

Análisis preliminar de la reducción del Na^+ y K^+ y el suministro de Mg^{2+} y Ca^{2+} en agua residual

Preliminary analysis of Na^+ and K^+ reduction and supply of Mg^{2+} and Ca^{2+} in wastewater

D. Díaz-Guzmán^a , J.M. Paderco-Mendoza^{a*} , N.K. Pérez-González^a , F. Legorreta-García^a 
E. A. Chávez-Urbiola^b 

^aÁrea Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5, col. Carboneras, Mineral de la Reforma, Hgo., México

^bCONACyT-Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5, Col. Carboneras, Mineral de la Reforma, Hgo., México

Resumen

El presente trabajo tiene como propósito realizar un análisis preliminar de la reducción del Na^+ y K^+ , así como, el suministro del Mg^{2+} y Ca^{2+} , con tres parámetros de velocidad de flujo en agua residual de riego, perteneciente al municipio de Tilcuautla, Hidalgo, con los datos adquiridos por medio de la técnica de análisis de espectroscopía de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente (ICP - OES). Para esto, se empleó como agente iónico intercambiador una zeolita natural tipo clinoptilolita, la cual, se procesó con $[NH_4]^+$, esta fue colocada en un sistema experimental por goteo, a nivel laboratorio, que se basa en un método similar al de columna, el cual, es muy empleado para el saneamiento del agua, con la diferencia de que este sistema fue realizado con un embudo de decantación y a tres diferentes velocidades de flujo: 7.8 mL/min, 12.5 mL/min y 100 mL/min. Los resultados indicaron que el parámetro experimental adecuado para el propósito establecido es el de 12.5 mL/min, debido a que se elimina un aproximado del 39 % del Na^+ , el cual, causa daño tanto a las plantas como al sustrato, además, otorga al fluido resultante un 84 % y 9 %, de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} , respectivamente, que benefician a la planta. Sin embargo, la concentración del ion K^+ en ese parámetro disminuyó un aproximado del 40 %.

Palabras Clave: Clinoptilolita, remoción, agua residual, agua de riego, Hidalgo, sistema por goteo.

Abstract

The purpose of this work is to carry out a preliminary analysis of the reduction of Na^+ and K^+ , as well as the supply of Mg^{2+} and Ca^{2+} , with three flow rate parameters in irrigation residual water, belonging to the municipality of Tilcuautla, Hidalgo, with the data acquired by means of the inductively coupled plasma optical emission spectroscopy analysis technique (ICP - OES). For this, a natural clinoptilolite-type zeolite was used as an ionic exchange agent, which was processed with $[NH_4]^+$, this was placed in an experimental drip system, at the laboratory level, which is based on a method similar to that of the column, which, is widely used for water sanitation, with the difference that this system was made with a separatory funnel and at three different flow rates: 7.8 mL/min, 12.5 mL/min, and 100 mL/min. The results indicated that the appropriate experimental parameter for the established purpose is 12.5 mL/min, because approximately 39 % of Na^+ is eliminated, which causes damage to both the plants and the substrate, in addition, it gives the resulting fluid 84 % and 9 %, of Ca^{2+} and Mg^{2+} ions, respectively, which benefit the plant. However, the concentration of the K^+ on in this parameter decreased by approximately 40 %.

Keywords: Clinoptilolite, removal, wastewater, irrigation water, Hidalgo, drip system.

1. Introducción

El agua residual es aquella de composición variada proveniente de diferentes descargas, las cuales, pueden provenir de uso

doméstico, industrial, de servicios, agrícola y pecuario. Entre sus contaminantes se pueden encontrar microorganismos patógenos, alta carga de sólidos disueltos y en suspensión, concentraciones variables de nitrógeno y fósforo, grasas y aceites,

*Autor para la correspondencia: pa312652@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: pa312652@uaeh.edu.mx (José Manuel Paderco-Mendoza), profe_974@uaeh.edu.mx (Felipe Legorreta-García), chavez.urbiola@gmail.com (Edgar Arturo Chávez Urbiola), di264094@uaeh.edu.mx (Damián Díaz-Guzmán), pe219945@uaeh.edu.mx (Nelly Karina Pérez-González).

