

Planta de tratamiento continuo de agua subterránea para la remoción de arsénico en la localidad de Negra Muerta, Santiago del Estero.

Ángel del R. Storniolo¹, Elsa M. Terribile², Walter M. Trejo³, Rene Rodriguez⁴, Graciela Sanguinetti⁵, Romina Vidoni⁶, Virginia Pacini⁷.

(1), (2), (3), (4), *Departamento de Geología y Geotecnia, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnológicas, Universidad Nacional de Santiago del Estero.*

arstormiolo@yahoo.com.ar

marceterr@gmail.com

waltermariotrejo@hotmail.com.ar

renejr63@gmail.com

(5), (6), (7), *Centro de Ingeniería Sanitaria, Universidad Nacional de Rosario.*

sanguine@fceia.unr.edu.ar

rvidoni@fceia.unr.edu.ar

vpacini@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN: En el interior de la provincia de Santiago del Estero es común que los pobladores rurales ingieran agua con contenido de arsénico por arriba de los valores recomendados por el Código Alimentario Argentino (CAA) de 50µg/L. Esta situación, que debe ser atendida, ha movilizó a los investigadores del Departamento Académico de Geología y Geotecnia de la UNSE a trabajar en algunos métodos para el abatimiento del arsénico presente en el agua subterránea. Es así que en conjunto con investigadores del Centro de Ingeniería Sanitaria de la UNR han instalado, en la Localidad de Negra Muerta, Dpto. Banda, una Planta de tratamiento continuo destinada a eliminar el arsénico, hierro y manganeso del agua subterránea provista por una perforación somera, utilizando el método de la doble filtración biológica conocido como Proceso BioCIS-UNR®. Los primeros resultados de filtrado mostraron una remoción de arsénico entre el 93 y 96 %. Actualmente con el uso continuo de la Planta este porcentaje ha disminuido considerablemente por lo tanto se está adecuando la planta para trabajar en una segunda etapa agregando sulfato ferroso con el propósito de incentivar la formación de hidróxidos complejos que fijen el arsénico y aumentar su eliminación.

1 INTRODUCCIÓN

En la Provincia de Santiago del Estero como en muchos lugares de la Llanura Chaco-Pampeana, los pobladores rurales consumen agua subterránea de variada características hidroquímicas que van de aguas saladas a salobres con tratamiento de osmosis inversas a aguas con contenido salino dentro de lo aceptable por el CAA pero con la presencia de algunos oligoelementos peligrosos para la salud humana como lo es el arsénico cuyo límite recomendado por el CAA es de (hoy 50 µg/L), (CAA, SPRyRS y SAGPyA 2007).

En muchos lugares es común que esta situación se dé no solo en las viviendas aisladas de los pobladores sino también en asentamientos reducidos o grupos poblacionales que comparten

una misma fuente de provisión de agua, por explotación propia o compartida.

Estas situaciones, con la misma problemática pero con posibilidades diferentes de solución, han generado el interés de grupos de científicos del país y extranjero quienes plantearon métodos y/o técnicas sencillas de bajo costo que permitan la eliminación o el abatimiento del arsénico presente en el agua de consumo.

Algunos grupos desarrollaron métodos y equipos de abatimiento de arsénico para ser utilizados en las viviendas de los pobladores rurales dispersos tales como: el FLAs3 (Filtro Laterítico de Arsénico N°3) del Departamento Académico de Geología y Geotecnia de la FCEyT de la UNSE, (Storniolo A. et al, 2008, 2010 y 2011), 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, 2010 y 2011), Fig. 1; los polvos alufloc y ferrifloc distribuidos por el Ministerio de Salud de la Nación, (M.S., 2012), Fig. 2; el polvo antiarsénico del grupo de investigadores de la Universidad Tecnológica Nacional Regional Tucumán (Graieb, et al 2007), Fig. 3, entre otros.



Figura 1. FLAs3, Filtro laterítico de arsénico.



