



## Estudio de la remoción de contaminantes acuosos con hueso calcinado y arena de Monte Hermoso

Cecilia Morgade<sup>\*1,2</sup>, Bruno E. Mancinelli<sup>1</sup>, Cynthia M. Luna Coronado<sup>1</sup> y Sandra Ulacco<sup>1</sup>

- 1 Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Bahía Blanca (UTN FRBB). 11 de Abril 461, B8000 Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina
- 2 Universidad Nacional del Sur (UNS) Av. Alem 1253, B8000 Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina

\*E-mail: [cmorgade@frbb.utn.edu.ar](mailto:cmorgade@frbb.utn.edu.ar)

### PALABRAS CLAVES

Hueso calcinado  
Arena  
Contaminantes acuosos

### RESUMEN

La contaminación del agua por arsénico (As), fluoruros ( $F^-$ ), nitratos ( $NO_3^-$ ) y amonio ( $NH_4^+$ ) es un problema de salud pública global. El presente estudio propone el uso de polvo de hueso calcinado de vaca y arena como adsorbentes de bajo costo para implementar una solución de potabilización accesible en zonas rurales y vulnerables. En los ensayos de remoción, el hueso calcinado fue notablemente más eficiente que la arena, logrando hasta un 79.92% de remoción de  $F^-$  y un 62.50% de As en muestras sin competencia iónica. Esta eficiencia mantuvo un desempeño destacado (68.50% para  $F^-$  y 55.72% para As) aún en presencia de más de un contaminante en simultaneo. Como limitación, sin embargo, ambos materiales, tanto hueso como arena, aportaron nitratos ( $NO_3^-$ ) al medio. Se concluye que el hueso calcinado es una alternativa eficaz y accesible para la remoción de As y  $F^-$ , siendo necesaria la implementación de un tratamiento reductor complementario para la eliminación del nitrato residual y la realización de estudios adicionales para optimizar la remoción de  $NH_4^+$ .

## Study of the removal of aqueous contaminants with calcined bone and sand from Monte Hermoso

### KEYWORDS

Calcinated bone  
Sand  
Aqueous contaminants

### ABSTRACT

Water contamination by arsenic (As), fluorides ( $F^-$ ), nitrates ( $NO_3^-$ ), and ammonium ( $NH_4^+$ ) is a global public health problem. This study proposes the use of calcined cow bone powder and sand as low-cost adsorbents to implement an accessible water purification solution in rural and vulnerable areas. In removal tests, calcined bone was significantly more efficient than sand, achieving up to 79.92% removal of  $F^-$  and 62.50% of As in samples without ionic competition. This efficiency maintained outstanding performance (68.50% for  $F^-$  and 55.72% for As) even in the presence of more than one contaminant simultaneously. As a limitation, however, both materials, bone and sand, contributed nitrates ( $NO_3^-$ ) to the environment. It is concluded that calcined bone is an effective and accessible alternative for the removal of As and  $F^-$ , requiring the implementation of a complementary reducing treatment for the elimination of residual nitrate and the performance of additional studies to optimize the removal of  $NH_4^+$ .

### 1. Introducción

La contaminación y el acceso a agua potable en los últimos tiempos se volvió una de las mayores problemáticas a las que nos enfrentamos mundialmente, y si bien han sido propuestos

diversos métodos para descontaminar, aún estamos muy lejos de considerarlo un problema resuelto.

El arsénico (As), el flúor ( $F^-$ ), los nitratos ( $NO_3^-$ ) y el amonio ( $NH_4^+$ ) son contaminantes frecuentes del agua, de origen natural o antropogénico, que representan una amenaza para la salud humana y ambiental.

Es sabido, que la exposición prolongada al As a través del consumo de agua y alimentos contaminados puede causar cáncer y lesiones cutáneas, asociándose también a enfermedades cardiovasculares y diabetes. Por otra parte, la exposición intrauterina y en la primera infancia se han relacionado con efectos negativos en el desarrollo cognitivo y un aumento de la mortalidad en jóvenes adultos (Monroy-Torres et al., 2018; Puntoriero et al., 2014).