Historial del manuscrito: recibido el 02/12/2022, última versión-revisada recibida el 12/12/2022, aceptado el 12/12/2022, en línea (postprint) desde el 13/12/2022, publicado el 05/01/2023. DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v10i20.10168>



sustancias tóxicas, así como, metales pesados y altas concentraciones de sodicidad (Cisneros Estrada & Saucedo Rojas, 2016).

El agua residual utilizada en los sistemas de riego en Hidalgo provienen del caudal residual generado en la Ciudad de México que se desaloja a través de una red hidrográfica de drenaje, constituida por: el Gran Canal, para pasar por el Interceptor Poniente, después dirigirse al Emisor Central, y de ahí, se distribuye hacia el estado de Hidalgo, donde se vierte en la laguna de Zumpango y en las presas Requena, Endhó, Rojo Gómez y Vicente Aguirre; de estos cuerpos de agua, una parte se drena por el Río Tula hacia el río Moctezuma, río Panuco, hasta desembocar al Golfo de México, cerca de Tampico, Tamaulipas; mientras que la otra parte se deriva hacia canales de riego que son utilizados en campos de cultivo e invernaderos (Pérez-Díaz, y otros, 2019), (López-García, y otros, Caracterización fisicoquímica del agua residual urbano-industrial y su importancia en la agricultura, 2016).

En la mayor parte de las investigaciones realizadas, en lo que respecta a la sodicidad en el agua residual que fungen como fuente de riego, son considerados muchas veces como secundarios, pues no representan un riesgo directo sobre las personas. Sin embargo, como bien apunta Ontiveros (Ontiveros-Capurata, Diakite-Diakite, Álvarez-Sánchez, & Coras-Merino, 2013) se les debe de tomar la debida atención porque son un peligro potencial a mediano y largo plazo, y, por ende, este exceso de sodicidad podría causar la disminución de la productividad del suelo, es decir, la reducción en la permeabilidad e infiltración de los suelos utilizados como en cultivos.

Lo anteriormente mencionado se ha confirmado en suelos de cultivos pertenecientes a regiones del estado de Hidalgo, en investigaciones como las de Cuellar et al., 2015 (Cuellar Carrasco, Ortega Escobar, Ramírez Ayala, & Sánchez Bernal, 2015), López et al., 2016 (López-García, y otros, Caracterización fisicoquímica del agua residual urbano-industrial y su importancia en la agricultura, 2016) y Pérez Díaz et al., 2019 (Pérez-Díaz, y otros, 2019) que han demostrado que existe una infiltración en los suelos de varias regiones como Zumpango, Ixmiquilpan, Alfajayucan y Zimapán, debida a la relación de adsorción de sodio en el agua residual, la cual, no solo ocasiona un impacto negativo en los suelos sino también en las plantas.

Una solución a nivel mundial para la remoción de Na^+ del agua ha sido el uso de zeolita, ya sea, natural o procesada, en especial el tipo clinoptilolita, esto por el método de columnas (Wibowo, Rokhmat, Sutisna, Khairurrijal, & Abdullah, 2017). Incluso, este mismo tipo de zeolita se ha utilizado para beneficio de los cultivos, debido a que entre los cationes que otorga se encuentran el K, Ca y Mg que son aprovechados por las plantas (Stamatakis, Koukouzas, Vassilatos, Kamenou, & Samantouros, 2001).

El objetivo del presente trabajo fue realizar un análisis preliminar de la concentración de los cationes Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ , en el agua residual posterior a la remoción. El estudio fue efectuado a través de la gráfica realizada con los datos obtenidos de la técnica de análisis de espectroscopía de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente (ICP - OES), que se aplicó al fluido de origen y al fluido resultante de la remoción de un método similar al de columna, con la diferencia que fue llevado a cabo con un embudo de decantación y con los parámetros de velocidades de flujo de 7.84 mL/min, 12.5 mL/min y 100 mL/min.

