



## **REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES EN HUMEDAL ARTIFICIAL DENTRO DE INVERNADERO EN IZTAPALAPA, CIUDAD DE MÉXICO**

**Michel Ozalde Alday<sup>1</sup>; Eliseo Cantellano de Rosas<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. Batalla 5 de mayo, Iztapalapa, Ciudad de México. cantellano@unam.mx. (\*Autor para correspondencia).

### **Resumen**

La escasez y contaminación del agua, así como su uso ineficiente en el sector agrícola, demanda del desarrollo de alternativas para una adecuada reutilización de las aguas residuales, particularmente de aguas grises. En el presente estudio se realizaron las adecuaciones en una vivienda ubicada en Iztapalapa, Ciudad de México. El sistema recolecta el agua gris hacia un filtro de arenas y gravas, seguido de un humedal de flujo subsuperficial horizontal con *Anthurium andreanum* y *Zantedechia aethiopica*, bajo un invernadero como medio de estabilización climática, así como el cultivo de *Cucurbita pepo*, *Lactuca sativa* y *Lycopersicon esculentum*. Se determinó la calidad del agua con indicadores físicos, químicos y biológicos de acuerdo a las técnicas estandarizadas en las Normas Oficiales Mexicanas y el Manual HACH, así como también el análisis de carbonatos, bicarbonatos y cloruros, presentes en el sustrato que recibe el agua del efluente, de acuerdo con la norma NOM-021-SEMARNAT-2000. El sistema de tratamiento demostró tener mayor éxito de remoción de los compuestos nitrogenados como nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) con el 63% y 47%, respectivamente. En general, el efluente cumple con la NOM-003-SEMARNAT-1997 por lo que el sistema representa una alternativa para reutilización en contacto directo, en pequeños núcleos urbanos y la obtención de plantas ornamentales y hortalizas para autoconsumo.

**Palabras clave adicionales:** Aguas grises, tratamiento, humedales artificiales.



## Introducción

En la cuenca del Valle de México se asienta la zona urbana más grande del país donde la Ciudad México emplea  $72.5 \text{ m}^3/\text{s}$  de agua con un promedio de suministro de  $300 \text{ L}/\text{hab.d}$ , pero una dotación real de  $146 \text{ L}/\text{hab.d}$ , debido a fugas y otros consumos (Jiménez *et al.*, 2004). La delegación Iztapalapa, con casi dos millones de habitantes, es la de mayor densidad en la Ciudad de México ( $16 \text{ habitantes}/\text{m}^2$ ) donde la demanda del recurso hídrico es muy alta y el servicio es deficiente. Tiene un suministro de agua subterránea proveniente de 78 pozos que aportan  $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$ , más tres tanques que abastecen  $3.1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Este suministro es insuficiente pues se requiere auxilio mediante pipas de agua potable (en promedio  $3,400 \text{ m}^3/\text{d}$ ), en el 38 % del área de la delegación. Situación que se complica por carencias en la conexión a drenaje, además de que la superficie predominante es urbanizada y las áreas verdes representan apenas el 7.3% (Aguirre, 2014).

Entre el 70 y el 75% del agua que se suministra a la Cuenca proviene de sus acuíferos, los cuales se están afectando en su nivel y en su calidad, debido a la sobreexplotación y por diversas fuentes contaminantes como la industria, los combustibles, la zona urbanizada y las aguas residuales. En la zona se generan en promedio anual  $45 \text{ m}^3/\text{s}$  de aguas residuales y en la Ciudad de México se cuenta con 71 plantas de tratamiento con una capacidad nominal de  $5,855 \text{ L}/\text{s}$ , pero solo es efectiva con  $3,939 \text{ L}/\text{s}$ . En la Delegación Iztapalapa se localiza una planta de tratamiento con capacidad de hasta  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  sin embargo el agua tratada se conduce hacia la zona de Xochimilco (Aguirre, 2014). El desperdicio, la falta de pago por el servicio, la contaminación del recurso, la deficiente administración y la casi nula preocupación por su reutilización han mermado la disponibilidad de agua y la calidad de vida de los habitantes (Jiménez *et al.*, 2004).