La presencia de flúor, si bien en determinadas concentraciones es efectiva en la prevención de la caries dental, niveles elevados de exposición alteran la formación del esmalte y eventualmente la formación ósea, causando fracturas y lesiones graves. La contaminación por flúor produce principalmente fluorosis dental y/o esquelética que se observa en quienes han estado expuestos a altos niveles altos de este elemento, siendo un problema particularmente grave en la infancia. (Espósito et al., 2013; Neira et al., 2010).

Altas concentraciones de nitratos producen metahemoglobinemia en lactantes, este síndrome, más conocido como el “niño azul”, consiste en la formación de una molécula de hemoglobina más oxidada con mayor afinidad por el oxígeno, haciendo que su liberación a los tejidos sea menor y provocando la cianosis periférica característica de esta patología. (Donoso et al., 2018).

La presencia de ion amonio en el agua puede ser debida a la descomposición de materia orgánica, a residuos industriales, aguas residuales y/o fertilizantes agrícolas, entre otros. Si bien solo tiene efectos tóxicos si se ingiere en altas dosis, pudiendo producir intolerancia a la glucosa y disminuyendo la sensibilidad a la insulina, su presencia interfiere con un adecuado proceso de potabilización formando mono, di y tricloraminas e incrementa las concentraciones de nitritos y nitratos además de incorporar sabores y olores desagradables al agua. (Asyraf et al., 2015)

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda un límite máximo de 10 microgramos por litro (10 µg/L) de arsénico en el agua potable, 1,5 mg/L para flúor, y 50 mg/L para nitratos. Si bien para el ion amonio no ha establecido límites específicos, considera que valores por encima de 1,5 mg/L y 35 mg/L afectan sensorialmente el agua causando olor y sabor. Por su parte el código alimentario argentino establece los mismos valores límite para arsénico, flúor y nitratos y agrega un valor de 0.2 mg/L para el ion amonio.

Diferentes tecnologías como ósmosis inversa, resinas de intercambio iónico, electroquímica, adsorción con alúmina, materiales ferrosos o bioadsorbentes han sido estudiadas y aplicadas para la remoción de los contaminantes mencionados. Sin embargo, aún el problema no está resuelto, siendo particularmente más importante en sectores más humildes y alejados a sitios urbanos de potabilización. (Didar-UI Islam, 2023; Rathore et al., 2017; S. Dey et al., 2021)

El presente trabajo, se enfoca en dar una posible solución accesible y reproducible pensada particularmente para los sectores más vulnerables con respecto al acceso al agua potable.

La propuesta radica en utilizar polvo de hueso calcinado de vaca y arena como materiales removedores de los contaminantes mencionados y posiblemente de otros. La elección de los mismos radica en que representan materiales fácilmente accesibles y económicos para la mayor parte de la población. Con respecto al hueso, la calcinación mejora sus propiedades y minimiza efectos indeseados como color u olor desagradable (Valenzuela, et al., 2011).

El estudio inicia con la preparación y caracterización de los materiales y el análisis de la capacidad adsorptiva de los mismos con respecto a los contaminantes mencionados (As, F<sup>-</sup>, NO<sup>3-</sup> y NH<sup>4+</sup>) con el fin de evaluar la posible construcción de un dispositivo que pueda ser utilizado para la solución de la problemática descrita, particularmente en zonas rurales, alejadas de los centros de potabilización.

## 2. Materiales y métodos

Las muestras de agua para el trabajo se prepararon en laboratorio a partir de agua tridestilada, óxido arsenioso (As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), marca Anedra y concentración 200 ppb, fluoruro de sodio (NaF), Cicarelli 5 ppm, nitrato de sodio (NaNO<sub>3</sub>), Mallinckodt 80 ppm y fluoruro de amonio (NH<sub>4</sub>F) Carlo Erba 40 ppm de amonio.

Como adsorbentes se utilizaron carbón de hueso de fémur de vaca (Valenzuela et al., 2011) y arena entera de Monte Hermoso.