2. Materiales y equipo

El material utilizado para este trabajo fue:

- Mineral feldespático que contiene la fase clinoptilolita.
- Agua desionizada
- Agua residual que se utiliza para el riego

Así mismo, se utilizó el siguiente equipo

- Quebradora de quijadas marca Allis Mineral
- Trituradora de rodillos marca Quinn
- tamizador Ro-Tap,
- 1 malla tipo Tyler #16
- 1 malla tipo Tyler #40
- Estufa de secado
- 3 embudos de decantación
- 3 soportes universales
- 2 matraz de fondo plano de 500 ml
- 1 vaso de precipitado de 500 ml
- 3 embudos de plástico

3. Metodología

El mineral feldespático utilizado para este estudio como agente iónico removedor fue identificado anteriormente por Díaz et al., 2020 (Díaz-Guzmán, y otros, 2020) como un mineral que contiene la fase zeolita tipo clinoptilolita.

3.1 *Proceso de conminución.*

La preparación mecánica consistió en la reducción del tamaño del mineral, esto fue llevado a cabo mediante una trituración primaria que se ejecutó con una quebradora de quijadas marca Allis Mineral.

3.2 *Trituración secundaria*

Fue realizada con una trituradora de rodillos marca Quinn, ver Figura 1a. Ambas pertenecientes al laboratorio de Ciencias de los Materiales correspondiente de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

3.3 *Tamaño de partícula*

Después, el material feldespático se pasó al tamizador Ro-Tap, ver Figura 1b, perteneciente al mismo laboratorio, con el cual se utilizaron las mallas tipo Tyler -#16 y +#40, con el objetivo de

obtener un tamaño de partícula entre los rangos de 0.42 – 1.19 mm, ver Figura 1c.

3.4 Proceso de lavado

Posteriormente, se lavó con agua desionizada, ver Figura 1d, y después se secó a una temperatura de 100 °C por 24 horas. Más adelante se procesó, con nitrato de amonio a 1 M en un sistema mecánico. Una vez procesada la zeolita natural, se le realizó otro proceso de secado por el mismo tiempo y temperatura mencionados anteriormente.

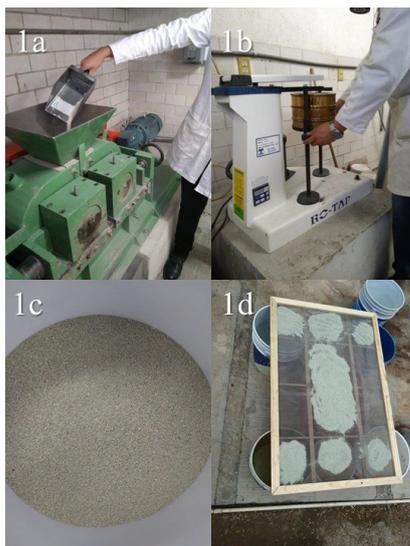


Figura 1: Proceso de conminución. Figura 1a: Trituración secundaria realizada con trituradora de rodillos. Figura 1b: Proceso de homogeneidad con ayuda de tamizador Ro-Tap. Figura 1c: Partícula obtenida entre los tamices -#16 y +#40, en un rango de 1.19 mm – 0.42 mm. Figura 1d: Proceso de lavado.

3.5 Remoción de Na⁺ en muestras de agua residual

Se adquirieron muestras de agua residual, ver Figura 2, que es utilizada para el riego en invernaderos pertenecientes a la región de Tilcuautla, Hidalgo. Para el desarrollo experimental se hicieron fluir 100 mL de estas muestras a través de 200 g de zeolita procesada, en embudos de decantación a las velocidades de 7.84 mL/min, 12.5 mL/min y 100 mL/min, ver Figura 3. Tanto los fluidos resultantes de la remoción, como una muestra del fluido de origen, se pasaron a través de papel filtro después del proceso experimental, para liberarlos de los sólidos disueltos provenientes de la fuente, finalmente, para conocer la concentración de los iones Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Na⁺ las soluciones centrifugadas se analizaron con la técnica de Espectroscopía de emisión óptica por plasma acoplado inductiva mente (ICP-OES) usando un equipo Perkin Elmer Optima 8300.