Ante esta problemática, se están aplicando diversas acciones como son el mejoramiento de la infraestructura de suministro y tratamiento, pozos de infiltración y la captación de agua de lluvia. La reutilización se presenta en diversos sectores, destacando su uso en la industria (Aguirre y Espinoza, 2012). Durante décadas el agua residual de la zona metropolitana de la Ciudad de México ha sido empleada para riego agrícola incrementado la productividad del Valle del Mezquital pero conllevando serios riesgos sanitarios.

La reutilización de aguas grises representa una opción de aprovechamiento que implica el uso de tecnología más accesible que la empleada para el tratamiento de aguas residuales municipales, particularmente cuando se realiza a pequeña escala. Esto se debe a que, al evitar la mezcla con desechos fecales, las aguas grises representan menos problemas para su reutilización. La composición de estas aguas depende de las fuentes y las instalaciones desde donde se extraen, por ejemplo, cocina, baño o lavandería. Los compuestos químicos que presentan proceden de productos para el hogar, cocinar, lavar y la tubería. En general, las aguas grises contienen niveles más bajos de materia orgánica y nutrientes en comparación con las aguas residuales ordinarias, ya que la orina, las heces y el



papel de aseo no están incluidos. Un hábito común en países europeos como Alemania, es utilizar las descargas de aguas grises como fluido primario para limpieza del inodoro (Eriksson *et al.*, 2002). Dentro de la agricultura las aguas residuales en general juegan un papel de suma importancia, no obstante, se ha comprobado que se requiere de un previo tratamiento para evitar la contaminación del suelo que se utiliza para el cultivo, principalmente la salinización, Aun así, las aguas grises tratadas se han convertido en una frecuente alternativa para el riego de vegetales (Paulo *et al.*, 2009).

Los sistemas de tratamiento de aguas grises son variados e incluyen desde sistemas sofisticados de membranas o reactores anaeróbicos de flujo ascendente hasta filtros de grava y arena. Los biofiltros, humedales artificiales y los sistemas de infiltración en suelos, o sus combinaciones, son sistemas sencillos y económicos que se emplean para tratar aguas grises (Paulo *et al.*, 2009; Mourad *et al.*, 2011).

Si bien existen algunos lineamientos o políticas urbanas para avanzar en una arquitectura urbana sostenible, todavía son pocos los casos en donde se integran los procesos de tratamiento y reutilización de aguas grises. Por ello, en este trabajo se valora el establecimiento de un invernadero para el tratamiento y reutilización de aguas grises en una zona urbana de alta densidad, que incorpora un filtro de arenas, un humedal y la reutilización en el cultivo de plantas ornamentales y hortalizas.

## **Materiales y métodos**

El trabajo se desarrolló en la unidad habitacional “Ex Lienzo charro”, colonia Álvaro Obregón, delegación Iztapalapa. En el área comunitaria se construyó un invernadero rústico basado en el manual de SAGARPA (2014). El agua proveniente de un departamento habitado por tres personas con un consumo promedio de 400 litros por día, correspondiente a lavabos, fregaderos, lavaderos, regaderas y lavadoras, se canalizó hacia un invernadero con una superficie de 8 m<sup>2</sup> donde se estableció un filtro de arenas y un humedal artificial. Posteriormente, se emplearon diferentes tipos de materiales reciclables y reutilizables para la construcción de semilleros y macetas, que posteriormente fueron rellenas con diferentes tipos de sustrato para el cultivo de hortalizas.

Se realizó un muestreo mensual durante el periodo de enero a junio del 2015 tanto del influente como del efluente del sistema de filtración y humedal construido; se determinaron *in situ* temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto con un equipo dsensores multiparámetro YSI profesional y OAKTON. En el laboratorio se determinaron dureza, alcalinidad, cloro total y libre, nitrógeno amoniacal, nitratos, nitritos y fosfatos, mediante métodos colorimétricos con espectrofotómetro HACH DR/890. También, en el suelo fueron analizados carbonatos, bicarbonatos, cloruros, así como pH y temperatura. Se evaluó la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) siguiendo el método de la norma NMX-AA-028-SCFI-2001, mientras que demanda química de oxígeno (DQO) se utilizó la norma NMX-AA-



030-SCFI-2001. Adicionalmente, se llevó un registro semanal del establecimiento y crecimiento de las plantas, tanto del humedal como de las hortalizas empleadas.