El hueso se preparó a partir de fémur de novillo de aproximadamente 36 meses dada su menor cantidad de cartílago en comparación con otras piezas como costillas o escápulas. Fue seleccionado además porque su estructura compacta y concavidad central

permiten un pulverizado más eficiente. El tratamiento inicial consistió en hervir los huesos en agua a presión atmosférica durante cuatro horas para eliminar tejidos blandos adheridos. Posteriormente fueron secados por un período de una semana, triturados y tamizados hasta el tamaño de partícula deseado, aproximadamente 1,5 mm. Las muestras obtenidas se calcinaron en mufla a una temperatura de 500 °C, siguiendo las recomendaciones extraídas de estudios previos como valor óptimo para la obtención de carbón óseo de alta calidad (Kaseva, 2006).

La arena extraída de un pozo a 15 cm de la superficie fue caracterizada para conocer su granulometría y las densidades de los diferentes agregados, determinaciones realizadas en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la UTN FRBB. En la misma se estudió la concentración de hierro por espectroscopia en un Espectrómetro de Emisión Atómica por Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES), Shimadzu Simultáneo 9000 según Norma EPA 200.7 y la proporción en porcentaje en masa de material magnético con un imán de Neodimio. También se realizaron difracción de rayos x (DRX) de la porción fina. Los patrones de difracción de rayos X en polvo (PXRD) se recolectaron utilizando un difractómetro XRD Malvern-Panalytical Empyrean III equipado con un filtro de Ni y un detector PIXcel3D. Este instrumento utiliza la fuente de radiación Cu K $\alpha$ 1 (1,5406 Å) operada a 45 kV y una corriente de emisión de 40 mA. Los datos se recopilaban utilizando una rendija de divergencia de 0,5°, un tamaño de paso de 0,013° y un tiempo de conteo de 80 s por paso en una ventana de 2 $\theta$  de 20° a 70°. Tanto para arena como para hueso se realizó microscopía electrónica de barrido (SEM, equipo LEO EVO 40 XVP) con detector de electrones secundarios. Mediante un Sistema de Microanálisis de Rayos x por Energía Dispersiva (EDS) marca Oxford X-max 50 adosado al microscopio. Se hicieron espectros en diversas micro áreas y se realizó el mapeo de elementos en cada zona seleccionada. Además, se realizó un análisis semicuantitativo de los elementos

presentes. Es importante considerar que el C no fue considerado dentro de la cuantificación, ya que el valor se ve afectado al sumar el C proveniente del grafitado.

Las concentraciones de arsénico producto de la remediación (ecuación 1) se realizaron con un Espectrómetro de Emisión Atómica por Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES), Shimadzu, las de flúor por el Método de electrodo selectivo de iones 4500 - F - SM y las de nitrato y amonio mediante una técnica de destilación por arrastre de vapor (técnica Bremner).

El porcentaje de remediación se calculó utilizando la siguiente expresión:

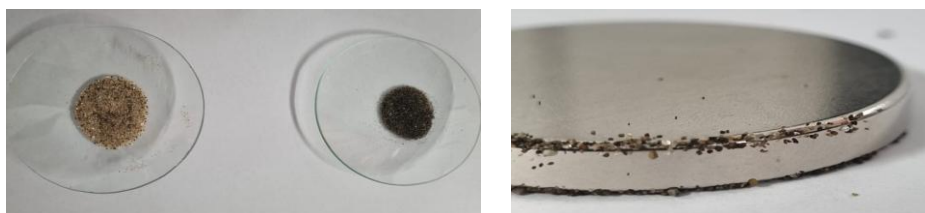
$$\frac{(C_{mst} - C_{mt}) \times 100}{C_{mst}} \quad (1)$$

Donde: C<sub>mst</sub>: concentración muestra sin tratar; C<sub>mt</sub>: concentración muestra tratada.

### 3. Resultados y Discusión



En cuanto a los resultados de caracterización realizados, es importante aclarar que en el caso de la arena no fue posible determinar los valores de densidad relativa y aparente por la presencia de sales higroscópicas y elevada porosidad característica de las arenas de origen marino. Además, la disolución de sales en el agua de ensayo pudo haber modificado su densidad y tensión superficial, afectando las mediciones de volumen desplazado. Partiendo de este conocimiento se reporta que los estudios de remediación se hicieron con arenas sometidas a desecación x 96 horas en mufla a 500°C.

