



## II CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA AMBIENTAL EN SISTEMAS ACUÁTICOS, CCHIASA

### REDUCCIÓN DE BROMATO POR HIERRO (II) DURANTE RECARGA DE ACUÍFERO CONTROLADA: UN ESTUDIO A ESCALA DE LABORATORIO.

Feifei Wang<sup>1</sup>  
Vanida Salgado<sup>2</sup>  
Jan Peter van der Hoek<sup>3</sup>  
Doris van Halem<sup>4</sup>

#### RESUMEN EXTENDIDO

La recarga controlada de acuíferos (MAR) ha sido probada como una barrera efectiva para varios microcontaminantes orgánicos (OMPs) presentes en agua de fuentes superficiales durante la producción de agua potable (1-3). Sin embargo existen OMPs resistentes que pueden ser detectados después de pasar por MAR (4) y que podrían llegar al suministro de agua potable (5). Procesos de oxidación avanzada basados en ozono (AOPs) están siendo considerados como alternativas efectivas en la remoción de OMPs durante el tratamiento de agua potable (6-8). La combinación de MAR con ozonización como pretratamiento ha sido sugerida como un sistema de tratamiento multibarrera para remover varios OMPs efectivamente durante la producción de agua potable (9-11). Sin embargo, bromato ( $\text{BrO}_3^-$ ) es formado cuando tratamientos basados en ozono son aplicados a aguas que contienen bromuro (12-14). Se ha reportado que las concentraciones de bromuro en agua potable después de AOPs basados en ozono varían entre 0 a 127ug/L (15).  $\text{BrO}_3^-$  es considerado un posible cancerígeno humano (16-18). El límite de  $\text{BrO}_3^-$  en agua potable establecido por la Organización Mundial de la Salud, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos y la Unión Europea es 10ug/L (19-21), lo que exigiría al sector sanitario a controlar concentraciones de  $\text{BrO}_3^-$ .

La remoción de  $\text{BrO}_3^-$  como subproducto de la ozonización (proceso de desinfección en tratamiento de agua) en subsiguientes sistemas de MAR ha ganado atención en el último tiempo. Este estudio preliminar con experimentos batch en condiciones anóxicas fue

---

<sup>1</sup>Department of Water Management. Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, The Netherlands; [f.wang-2@tudelft.nl](mailto:f.wang-2@tudelft.nl)

<sup>2</sup>Department of Water Management. Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, The Netherlands; Posición actual: Departamento de Estudios, Información y Normas, Superintendencia de Servicios Sanitarios, [vanisalis@gmail.com](mailto:vanisalis@gmail.com)

<sup>3</sup>Department of Water Management. Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, The Netherlands; [J.P.vanderHoek@tudelft.nl](mailto:J.P.vanderHoek@tudelft.nl)

<sup>4</sup>Department of Water Management. Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, The Netherlands; [D.vanHalem@tudelft.nl](mailto:D.vanHalem@tudelft.nl)

realizado a fin de explorar la factibilidad de reducción química del  $\text{BrO}_3^-$  en zonas hierro reductoras en sistemas MAR y estimar el potencial de inhibición por nitrato  $\text{NO}_3^-$ . Los resultados muestran que la velocidad de reacción fue afectada por las proporciones iniciales de  $\text{Fe}^{2+}/\text{BrO}_3^-$  y el pH. Bajo condiciones de MAR con concentraciones relativamente bajas de  $\text{BrO}_3^-$  y  $\text{Fe}^{2+}$ , el  $\text{BrO}_3^-$  puede ser reducido a  $\text{Br}^-$  (especie no carcinogénica) naturalmente en presencia de  $\text{Fe}^{2+}$ , sumado al tiempo de retención en MAR que en empresas sanitarias en La Haya, Países Bajos es bastante largo, compensando la lenta cinética de reacción a bajas concentraciones de  $\text{BrO}_3^-$  y  $\text{Fe}^{2+}$ . Bajo condiciones específicas, el  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{NO}_3^-$  podrían coexistir durante MAR, sin embargo el  $\text{NO}_3^-$  difícilmente compite con  $\text{BrO}_3^-$ , ya que  $\text{Fe}^{2+}$  prefiere  $\text{BrO}_3^-$  por sobre  $\text{NO}_3^-$ . No obstante, se encontró que cuando las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  exceden las de  $\text{BrO}_3^-$  en múltiples órdenes de magnitud, el  $\text{NO}_3^-$  podría inhibir levemente la reducción de  $\text{BrO}_3^-$  usando  $\text{Fe}^{2+}$ .