## **Análisis y discusión de resultados**

### **Calidad del agua**

El pH que presentó el agua del influente fue de 7.21 en promedio y el efluente un promedio de 7.08, favorable para los procesos de asimilación de nutrientes en vegetales (Delgadillo, 2010). Las concentraciones de oxígeno disuelto en el influente presentaron un promedio de 4.76 mg/L y para el efluente 3.71 mg/L. Se aprecia siempre una disminución en la salida del sistema. Esto se debe a que el humedal es de flujo subsuperficial por lo que el intercambio de gases con la atmósfera es casi nulo y se realizan reacciones anaeróbicas. La temperatura en el sistema se mantuvo en promedio 23.3 °C en el influente, mientras que en el efluente 26.9 °C, ya que el sistema se encontraba cubierto por el invernadero, que brindó un estado de microclima controlado (Quesada & Bertsch, 2012), estabilizando la variante de temperatura. La dureza del agua presentó un promedio en el influente de 73.5 mg/L, con una ligera disminución hacia 68.1 mg/L en el efluente por lo que puede considerarse como agua blanda y no presenta un problema para uso doméstico o de riego (Sonune & Ghate, 2004). Para el caso de cloro total se mostró un promedio de 0.6 mg/L para el influente, mientras que en el efluente se registraron valores de 0.4 mg/L. Durante el semestre de muestreo se observaron valores bajos en la conductividad eléctrica en el influente y en el efluente, lo que puede atribuirse a que el agua residual tratada tiene una cantidad mínima de iones en solución (Ramírez, 2014). Se considera que el agua doméstica tiene un rango de conductividad que va desde los 0.500 a los 0.800 mS/cm<sup>2</sup>, sin embargo, los valores que se registraron en el influente y en el efluente, tienen una concentración promedio de 0.1600 mS/cm<sup>2</sup> y 0.1300 mS/cm<sup>2</sup> respectivamente.

Con respecto a los nutrimentos, las concentraciones de los compuestos derivados del nitrógeno mostraron niveles bajos. Para el caso del nitrógeno como amonio (NH<sup>4+</sup>) registró un promedio de 0.82 mg/L en el influente, mientras que en el efluente la concentración promedio fue de 0.52 mg/L; las concentraciones de nitritos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) en el influente alcanzaron un máximo de 0.000081 mg/L y un mínimo de 0.00007 mg/L; en el caso de los nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) la concentración promedio para el influente 0.04 mg/L, el efluente alcanzó una concentración promedio de 0.2 mg/L. Las concentraciones de ortofosfato siempre fueron menores en el efluente, alcanzando el valor máximo de concentración para el influente de 1.78 mg/L, y para la salida la concentración fue de 0.88 mg/L, esto se atribuye principalmente a una buena asimilación de las plantas que pertenecen al humedal del sistema de tratamiento.

Con respecto a la materia orgánica, las concentraciones de DQO del influente se mantuvieron por arriba de los 100 mg/L con un promedio de 121.50 mg/L, en el

efluente se expresa una clara reducción en las concentraciones, que se deben a los efectos combinados entre el tiempo de retención hidráulica, la acción filtrante del sistema (filtro y humedal) y la actividad biológica. Dando como resultado una concentración promedio de 107.50 mg/L no obstante, de acuerdo con la escala de la clasificación de SEMARNAT-CONAGUA (2007) se considera como contaminada. Las concentraciones de DBO<sub>5</sub> para el caso del influente se colocaron dentro de la categoría contaminada según esa misma escala, ya que promediaron 45.17 mg/L, mientras que en el efluente el promedio fue de 26.17 mg/L, colocando al agua del efluente como aceptable.

