

# Tratamiento biológico del agua subterránea para la remoción de Arsénico, un caso particular

Ángel Storniolo<sup>1</sup>, Elsa Terribile<sup>1</sup>, Walter Trejo<sup>1</sup>, Rene Rodriguez<sup>1</sup>, Graciela Sanguinetti<sup>2</sup>, Romina Vidoni<sup>2</sup> y Virginia Pacini<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento Académico de Geología y Geotecnia, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE), Av. Manuel Belgrano (S) 1912 Santiago del Estero, (4200), Santiago del Estero, Argentina.

<sup>2</sup> Centro de Ingeniería Sanitaria, Universidad Nacional de Rosario, Riobamba 245 bis, Rosario, Santa Fe, Argentina.

Mail de contacto: [arstorniolo@yahoo.com.ar](mailto:arstorniolo@yahoo.com.ar)

---

## RESUMEN

La remoción del arsénico del agua que consumen los pobladores en las zonas rurales es una preocupación de investigadores dedicados a desarrollar métodos de bajo costo para tal fin. Algunos desarrollando métodos que aseguren un caudal constante agua segura, como el Centro de Ingeniería Sanitaria de la UNR que en conjunto con investigadores del Departamento Académico de Geología y Geotecnia de la UNSE, realizaron una prueba piloto para la eliminación del arsénico conjuntamente con el hierro y manganeso utilizando la técnica de la doble filtración biológica patentada por ellos como Proceso BioCIS-UNR®, en una Escuela en el interior de la Provincia de Santiago del Estero, con resultados alentadores. Actualmente esta Planta se trasladó a la localidad de Negra Muerta con el objeto de tratar el agua de la perforación que abastece a pobladores del lugar. El agua, con una concentración inicial de 1324 µg/L de arsénico y 30 µg/L de hierro, fue tratada y los primeros resultados de filtrado mostraron una remoción de arsénico del orden del 93 %. Palabras clave: remoción, arsénico, filtración biológica, agua

---

## ABSTRACT

The arsenic removal of rural people's water is a concern for researchers dedicated to developing low-cost methods for this purpose. Some have developed methods to ensure a constant flow rate of safe water, such as the "Centro de Ingeniería Sanitaria de la UNR" (Center for Sanitary Engineering at UNR) working alongside with researchers of the "Académico de Geología y Geotecnia de la UNSE" (Academic Department of Geology and Geotechnics of UNSE), conducted a pilot test in order to remove arsenic in conjunction with iron and manganese, using the technique of dual biological filtration process patented by them as BioCIS-UNR®, in an inland school of the Province of Santiago del Estero, with encouraging results. Currently this plant was moved to the locality of "Negra Muerta" in order to treat water drilling that supplies local people. The water, with an initial concentration of 1324 µg/L of arsenic and 30 µg/L of iron, was treated and the first filtering results showed a 93% of arsenic removal.

Keywords: remove, arsenic, biological filtration, water

---

## Introducción

En muchos lugares de nuestra Provincia de Santiago del Estero los pobladores rurales consumen agua subterránea de fácil accesibilidad con características físico químicas aceptables, pero en muchos casos con contenido de arsénico por arriba de los valores permitidos por el Código Alimentario Argentino (hoy 50 µg/L), (CAA, SPRyRS y SAGPyA 2007).

Es común ver que esto se repite no solo en las viviendas de los lugareños sino también en asentamientos reducidos de pobladores que comparten una misma fuente de agua con similares características.

El conocimiento de esta realidad ha llevado a un grupo de científicos a desarrollar y probar métodos o técnicas sencillas de bajo costo que permitan la eliminación o el abatimiento del contenido de arsénico del agua de consumo.

Algunos pusieron énfasis en desarrollar equipos de remoción de arsénico de uso individual para ser aplicado en la vivienda del poblador rural disperso (Storniolo A. et al 2008).

