

INFORME TÉCNICO

Tecnologías para remoción de arsénico en aguas subterráneas domiciliarias

Elaborado por: Prof. Dra. Valery Bühl (Investigadora Nivel I SNI integrante del proyecto) y Prof. Dra. Mariela Pistón (Investigadora Nivel II- SIN- Responsable)- agosto 2026

El presente informe técnico pretende dejar elementos que sean de utilidad a técnicos de en contacto con productores rurales que utilizan agua de riego pero que además utilizan para consumo humano o animal, con niveles cercanos o superiores a 20 mg L^{-1} de contenido de arsénico total en base a resultados obtenidos en el proyecto **ANII-FSA180223**.¹

La presencia de arsénico en aguas subterráneas destinadas al consumo humano constituye un problema de salud pública en numerosos países, entre ellos Uruguay.

Entre las alternativas disponibles para su remoción a escala domiciliaria, las tecnologías más utilizadas son:

- **filtros adsorbentes específicos para arsénico**
- **sistemas de ósmosis inversa.**

La selección de la tecnología más apropiada debe considerar las características del agua de origen, incluyendo la concentración y la especie química del arsénico (As(III) o As(V)), el pH, la presencia de hierro, manganeso, sulfatos, sílice, sólidos disueltos totales y otros parámetros que pueden afectar la eficiencia del tratamiento, además de aspectos operativos como el porcentaje de pérdida de agua, los residuos generados y los costos de operación y mantenimiento (EPA, 2003).

Los **filtros adsorbentes** remueven el arsénico mediante su retención sobre un medio adsorbente, como alúmina activada o sorbentes a base de hierro. Su eficiencia depende de las características químicas del agua y del material utilizado. La EPA indica que estos sistemas pueden alcanzar eficiencias de remoción superiores al 95 % bajo condiciones adecuadas de operación y que la pérdida de agua es baja (aproximadamente entre 1 y 2 %). Asimismo, señala que el medio filtrante requiere reemplazo periódico y que, en algunos casos, puede ser necesaria una etapa previa de oxidación cuando el arsénico se encuentra predominantemente como As(III) (EPA, 2003).

Diversas revisiones recientes coinciden en que la especie química del arsénico constituye uno de los principales factores que condicionan el desempeño de los

¹ "Estudio de los factores de contaminación por patógenos, residuos de plaguicidas y metales pesados en la producción hortícola nacional: un enfoque integral para aportar a la inocuidad alimentaria". FSA_1_2024_1_180223-Fondo Sectorial Innovagro. Responsable: Dra. Mariela Pistón. Ejecución 2025-2027

sistemas adsorbentes. En general, el arsénico pentavalente (As(V)) presenta mayor afinidad por los materiales adsorbentes que el arsénico trivalente (As(III)), por lo que la oxidación previa puede mejorar significativamente la eficiencia de remoción cuando predomina esta última especie (Jain et al., 2024). En el contexto uruguayo, la predominancia de arseniato (As(V)) observada en aguas subterráneas de distintas regiones del país resulta un aspecto favorable para la aplicación de tecnologías de adsorción, ya que esta especie presenta mayor afinidad por los medios adsorbentes que el arsenito (As(III)), aunque la especiación debe verificarse para cada fuente de agua antes de seleccionar el tratamiento (Jain et al., 2024; Pizzorno, 2024).

Los sistemas de **ósmosis inversa** utilizan una membrana semipermeable que retiene el arsénico junto con otros contaminantes disueltos. Además de remover arsénico, esta tecnología puede reducir simultáneamente la concentración de otros compuestos inorgánicos presentes en el agua, como nitratos, fluoruros y sales disueltas. La EPA informa eficiencias de remoción superiores al 95 %, aunque indica que estos sistemas generan una corriente de agua de rechazo, es decir, una fracción del agua de alimentación que se descarga para arrastrar los contaminantes retenidos por la membrana. Dependiendo del diseño y de las condiciones de operación, esta pérdida puede representar entre un 15 % y un 75 % del agua que ingresa al equipo (EPA, 2003).

Las revisiones recientes sobre tecnologías de membrana destacan que la ósmosis inversa constituye una de las alternativas más eficaces para la remoción de arsénico en sistemas de pequeña escala, especialmente cuando el agua presenta simultáneamente otros contaminantes disueltos. No obstante, su desempeño depende del mantenimiento periódico de prefiltros y membranas, ya que con el uso pueden disminuir la eficiencia del sistema y aumentar los costos de operación (Pezeshki et al., 2023).

La importancia del mantenimiento también ha sido demostrada en condiciones reales de uso. Yang et al. (2020) evaluaron 250 viviendas abastecidas con agua de pozos privados en los estados de Maine y Nueva Jersey (Estados Unidos) que utilizaban diferentes sistemas domiciliarios de tratamiento, incluyendo equipos de ósmosis inversa de punto de uso (POU) y sistemas adsorbentes de punto de entrada (POE). Los autores observaron reducciones de la concentración de arsénico de hasta dos órdenes de magnitud; sin embargo, entre el 16 % y el 19 % de los sistemas no alcanzaron el valor guía de 10 $\mu\text{g/L}$, principalmente debido a deficiencias en el mantenimiento y, en algunos casos, a las características del agua tratada. Asimismo, los sistemas instalados y mantenidos por empresas especializadas presentaron un mejor desempeño que aquellos mantenidos por los propios usuarios (Yang et al., 2020).

En este contexto, en el marco del proyecto FSA_1_2024_1_180223-Fondo Sectorial Innovagro, se ha hecho énfasis a posibles usuarios que la selección de un sistema domiciliario para la remoción de arsénico debería considerar no solo el costo inicial del equipo, sino también las características del agua a tratar, la tecnología empleada, la frecuencia de mantenimiento, el costo de los recambios y la disponibilidad de asistencia técnica, dado que estos factores influyen directamente sobre la eficacia del tratamiento a lo largo del tiempo (EPA, 2003; Yang et al., 2020). En este sentido se revisaron ofertas

del mercado nacional, pero no se cuenta con información sobre la eficiencia de remoción del arsénico, por lo que el equipo de investigación se ha puesto a disposición para este seguimiento, en caso de que algún usuario de agua de pozo cuyo nivel de arsénico sea superior al valor recomendado por la OMS y decidan invertir en uno de estos filtros.

Referencias

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2003). [Arsenic Treatment Technology Evaluation Handbook for Small Systems](#). EPA 816-R-03-014.

Jain, N., Singh, P., Bhatnagar, A., & Maiti, A. (2024). Arsenite oxidation and adsorptive arsenic removal from contaminated water: A review. *Environmental Science and Pollution Research*. 10.1007/s11356-024-33963-x

Pezeshki, H., et al. (2023). Removal of arsenic as a potentially toxic element from drinking water by filtration: A mini review of nanofiltration and reverse osmosis techniques. *Heliyon*, 9, e14246. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14246>

Pizzorno Arbio, P. (2024). *Evaluación del arsénico en aguas subterráneas utilizadas en áreas rurales de Uruguay y su posible impacto en la salud* [Tesis de doctorado, Universidad de la República, Facultad de Química, PEDECIBA]. Repositorio Colibrí. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/48763>

Yang, Q., Flanagan, S. V., Chillrud, S., Ross, J., Zeng, W., Culbertson, C. W., Spayd, S., Backer, L. C., Smith, A. E., & Zheng, Y. (2020). Reduction in drinking water arsenic exposure and health risk through arsenic treatment among private well households in Maine and New Jersey, USA. *Science of the Total Environment*, 738, 139683. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139683>