### Calidad del suelo

Las muestras del sustrato que se utilizó para el cultivo dentro del invernadero mostraron ser medianamente básicas, con un promedio de 7.76 de pH en suelo no irrigado y un promedio de 7.88 en el suelo irrigado, esto es favorable para el crecimiento de los vegetales ya que no afecta la capacidad de intercambio catiónico, facilitando la disponibilidad de nutrimentos. Se observa un leve aumento en la cantidad de bicarbonatos en el sustrato, que pasó de un promedio de 16 mmol/L en el suelo sin irrigar a un promedio de 19 mmol/L en el suelo irrigado, para el caso de los cloruros, existió un aumento considerable en el promedio del sustrato irrigado (11.5 mmol/L), en comparación con el del sustrato no irrigado (8.25 mmol/L), esto a consecuencia de que el cloro (CL) es el elemento más abundante en las aguas para riego y propicia la formación de dichos compuestos (Doran, 1999), finalmente la presencia de carbonatos en el sustrato se considera que hay un aumento mínimo de 10 mmol/L a 9 mmol/L mientras el sustrato irrigado, como promedio (cuadro 1). En función a estos resultados se considera que el sustrato aumenta la concentración de estos elementos a consecuencia del riego con el agua que proviene del efluente, no obstante, no se considera nocivo.

**Cuadro 1.** Concentraciones de factores químicos y físicos de las muestras de sustrato irrigado y no irrigado.

Parámetro	Carbonatos	Bicarbonatos	Cloruros	Temperatura	Conductividad	pH
Unidad de medida	mmol/L	mmol/L	mmol/L	°C	µS	mg/L
<b>SUELO NO IRRIGADO</b>						
Muestra 1	8	15	7	24.2	8.7	7.75
Muestra 2	12	17	9.5	24.6	7.9	7.78
Muestra3	8	15	7	24.2	8.4	7.65
Promedio	10	16	8.25	24.4	8.3	7.765
Parámetro	Carbonatos	Bicarbonatos	Cloruros	Temperatura	Conductividad	pH
Unidad de medida	mmol/L	mmol/L	mmol/L	°C	µS	mg/L
<b>SUELO IRRIGADO</b>						
Muestra 1	9	19	10.5	25.1	11.9	7.87
Muestra 2	9	19	12.5	24.9	11.8	7.89
Muestra3	11	19	12	24.9	12.1	7.84
Promedio	9	19	11.5	25	11.85	7.88



## Crecimiento de plantas

Los vegetales irrigados con el agua resultante del sistema de tratamiento, muestran un crecimiento adecuado y sin déficit de nutrientes, ya que ningún vegetal muestra alteraciones en su coloración, malformaciones o rasgos de alteración por contaminación del sustrato.

En cuanto a su crecimiento, la especie *Cucurbita pepo* presentó un área foliar máxima de 308.0 cm<sup>2</sup> para el día 69 después del trasplante, y una masa seca máxima de 16.98 g para el mismo día. Se colectaron un total de 17 frutos con un peso conjunto de 13.480 kg. La especie *Lactuca sativa* presentó mayor cantidad de plántulas germinadas, en comparación con los otros cultivos. La cobertura del área foliar de *Lactuca sativa* alcanzó el valor máximo de 66.87 cm<sup>2</sup> a los 69 días después del trasplante, la masa seca fue aumentando en función a los días, dando lugar al aumento de área foliar que dato un valor máximo de 51.14cm<sup>2</sup>. Se obtuvieron 59 piezas de este cultivo vegetal de 80 cm de altura. En el caso de la especie *Lycopersicon esculentum cv Naomi F1*, registró la mayor cobertura foliar con un máximo de 393.21 cm<sup>2</sup>, obteniéndose 19.780 kg al final del proyecto. Finalmente, la respuesta de los ejemplares de *Anthurium andreanum* y *Zantedechia aethiopica* fue adecuada durante los 6 meses del tratamiento pues mantuvieron un buen aspecto, no mostraron rastros de déficit de nutrientes, así como tampoco malformaciones o alteraciones por presencia de alguna sustancia nociva. Todos los ejemplares de ambas especies presentaron floración, para el caso de la especie *Anthurium andreanum* tardó en aparecer 5 meses con 3 semanas y para la especie *Zantedechia aethiopica* la floración de todos los ejemplares se presentó en el tercer mes de tratamiento con un intervalo de 2 a 3 días (figura 1).