Así es que el grupo de investigadores del Departamento Académico de Geología y Geotecnia de la FCEyT – UNSE (DAGG), ha presentado y demostrado como opción válida el FLAs3 (Filtro Laterítico de Arsénico N°3), aparato sencillo, de fácil construcción y bajo costo, que utiliza el suelo laterítico como

elemento filtrante para la remoción de arsénico del agua de consumo. (Storniolo A. et al, 2006, 2010 y 2011).

Otros se dedicaron a desarrollar sistemas que traten caudales continuos de agua para abastecer asentamientos poblacionales y/o establecimientos educativos.

Al respecto este mismo grupo de trabajo en conjunto con Investigadores del Centro de Ingeniería Sanitarias (CIS) de la Universidad Nacional de Rosario, responsable del desarrollo del Proceso BioCIS-UNR®, realizaron una prueba piloto en la Localidad de Suri Pozo instalando una Planta de Tratamiento de agua para la remoción del arsénico, hierro y manganeso utilizando el método de doble filtración biológica, con buenos resultados, (Vidoni R. et al, 2009, 2009a y 2009b).

En base a las experiencias recogidas, referente al filtrado continuo y el tratamiento de aguas de buena calidad físico química y elevado contenido de arsénico; con la colaboración de la Dirección del Programa HACRE de la Provincia de Santiago del Estero seleccionamos un lugar para instalar la Planta de Tratamiento y resolvimos hacerlo en el predio de la Comisión de Fomento de la localidad de Negra Muerta Departamento Banda de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina.

### Objetivo

Asegurar la provisión continua de agua segura a un asentamiento poblacional, mediante la remoción del arsénico presente en el agua subterránea proveniente de una perforación somera, utilizando el método de doble filtración biológica.

### Metodología

La remoción de arsénico valiéndose de la coagulación-adsorción utilizando hidróxidos de Fe y aluminio, es un método de bajo costo operativo para tratar aguas de baja dureza y poco contenidos de sales totales.

Consiste en dos etapas de filtración biológica en arena, aeración intermedia y ajuste de pH (Czekalla et al., 1985; Mouchet, 1992; Gislette, 1997).

Las bacterias filamentosas como la Gallionella se adhieren al elemento filtrante acelerando la oxidación y precipitación principalmente del hierro el cual adsorbe el arsénico formando hidróxidos complejos de poca estabilidad.

El Proceso BioCIS-UNR®, con registro de marca y patente del Centro de Ingeniería Sanitaria, se basa en la aeración, prefiltración ascendente (grava) y filtración rápida (arena

fina), donde las ferrobacterias catalizan la oxidación del Fe formando floc biológicos que adsorben el arsénico presente en el agua.

La misma Planta que se utilizó en Suri pozo es la que instalamos en la localidad de Negra Muerta con el fin de tratar el agua de una perforación somera.

### Identificación de fuente de provisión de agua

En primera instancia se procedió a la identificación de la obra de provisión de agua, la cual trata de una perforación somera de 7 m de profundidad entubada en PVC C6 de 110 mm de diámetro con filtro ranurado, que explota el agua del acuífero freático.

Esta agua actualmente se extrae mediante una electro bomba centrífuga de ½ HP ubicada en un nicho de ladrillos próximo a la entrada al predio de la Comisión de Fomento, Figura 1 y 2.



**Figura 1:** Nicho y perforación somera ubicada en el predio de la Comisión de Fomento al inicio del proyecto.



**Figura 2:** El mismo nicho una vez instalada la Planta con la parte superior de ésta en el fondo.

Los ensayos realizados en la perforación y las características físicos químicas del agua, que de ella se extrae (Tabla 1), cumplieron con las premisas a tener en cuenta para la aplicación del método.