En la Tabla 1 se muestran los porcentajes de los elementos encontrados en las partículas de arena y hueso estudiados, que pasaron por el tamiz N° 200 (75  $\mu$ m) así como fotografías de las mismas.



**Figura 1.** A la izquierda, muestra de arena entera y partículas de arena magnetizables adheridas al imán sobre respectivos vidrios de reloj donde se pesaron; a la derecha imagen ampliada de arena adherida a imán de Neodimio.

**Tabla 1.** Caracterización química elemental de partículas tamizadas de arena y hueso calcinado.

		Caracoles (Círculo rojo)	Partículas negras y grises (Círculo azul y verde)	Partículas rojizas (Círculo violeta)	
Arena			O 50,09	O 47,5	
			Na 4,36	Na 1,17	
			Mg 0,85	M 0,48	
			Al 9,72	Al 5,74	
			Si 26,86	Si 37,3	
			K 2,66	K 5,19	
			Ca 1,82	Ca 0,24	
			Ti 0,52	Ti 0,11	
			Mn 0,18	Fe 2,3	
			Fe 2,93		
Hueso		Partículas negras (Círculo azul)	Partículas grises (Círculo verde)		
		O 48,66	O 46,97		
		Na 1,02	Na 0,79		
		Mg 0,72	Mg 0,76		
		Al 0,26	Al 0,24		
		Si 0,56	Si 0,38		
		P 16,57	P 17,18		
		S 0,16	S 0,29		
		Ca 31,88	K 0,12		
		Fe 0,18	Ca 33,26		

La Tabla 2 muestra los porcentajes de remoción obtenidos con cada material para muestras preparadas con sólo un contaminante (muestras sin competencia) como para muestras con tres

contaminantes en forma simultánea, arsénico, flúor y nitratos (muestras con competencia). La muestra de amonio se estudió solamente como contaminante aislado y sólo con hueso.

**Tabla 2.** Porcentajes de remoción de contaminantes en muestras sin y con competencia iónica.

Muestras sin competencia			
	Hueso	Arena	Hueso y Arena
As	62,50	13,59	58,70
F <sup>-</sup>	79,92	3,21	79,92
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-86,49	-6,31	-8,11
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	11,52		
Muestras con competencia			
	Hueso	Arena	Hueso y Arena
As	55,72	29,35	61,19
F <sup>-</sup>	68,55	4,40	68,55
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-78,90	-12,84	-6,42

Las determinaciones de hierro en arena y de material magnetizable (Figura 1) arrojan valores de 1,35% y 24,7% respectivamente. Los compuestos magnetizables en arena principalmente Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ): óxido de hierro con propiedades magnéticas. Esas diferencias pueden atribuirse a fricción electrostática ya que el movimiento del imán sobre la arena puede generar cargas electrostáticas, las cuales son capaces de atraer partículas no magnéticas muy finas, como cuarzo o arcillas, especialmente si estas tienen bajo peso o si están muy próximas al imán. En la composición tanto de arena como de hueso se repiten casi todos los elementos a excepción del titanio y el manganeso que solo se encuentran en la arena. Naturalmente en la conchilla la proporción de calcio resulta tan importante como en el hueso.

De la Tabla 2 puede concluirse que la remoción de iones en las muestras sin competencia, el hueso muestra un comportamiento marcadamente superior al de la arena tanto para As como para F-. La combinación de ambos materiales no mejora la remoción de As ni de F- pero muestra una disminución del aporte de nitratos por el hueso respecto a la muestra sin arena. Los resultados muestran que el  $\text{NH}_4^+$  es pobremente adsorbido por el hueso. Por su parte, en las muestras con competencia disminuye la capacidad de retención de contaminantes del hueso pero mejora para la arena.