Para el caso de estas dos especies se ha comprobado que son eficientes para su uso en tratamiento de aguas residuales (Seba, 2013) no obstante, la especie *Anthurium andreanum* requirió de una malla sombra adicional al hule del invernadero para que el vegetal pudiera continuar con su desarrollo.



**Figura 1.** Establecimiento de las plantas del humedal, derecha. *Zantedeschia Aethiopica*, izquierda *Anthurium andreae*.

## Conclusiones

La reutilización de aguas grises para la producción de plantas ornamentales y hortalizas es factible una zona de alta densidad urbana en Iztapalapa, Ciudad de México. El sistema de reutilización mediante filtro de arenas, humedal de flujo subsuperficial y cultivo de hortalizas, permite parámetros de calidad del agua con bajos niveles de contaminantes que no provocan impacto negativo o de relevancia en la calidad del suelo, además de mostrar utilidad para el riego de los cultivos.

El agua del efluente no causó un impacto negativo o de relevancia en la calidad del suelo y mostró ser de utilidad para el riego de los cultivos. Además, el sustrato con el que se cultivaron los vegetales es moderadamente básico y facilitó el desarrollo de los vegetales.

El sistema de tratamiento demostró tener mayor éxito de remoción de los compuestos nitrogenados como nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) registrando un promedio de 63% y 47% de remoción, respectivamente. El efluente puede ser reutilizado para el cultivo de vegetales que con las condiciones de clima controlado permite la producción de vegetales.

## Referencias bibliográficas

Aguirre, A. R. G. (2014). *Inundaciones y escasez de agua en la Delegación Iztapalapa: 1945-2010*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana.



- Aguirre, D. R., & Espinoza, V. (2012). El gran reto del agua en la Ciudad de México. *Sistema de Aguas de la Ciudad de México*.
- Delgadillo, O. 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Nelson Antequera.
- Doran, D. C. (1999). Guía para la evaluación de calidad y salud del suelo. EUA: USDA.
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., & Ledin, A. (2002). Characteristics of grey wastewater. *Urban water*, 4(1), 85-104.
- Jiménez, B., Mazari, M., Domínguez, R., & Cifuentes, E. (2004). El agua en el Valle de México. El agua en México vista desde la academia. Science Academy, Mexico.
- Mourad, K. A., Berndtsson, J. C., & Berndtsson, R. (2011). Potential fresh water saving using greywater in toilet flushing in Syria. *Journal of environmental management*, 92(10), 2447-2453.
- Paulo, P. L., Begosso, L., Pansonato, N., Shrestha, R. R., & Boncz, M. A. (2009). Design and configuration criteria for wetland systems treating greywater. *Water Science and Technology*, 60(8), 2001-2007.
- Quesada, R. G. & Bertsh, H. F. (2012). Fertirriego en el rendimiento de híbridos de tomate producidos en invernadero. *Sistema de posgrado, Universidad de Costa Rica. Agronomía Mesoamericana* 23(1): 117-128.
- Seba B.E. (2013). Evaluación de un sistema lagunar *in situ* a escala piloto para el tratamiento de aguas residuales lácteas del municipio de Miahuatlán, Veracruz. Facultad de Ciencias Químicas Zona Xalapa, México.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Subsecretaría de desarrollo rural (SAGARPA). (2014). Dirección general de apoyos para el desarrollo rural. *Invernaderos rústicos*. 2-12.
- Secretaria de Medio Ambiente y recursos Naturales - Comisión Nacional del Agua (SEMARNAT-CONAGUA). (2007). *Estadísticas del Agua en México*, 1a edición, CNA, México.