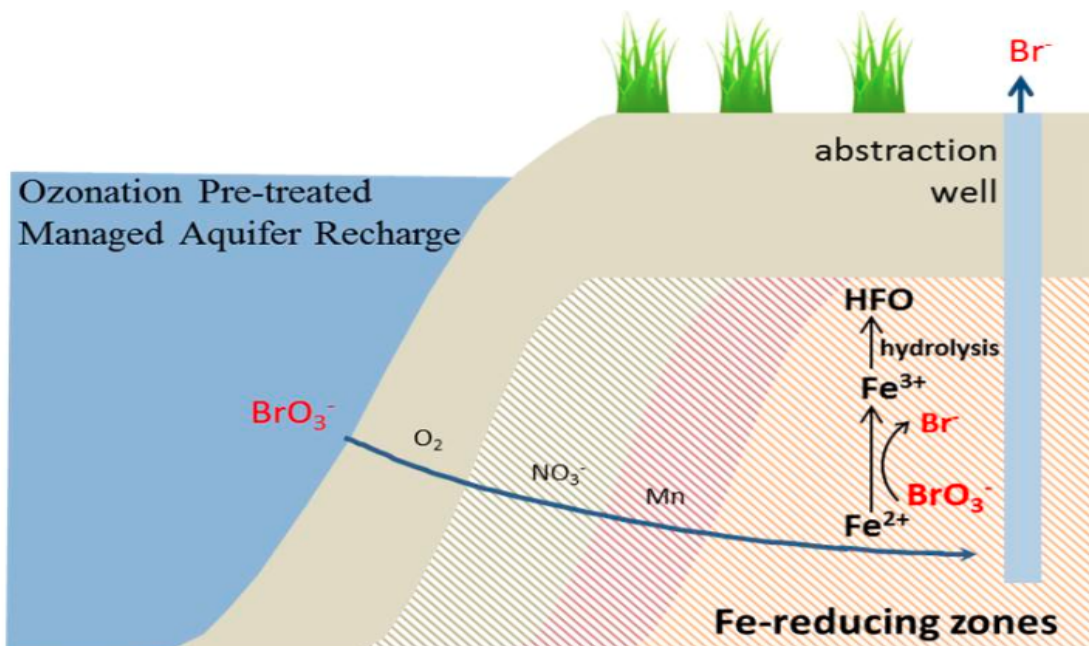


Figura 1: Esquema de reducción de  $\text{BrO}_3^-$  a  $\text{Br}^-$  por  $\text{Fe}^{2+}$  durante recarga de acuíferos.

## Referencias

1. Laws, B.V.; Dickenson, E.R.V.; Johnson, T.A.; Snyder, S.A.; Drewes, J.E., 2011. Attenuation of contaminants of emerging concern during surface-spreading aquifer recharge. *Sci. Total Environ.*, 409, 1087–1094.
2. Kim, H.C.; Noh, J.H.; Chae, S.R.; Choi, J.; Lee, Y.; Maeng, S.K., 2015. A multi-parametric approach assessing microbial viability and organic matter characteristics during managed aquifer recharge. *Sci. Total Environ.*, 524–525, 290–299.
3. Postigo, C.; Barceló, D., 2015. Synthetic organic compounds and their transformation products in groundwater: Occurrence, fate and mitigation. *Sci. Total Environ.* 503–504, 32–47.