**Tabla 1.** Resultados de los análisis físicos - químicos del agua cruda a tratar

Color	No	C.E. 25° C	941 μS/cm
Olor	No	R. S.105°C	707 mg/l
Turbidez	No	Alcalinidad. total	275 mg/l
ph.	7,23	Dureza total	88 mg/l
Cationes	mg/l	Aniones	mg/l
Ca <sup>++</sup>	24	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	335
Mg <sup>++</sup>	7	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	--
Na <sup>+</sup>	173	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	82
K <sup>+</sup>	7	Cl <sup>-</sup>	79
As	0,1324 mg/l	Agua Sulfatada Sódica	
Fe	0,03 mg/l	INTERPRETACIÓN: Agua químicamente	
F	1,92 mg/l	<b>NO APTA</b> para consumo humano, según normas vigentes y a la fecha de realizado el análisis. Exceso de A	

### Instalación de la Planta de Tratamiento

Una vez decidida la instalación de la Planta se procedió a realizar los trámites de permiso correspondientes ante el Comisionado zonal, el que nos brindó el total apoyo institucional.

En consecuencia se procedió al traslado de la Planta desde el Instituto de Recursos Hídricos de la FCEyT donde se encontraba guardada al predio de la Comisión de Fomento.

Ya en el predio y definido el lugar de ubicación de la Planta se procedió a la identificación, concentración, limpieza y control de sus partes.

Una revisión minuciosa permitió definir el reemplazo de aquellos elementos en mal estado o de dudosa condición, la reparación de aquellas partes dañadas y la presentación previa (armado tentativo) teniendo en cuenta el lugar donde se la instalaría.

Como resultado de esto se resolvió no instalar la torre ni el tanque de almacenamiento del agua a tratar, decisión apoyada en el hecho de la posibilidad de contar con energía eléctrica y utilizar una bomba centrífuga para extraer el

agua del pozo y elevarla directamente al aireador superior.

Cumplido este paso se iniciaron las obras civiles para adecuar la pared y el piso de hormigón donde se fijaría la torre.

Una vez fraguado el hormigón de seguridad de los laterales y la base de la torre se procedió al armado de la Planta.

En la plataforma superior se instaló el tanque de 1000 L en cuyo interior se ubicó un cilindro aireador, consistente en un caño de PVC de 500 mm de diámetro de aproximadamente 2 m de largo con falso fondo relleno con anillos tipo Pall de 5 cm de diámetro.

Debajo de la plataforma superior se ubicó el prefiltro de filtración ascendente también de caño de PVC de 500 mm de diámetro y tres metros de largo. Junto a este se situó el filtro rápido de filtrado descendente de PVC de 200 mm de diámetro y mismo largo, Figura 3.



**Figura 3:** Filtros rápidos, ascendente y descendente.

En el primero de los filtros se depositó el manto filtrante compuesto por grava de granulometría de 6 a 10 mm y en el segundo un manto de arena de 0,9 a 1,10 mm de diámetro promedio.

A continuación y frente al filtro rápido se ubicó el vertedero consistente en un caño de PVC de 110 mm. Figura 5.

Por último se construyó un playón de ladrillo y hormigón de tamaño suficiente donde se ubicó el tanque de PVC de 1800 L de

capacidad para recibir y almacenar el agua tratada.

Una vez concluida la ubicación y el asegurado de las partes se trabajó en la conexión de las mismas.



**Figura 4:** Vista del vertedero y Filtro rápido.

Estas se realizaron con cañería de polipropileno rojo tricapa de  $\frac{3}{4}$  pulgadas de diámetro. Todos los accesorios que se necesitaron fueron nuevos y del mismo material.

Las uniones roscadas se aseguraron con teflón y sella rosca según la necesidad a los efectos de evitar pérdidas.

En todos los casos se tuvo en cuenta el ensamblado de tal manera que cualquiera de las partes de la Planta pueda ser retirada o suplantada sin necesidad de un desmantelado mayor o total.

La conexión entre la fuente de provisión de agua (perforación) y la Planta de tratamiento se realizó con caño de polipropileno negro, el cual se enterró en una zanja especial con cama de arena y cubierta de ladrillo y tierra natural a los efectos de protección.