4. Análisis y resultados

Se observa en la gráfica, ver Figura 4, que la óptima remoción de Na⁺ fue en la velocidad de flujo de 12.5 mL/min, ya que, eliminó un aproximado del 39% de la concentración inicial. Mientras que en la velocidad de flujo de 100 mL/min solo eliminó el 1.33% de Na⁺.



Figura 2: Fuente de la adquisición de muestras de agua residual, utilizada para riego en invernaderos en la región de Tilcuautla, Hgo.



Figura 3: Proceso experimental a nivel laboratorio en un sistema por goteo a las velocidades de flujo de 7.8 mL/min, 12.5 mL/min y 100 mL/min, para la remoción de Na⁺, K⁺, Mg²⁺ y Ca²⁺.

De modo contrario, se observa que, para los iones Ca²⁺ y Mg²⁺, siempre hubo un aumento de concentración en el fluido resultante de la remoción, el cual, aparenta ser proporcional a la velocidad de flujo. Alcanzando, para el Ca²⁺ un aumento hasta del 110% como máximo y de un 39% como mínimo. Simultáneamente, para el Mg²⁺ se obtuvo el 41% y 9%, respectivamente. Mientras que para el K⁺ en todas las velocidades de flujo la concentración final fue menor que la inicial, ver Tablas 1 – 4.

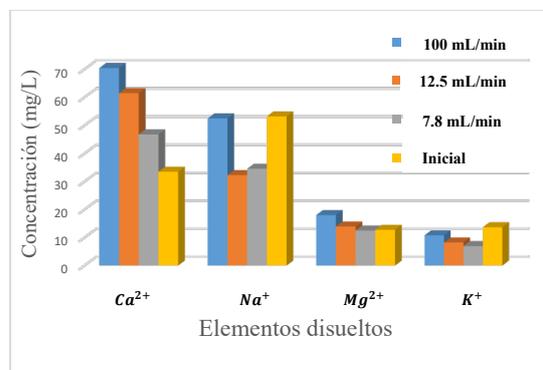


Figura 4: Gráficas de concentración vs elementos disueltos en cada velocidad de flujo utilizada.

Tabla 1: Concentraciones obtenidas con un flujo de 100 mL/min

Elemento	Concentración
Ca ²⁺	70.38 mg/L
Na ⁺	52.48 mg/L
Mg ²⁺	18.00 mg/L
K ⁺	10.78 mg/L

Tabla 2: Concentraciones obtenidas con un flujo de 12.5 mL/min

Elemento	Concentración
Ca ²⁺	61.46 mg/L
Na ⁺	32.29 mg/L
Mg ²⁺	13.93 mg/L
K ⁺	8.23 mg/L

Tabla 3: Concentraciones obtenidas con un flujo de 7.8 mL/min

Elemento	Concentración
Ca ²⁺	46.78 mg/L
Na ⁺	34.56 mg/L
Mg ²⁺	12.5 mg/L
K ⁺	6.93 mg/L

Tabla 4: Concentraciones del agua residual (inicial)

Elemento	Concentración
Ca ²⁺	33.48 mg/L
Na ⁺	53.19 mg/L
Mg ²⁺	12.74 mg/L
K ⁺	13.66 mg/L