4. Drewes, J.E.; Heberer, T.; Rauch, T.; Reddersen, K., 2003. Fate of pharmaceuticals during ground water recharge. *Ground Water Monit. Remediat.* 23, 64–72.
5. Ternes, T.A.; Meisenheimer, M.; McDowell, D.; Sacher, F.; Brauch, H.J.; Haist-Gulde, B.; Preuss, G.; Wilme, U.; Zulei-Seibert, N., 2002. Removal of pharmaceuticals during drinking water treatment. *Environ. Sci. Technol.* 36, 3855–3863.
6. Hübner, U.; Miehe, U.; Jekel, M., 2012. Optimized removal of dissolved organic carbon and trace organic contaminants during combined ozonation and artificial groundwater recharge. *Water Res.* 46, 6059–6068.
7. Hollender, J.; Zimmermann, S.G.; Koepke, S.; Krauss, M.; McArdell, C.S.; Ort, C.; Singer, H.; von Gunten, U.; Siegrist, H., 2009. Elimination of organic micropollutants in a municipal wastewater treatment plant upgraded with a full-scale post-ozonation followed by sand filtration. *Environ. Sci. Technol.* 43, 7862–7869.
8. Scheideler, J.; Lekkerkerker-Teunissen, K.; Knol, T.; Ried, A.; Verberk, J.; van Dijk, H., 2011. Combination of O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and uv for multiple barrier micropollutant treatment and bromate formation control—An economic attractive option. *Water Pract. Technol.* 6.
9. Lekkerkerker, K.; Scheideler, J.; Maeng, S.K.; Ried, A.; Verberk, J.Q.J.C.; Knol, A.H.; Amy, G.; van Dijk, J.C., 2009. Advanced oxidation and artificial recharge: A synergistic hybrid system for removal of organic micropollutants. *Water Sci. Technol. Water Supply* 9, 643–651.
10. Lekkerkerker-Teunissen, K.; Chekol, E.T.; Maeng, S.K.; Ghebremichael, K.; Houtman, C.J.; Verliefd, A.R.D.; Verberk, J.Q.J.C.; Amy, G.L.; van Dijk, J.C., 2012. Pharmaceutical removal during managed aquifer recharge with pretreatment by advanced oxidation. *Water Sci. Technol. Water Supply* 12, 755–767.
11. Oller, I.; Malato, S.; Sánchez-Pérez, J.A., 2011. Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination—A review. *Sci. Total Environ.* 409, 4141–4166.
12. Kurokawa, Y.; Maekawa, A.; Takahashi, M.; Hayashi, Y., 1990. Toxicity and carcinogenicity of potassium bromate—A new renal carcinogen. *Environ. Health Perspect.* 87, 309–335.
13. Haag, W.R.; Holgne, J., 1983. Ozonation of bromide-containing waters: Kinetics of formation of hypobromous acid and bromate. *Environ. Sci. Technol.* 17, 261–267.
14. Assuncao, A.; Martins, M.; Silva, G.; Lucas, H.; Coelho, M.R.; Costa, M.C., 2011. Bromate removal by anaerobic bacterial community: Mechanism and phylogenetic characterization. *J. Hazard. Mater.* 197, 237–243.
15. Xie, L.; Shang, C., 2006. A review on bromate occurrence and removal strategies in water supply. *Water Sci. Technol. Water Supply* 6, 131–136.
16. Xiao, Q.; Yu, S.; Li, L.; Wang, T.; Liao, X.; Ye, Y., 2017. An overview of advanced reduction processes for bromate removal from drinking water: Reducing agents, activation methods, applications and mechanisms. *J. Hazard. Mater.* 324, 230–240.
17. Kurokawa, Y.; Aoki, S.; Matsushima, Y.; Takamura, N.; Imazawa, T.; Hayashi, Y., 1986. Dose-response studies on the carcinogenicity of potassium bromate in F344 rats after long-term oral administration. *J. Natl. Cancer Inst.* 77, 977–982.



18. Crofton, K.M., 2006. Bromate: Concern for developmental neurotoxicity? *Toxicology* 221, 212–216.
19. WHO. 2011. *Guidelines for Drinking-Water Quality*; World Health Organization: Geneva, Switzerland, Volume 216, pp. 303–304.
20. U.S. EPA. 2005. *Guidelines for Carcinogen Risk Assessment*; Risk Assessment Forum: Washington, DC, USA.
21. Carney, M., 1991. European drinking water standards. *J. Am. Water Works Assoc.* 83, 48–55.