Para un control del funcionamiento y avance del proceso de filtrado, en cada una de las partes se resolvió la instalación de un grifo de  $\frac{3}{4}$  pulgada que permita efectuar la toma de muestras de aguas para análisis.

Con ese criterio se instaló un primer grifo en el caño de subida del agua a la torre de aireación, el segundo en la cañería de bajada al filtro de filtrado ascendente, el tercero en la cañería de conexión entre este filtro y el filtro rápido descendente de arena y el último a la

salida del caño de oxigenación antes del ingreso al tanque de almacenamiento de agua tratada.

Una vez instaladas y conectadas todas las partes de la Planta, según el diseño planteado, se realizó la primera prueba de funcionamiento integral del sistema.

La misma consistió en bombear agua hasta llenar el tanque superior de 1000 L y dejar filtrar con circulación libre con el objeto de detectar fallas en el diseño, observar el correcto funcionamiento de los filtros, las uniones entre las partes, y sobre todo las pérdidas de agua en las roscas, lo que es normal se presenten en este tipo de instalaciones.

Una vez corregidos los inconvenientes se puso en funcionamiento la Planta durante cuatro días, 6 horas por día, para que se lave naturalmente sin la necesidad de utilizar químicos.

Durante este tiempo se trabajó en el calibrado de la velocidad de filtrado a los efectos de lograr estabilizar el sistema y evitar rebase de agua tanto en el filtro de grava como en el de arena.

Esto se logró regulando las llaves esféricas de paso de agua y controlando los piezómetros de niveles instalados en ambos filtros.

Con la Planta probada y en condiciones de funcionar correctamente se realizaron las primeras pruebas de filtrado efectivo tal cual lo establece el método.

Se tomaron muestras de agua al ingreso a la planta (agua cruda sin tratar), como a la salida antes del ingreso al tanque de almacenamiento (agua tratada).



**Figura 5:** Planta de Tratamiento

La Figura 5 muestra la Planta de tratamiento terminada y en funcionamiento. Actualmente solo falta automatizar el sistema de provisión de agua a tratar y colocar un alambrado perimetral para evitar el vandalismo.

### Ensayos de filtrado

Una vez ajustado el funcionamiento y lavada la Planta, se procedió a realizar los primeros ensayos de filtrado.

Se bombeo agua desde la perforación hasta completar el tanque receptor del aireador, aproximadamente 1000 L para lo que se necito un tiempo de 1 hora.

A medida que esto sucedía el agua descendía hacia el prefiltro y filtro rápido donde se producía la acción de filtrado. Esta acción se pudo controlar observando los piezómetros instalados en ambos tubos.

El agua filtrada previo paso por el vertedero se fue almacenando en el tanque receptor de agua tratada.

Se realizaron cuatro pruebas de filtrado una por semana y en todos los casos se tomaron dos muestras para determinación de arsénico.

Las muestras de agua se tomaron: la primera en el grifo ubicado sobre el caño de subida del agua al aireador (agua cruda) y la segunda en grifo ubicado antes del tanque receptor de agua tratada (agua filtrada). La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 2.** Resultados de los análisis físicos - químicos de las pruebas de filtrado

Agua cruda				
As µg/L	1324	1398	1265	1330
Agua tratada				
As µg/L	80	80	95	50
% de remoción	94	94	93	96

### Conclusiones

El método de biofiltración para la remoción de hierro y manganeso puede ser también eficiente para la eliminación en forma simultánea de As del agua subterránea.

Durante el filtrado las bacterias influyen en la oxidación del hierro y manganeso, y la formación de hidróxidos complejos de poca estabilidad con el arsénico, los que precipitan.

La utilización de este tipo de Plantas (BioCIS-UNR®) puede ser una ventaja en el tratamiento continuo de aguas que solo presentan exceso de arsénico.

También se puede considerar como ventajoso su bajo costo, fácil instalación, y mantenimiento y su atención no requiere mano de obra calificada.

Las primeras pruebas de filtración dieron resultados alentadores, la remoción de arsénico estuvo entre el 93 y 96 %.

