte más elevada. En los métodos de riego por goteo es muy importante la utilización de los acolchados con películas plásticas de polietileno de baja densidad que además de conservar la humedad del suelo y de evitar el crecimiento de malezas, entre otras muchas ventajas, ayudan a evitar o reducir el contacto del follaje y del fruto con el agua residual. Otra práctica común en riego por gravedad con aguas residuales es el riego en surco alterno, básicamente para utilizar el suelo como un medio filtrante de los contaminantes presentes en el agua residual, y además para aprovechar más eficientemente el agua de riego, con esto se logra incluso reducir el contacto del trabajador con el agua de riego al poder transitar por el surco seco



Foto 3. Cultivo con acolchado y entutorado **Foto 4.** Cultivo de maíz, irrigado con surco alterno.

Otra práctica que se debe fortalecer de manera intensa es el empleo del sistema de entutorado o envarado del cultivo el cual consiste en guiar verticalmente a través de un amarre el tallo principal de la planta con ayuda de un “tutor”, que guíe el desarrollo vegetativo, sirviendo como sostén y evitando que tanto la planta como el fruto entre en contacto con el agua de riego o con el suelo. En cultivos a cielo abierto (foto 3), se utiliza una vara o estaca, unidas según el tipo de estructura con hilo o cuerda, y en el caso de los invernaderos la estructura más utilizada es una la cuerda (rafia) que amarra y enreda a la planta y se fija la cuerda a un cable. Si esta práctica de entutorado se complementa con el acolchado y con la aplicación del agua con un método de riego por goteo, se garantiza que no exista el contacto del cultivo y/o fruto con el agua residual tratada y se eviten los posibles problemas de contaminación por parásitos o patógenos.



Conclusiones

Ante una demanda en constante crecimiento, las aguas residuales están cobrando impulso como una fuente alternativa y confiable de agua. Se aprecia un cambio de paradigma en la gestión de Agua Residual, la cual pasa de un *tratamiento y eliminación* a contemplar la *reutilización, reciclado y recuperación de recursos*. En este sentido, las aguas residuales ya no se deben considerar un problema que necesita solución, sino que son parte de la solución ante la escasez de agua.

La reutilización del agua para riego agrícola se torna viable y atractiva desde el punto de vista económico cuando permite la recuperación de los costos que implica su tratamiento, limpiando las aguas residuales hasta un nivel de calidad aceptable para los usuarios o más bien «adecuada a los fines», es decir, que las exigencias en materia de la intensidad del tratamiento serán determinadas por la calidad de agua necesaria para el tipo de cultivo a producir.

Gestionar el uso de sistemas de riego parcelarios eficientes, que reduzcan la contaminación del suelo y cuerpos de agua, debido a la percolación profunda y escurrimientos superficiales por el uso de aguas residuales en el riego.

Fomentar y extender la capacitación sobre el manejo eficiente del riego parcelario a productores agrícolas que utilizan aguas residuales. Sobre todo incluir a productores de las zonas urbanas y periurbanas, donde hay una gran disponibilidad de aguas residuales, y una mayor demanda de productos agrícolas.

Referencias Bibliográficas

AQUASTAT, (2014). Area Equipped for Irrigation. Infographic. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. www.fao.org/nr/water/aquastat/infographics/Irrigation_eng.pdf.

Castanedo G. Leonid V. y Saucedo R. Heber (2013). Uso de aguas residuales en la agricultura. Congreso Nacional de Irrigación (ANEI). Puerto Vallarta, Jalisco. México.

Diosey R. Lugo-M. (2009). El uso de aguas residuales en la agricultura en México. Revista: Ambiente y Desarrollo, Vol. XIII. No. 24. Enero-junio (2009). Bogotá, Colombia.

FAO, (2013). Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos? Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia.



- Hernández-Acosta, E. (2011). Uso de aguas residuales en la agricultura. Estudio de caso; Distrito de riego 028, Tulancingo, Hidalgo, México. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Hiroshan Hettiarachchi, Reza Ardekanian (2017). Uso seguro de aguas residuales en la agricultura. Ejemplos de buenas prácticas. Universidad de las Naciones Unidas. Instituto para la Gestión Integral de Flujos de Materiales y Recursos. Dresden, Germany.
- IMTA. (2016). Reúso de aguas residuales en la agricultura. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Coordinación de Riego y Drenaje. Jiutepec, Morelos. México.
- Mateo-Sagasta, J.; Raschid-Sally, L. y Thebo, A. (2015). Global wastewater and sludge production, treatment and use. P. Drechsel, M. Qadir y D. Wichelns, Wastewater: Economic Asset in Urbanizing World. Springer Netherlands.
- Pulido M. Leonardo, Castanedo G. Vladimir. y Saucedo R Heber. (2016). Impacto del riego con agua residual en suelo cultivado con caña de azúcar, y en agua superficial y subterránea. Revista científica, biológico agropecuaria Tuxpan. Universidad Veracruzana. México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (1996). 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.
- UNESCO, (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. Paris, Francia.
- Vásquez S. David, Gavi R. Francisco y Mejía S. Enrique. (2011). Uso potencial del agua residual de los ingenios azucareros del Centro de Veracruz. XVI Congreso Nacional de irrigación, Culiacán, Sinaloa, México, del 6-9 de septiembre de 2011.
- World Health Organization. (2006). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2. Wastewater use in agriculture. United Nations Environmen.