5. Conclusiones

A nivel laboratorio y con los parámetros establecidos en el sistema experimental, los resultados obtenidos son óptimos, pues, a una velocidad de flujo de 12.5 mL/min, se obtiene una eliminación del Na⁺ en el agua residual hasta del 39%, el cual, en altas concentraciones ocasiona daños tanto al sustrato como a la planta. Así mismo, en ese parámetro de velocidad de flujo se obtienen las concentraciones aproximadas del 84% y 9%, del Ca²⁺ y Mg²⁺, respectivamente, mayores a los contenidos en el fluido inicial, los cuales son proporcionados por la zeolita y pueden beneficiar a la planta. Aunque estos resultados son sobresalientes y pudieran parecer una posible opción efectiva para la aplicación en sistemas de goteo en un invernadero, se tienen que considerar más variables y sus relaciones como,

proporcionalidades de concentraciones en cada tiempo de aplicación, el límite de remoción en la cantidad zeolita-flujo y, costo beneficio.

6. Referencias

- Cisneros Estrada, O. X., & Saucedo Rojas, H. (2016). *Reúso de aguas residuales en la agricultura*. Jiutepec, Mor.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Obtenido de https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/riego-drenaje/reuso-aguas-residuales.pdf
- Cuellar Carrasco, E., Ortega Escobar, M., Ramírez Ayala, C., & Sánchez Bernal, E. I. (2015). Evaluación de la relación de adsorción de sodio de las aguas de la red hidrográfica del Valle del Mezquital, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 977-989.
- Díaz-Guzmán, D., Legorreta-García, F., Pérez-González, N. K., Flores-Zamora, M. I., Vargas-Ramírez, M., & Reyes-Cruz, V. E. (2020). ¿Heulandita o Clinoptilolita? Identificación de dos zeolitas naturales isoestructurales. *Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales*, 7(7), 79-85. doi: <https://doi.org/10.29057/aactm.v7i7.6205>
- López-García, A. D., Ortega-Escobar, H. M., Ramírez-Ayala, C., Sánchez-Bernal, E. I., Can-Chulim, Á., Gómez-Meléndez, D. J., & Vázquez-Alvarado, R. E. (2016). Caracterización fisicoquímica del agua residual urbano-industrial y su importancia en la agricultura. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 139-157.
- López-García, A. D., Ortega-Escobar, H. M., Ramírez-Ayala, C., Sánchez-Bernal, E. I., Can-Chulim, Á., Gómez-Meléndez, D. J., & Vázquez-Alvarado, R. E. (noviembre-diciembre de 2016). Caracterización fisicoquímica del agua residual urbano-industrial y su importancia en la agricultura. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VII(6), 139-157.
- Ontiveros-Capurata, R. E., Diakite-Diakite, L., Álvarez-Sánchez, M. E., & Coras-Merino, P. M. (2013). Evaluación de aguas residuales de la Ciudad de México utilizadas para riego. *Tecnologías y ciencias del agua*, 127-140.
- Paul, B., Dynes, J. J., & Changa, W. (2017). Modified zeolite adsorbents for the remediation of potash brine-impacted groundwater: Built-in dual functions for desalination and pH neutralization. *Desalination*.
- Pérez-Díaz, J. P., Ortega-Escobar, H. M., Ramírez-Ayala, C., Flores-Magdaleno, H., Sánchez-Bernal, E. I., Can-Chulim, Á., & Mancilla-Villa, O. R. (2019). Evaluación de la calidad del agua residual para el riego agrícola en Valle del Mezquital, Hidalgo. *Acta Universitaria*, 29, 1-21. doi:<https://doi.org/10.15174/au.2019.29.1>
- Stamatakis, M., Koukouzas, N., Vassilatos, C., Kamenou, E., & Samantouros, K. (2001). The Zeolites from Evros Region, Northern Greece: A Potential Use as Cultivation Substrate in Hydroponics. *Acta Hort.*, 548, 93-104. doi:DOI: 10.17660/ActaHortic.2001.548.9
- Wibowo, E., Rokhmat, M., Sutisna, Khairurrijal, & Abdullah, M. (2017). Reduction of seawater salinity by natural zeolite (Clinoptilolite): Adsorption isotherms, thermodynamics and kinetics. *Desalination*, 146-156.