### Recomendaciones

Como próximo paso se recomienda la instalación de un vallado perimetral que impida acciones vandálicas contra la Planta.

Automatizar el sistema con la instalación de flotantes automáticos en el tanque de aireación y el receptor de agua tratada.

Capacitar a personal de la Comisión de Fomento para la atención y mantenimiento de la Planta.

Realizar controles periódicos del funcionamiento de la Planta mediante la toma de muestras y los análisis aunque más no sea de hierro y arsénico.

### Referencias

- CAA, 2007. Resolución Conjunta de la Secretaría de Políticas, Regulación y Relaciones Sanitarias, y de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la Nación, SPRyRS y SAGPyA N°68/2007 y N°196/2007.
- Czekalla et al., C., Mevious, W. and Hanert, H., 1985. Quantitative removal of Fe and Mn by microorganisms in rapid sand filters (in situ investigations) *Water Supply*, 3:143.
- Gislette, P., Mouchet, P., 1997. Iron, Manganese and Ammonia removal in drinking water: the biological treatments. *International Workshop on Iron and AIDIS*, Buenos Aires, Argentina.
- Mouchet, P., 1992. From conventional to biological removal of Fe and Mn in France. *J. AWWA* 84(4), 158-166.
- Storniolo A, Martín R., Thir J., Cortes J., Ramirez A., Terribile M. y Bejarano R., 2006. La tierra roja de la provincia de Misiones como filtro en la eliminación del contenido de arsénico en agua subterránea. *Congreso de Ciencia y Técnica. Catamarca. Investigaciones Docentes en Ingeniería*. 10 N°: 978-987-1341-04-7.
- Storniolo A, Martín R., Ramirez A., Thir J., Terribile M., Cortes J. y Bejarano R., 2008. El arsénico en el agua subterránea de Santiago del Estero algunos métodos para su remoción. *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA. Tomo 1. Capt. III, pp. III25 a III31. editorial ECU UNCa. Catamarca. ISBN 978-987-1341-37-5.*
- Storniolo, A., Martín, R., Thir, J., Ramírez, A., Terribile, M. y Lami Hernández, S., 2010. Desarrollo de filtros de bajo costo para la remoción del arsénico en el agua de consumo. *VI Jornadas de Ciencia y*

- Tecnología de las Facultades de Ingeniería del NOA. Editorial EdiUNju. Jujuy. Capítulo 6 pp 335 a 339. ISSN 3367-5072.
- Storniolo, A., Martín, R., Thir, J., Ramírez, A., Terrible, M. y Lami Hernández, S., 2011. Filtro laterítico de arsénico FLAs3, Remoción de arsénico del agua de consumo, una experiencia en la vivienda del poblador”, 2011. Taller Calidad y Contaminación de Aguas Subterráneas VII Congreso Argentino de Hidrogeología, V Seminario Hispano-Latinoamericano de temas actuales de la Hidrología Subterránea, Salta.
- Vidoni, R., Pacini, V. A., Ingallinella, A. M., Sanguinetti, G., 2009a. Remoción de hierro y manganeso en aguas subterráneas mediante biooxidación: Experiencias a escala real. Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas –San Rafael – Mendoza.
- Vidoni, R., Storniolo A., Pacini, V. A., Ingallinella, A. M., Sanguinetti, G. 2009. Experiencias piloto de remoción simultanea de Arsénico, Hierro y Manganeso en aguas subterráneas en presencia de procesos biológicos. III Taller de Arsénico en Aguas: Presencia de Fluor y Arsénico en aguas subterráneas, VI Congreso Argentino de Hidrogeología. Santa Rosa, La Pampa, pp. 51-60 ISBN N° 978-987-1082-35-3.
- Vidoni, R., Storniolo A., Pacini, V. A., Ingallinella, A. M., Sanguinetti, G., 2009b. Remoción de arsénico en presencia de hierro y manganeso mediante procesos biológicos en aguas subterráneas. Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas – San Rafael – Mendoza.