#### 4. Conclusiones

Los resultados obtenidos evidencian que el hueso calcinado constituye un material eficiente para la remoción de arsénico y flúor en soluciones contaminadas, superando notablemente a la arena en capacidad adsorbente. En particular, en condiciones sin competencia de contaminantes, se observó un desempeño superior del hueso tratado térmicamente, mientras que, en presencia simultánea de arsénico, flúor y nitratos, su eficacia se mantuvo destacada. Sin embargo, tanto el hueso calcinado como la arena demostraron aportar nitratos al medio acuoso durante el proceso de remediación, lo cual representa una limitación importante. Por lo tanto, se sugiere la incorporación de un tratamiento reductor complementario para eliminar este contaminante residual.

Respecto a la remoción de amonio, los ensayos realizados exclusivamente con hueso calcinado indican su potencial como agente de tratamiento, aunque se requieren estudios adicionales para evaluar su eficacia en presencia de múltiples

contaminantes. En conjunto, los resultados respaldan el uso del hueso calcinado como una alternativa accesible y eficaz para la remediación de aguas con contaminantes inorgánicos, especialmente en contextos donde se busca aplicar tecnologías de bajo costo.

#### 5. Agradecimientos

Los investigadores agradecen el apoyo de esta investigación de la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Bahía Blanca. PID MAINNB0010061.

#### 6. Referencias

- Dey, S. \*, Haripavan, N., Basha, S.R. & Babu, G.V. (2021) Removal of ammonia and nitrates from contaminated water by using solid waste bio-adsorbents. *Current Research in Chemical Biology*.
- Donoso, R., & Cortés, S. (2018). Exposición a nitratos en agua y su relación con disfunción de la glándula tiroides: revisión sistemática ¿Existen riesgos para la salud de la población? *Revista médica de Chile*, 146(2), 223-231.
- Espósito, M., Sequeira Mario E., Paoloni J., Blanco M. & Amiotti, N. (2013) Concentraciones de flúor y otros elementos, en aguas del sur de la llanura pampeana, Argentina. *Agua subterránea, recurso estratégico*. Tomo II, VIII Congreso Argentino de Hidrogeología y VI Seminario Latinoamericano sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea.
- Kamal, M. Z., Md. Hashim, D., & Zin, M. S. (2015). The effect of the ammonium concentration in the groundwater. *People: International Journal of Social Sciences*, 1(1), 313–319.
- Kaseva, M. E. (2006). Optimization of regenerated bone char for fluoride removal in drinking water: A case study in Tanzania. *Journal of Water and Health*, 4(1), 139–147.
- Monroy-Torres, R., & Espinoza-Pérez, J. A. (2018). Factores que intensifican el riesgo toxicológico en comunidades expuestas al arsénico en agua. *Ciencia UAT*, 12(2), 148-157.
- Neira M, Gore F, Bruné M, Espina C, Rodríguez L & Pronczuk J. (2010) Salud infantil y

- medio ambiente: iniciativas de la Organización Mundial de la Salud. Bol Pediatr.;50(Supl. 1):4-10. Accessed October 16, 2025. <https://boletindepediatria.org/boletin/article/view/535>
- Puntoriero, M. L., Volpedo, A. V., & Fernández Cirelli, A. (2014). Riesgo para la población rural en zonas con alto contenido de arsénico en agua. Acta toxicológica argentina, 22(1), 15-22.
- S.M. Didar-UI Islam. (2023) Electrochemical remediation of arsenic and fluoride from water: A review of the current state and future prospects, Environmental Technology & Innovation, Volume 31, 103148, ISSN 2352-1864,
- Valenzuela, L., Ramírez-Hernández, J., Sol, J. A., & Reyes, J. A. (2011). Alternativas para la eliminación doméstica de flúor en el agua de consumo humano. Información Tecnológica, vol.22, n.2 [citado 2025-10-15], pp.23-32.
- Vineet Kumar Rathore and Prasenjit Mondal. (2017) Competitive Adsorption of Arsenic and Fluoride onto Economically Prepared Aluminum Oxide/Hydroxide Nanoparticles: Multicomponent Isotherms and Spent Adsorbent Management. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2017, 56 (28), 8081-8094.