Figura 2. Balde mezclado de alufloc y ferrifloc.

Otros grupos de investigadores se dedicaron a desarrollar técnicas y/o equipos para tratamiento continuo de agua con el objeto de solucionar el problema de abastecimiento de agua segura a asentamientos poblacionales pequeños o concentraciones humanas reducidas como lo son Escuelas o Centros Zonales donde se pueda situar una planta de tratamiento que los pueda abastecer de agua para consumo o nutrir una red de servicios reducidos.



Figura 3. Sistema de tratamiento domiciliario con polvo antiarsénico.

Entre estos podemos destacar al Ing. Cáceres de la Universidad Nacional de San Juan y su filtro de hierro metálico (Cáceres O. 2007) Fig 4, o el Centro de Ingeniería Sanitaria (CIS) de la Universidad Nacional de Rosario responsable del desarrollo del Proceso BioCIS-UNR® con su planta de tratamiento que usa el método de doble filtración biológica para la remoción conjunta de arsénico, hierro y manganeso, (Vidoni, et al 2009a, 2009b) Fig. 5.



Figura 4. Planta de tratamiento por corrosión de lecho fijo de hierro metálico.

Con relación a este método el Departamento Académico de Geología y Geotecnia (DAGG) conjuntamente con el Centro de Ingeniería Sanitarias (CIS), realizaron una prueba piloto en la

Localidad de Suri Pozo, Dpto. Robles, instalando en la escuela del lugar, una planta de tratamiento de agua para la remoción del arsénico, hierro y manganeso utilizando el método de doble filtración biológica.



Figura 5. Planta de Proceso BioCIS-UNR® en López provincia de Santa Fe.

Las pruebas se realizaron durante más de dos años y se dividieron en dos etapas, los resultados fueron aceptables situando la concentración de arsénico remanente por debajo de lo recomendado por el CAA. (Vidoni R. et al, 2009, 2009a y 2009b), Fig. 6.



Figura 6. Planta de Proceso BioCIS-UNR® en Suri Pozo provincia de Santiago del Estero.

Esta planta fue retirada de la Escuela de Suri Pozo cuando la misma fue provista de agua segura mediante un acueducto.

En base a la experiencia obtenida en esta planta referente al tratamiento de agua de buena calidad físico química pero con la presencia elevada de arsénico, el DAGG con la participación del CIS, resolvió reinstalar la planta en un lugar donde se necesite filtrar el agua para eliminar el arsénico.

Con la colaboración de la Dirección del Programa HACRE de la Provincia de Santiago del Estero se seleccionó un lugar y de común acuerdo se resolvió hacerlo en el predio de la Comisión de Fomento de la localidad de Negra Muerte Departamento Banda de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina.

2. OBJETIVOS

Proveer de agua segura a la localidad de Negra Muerte mediante el tratamiento del agua subterránea de una perforación somera a través del método de la doble filtración biológica, proceso BioCIS-UNR®.

3. METODOLOGIA

3.1 Fundamentos científicos del método

El tratamiento de agua subterránea para eliminar el arsénico utilizando la coagulación y posterior adsorción generando la formación de hidróxidos de hierro y aluminio, es un método continuo de bajo costo para tratar aguas con poco contenido de sales totales pero con concentración de arsénico superior a lo recomendado por el CAA (50 µg/L).

Básicamente el método consiste en tratar el agua en dos etapas de filtración biológica de grava y arena, aeración intermedia y ajuste de pH (Czekalla et al., 1985; Mouchet, 1992; Gislette, 1997).

La aireación lenta del agua a tratar favorece la generación de bacterias filamentosas como la *Gallionella* la cual es capaz de adherirse al elemento filtrante (grava y arena) acelerando la oxidación y formación de hidróxidos principalmente del hierro muy amigable del arsénico el cual puede ser adsorbido generando otros hidróxidos más complejos de poca estabilidad de fácil precipitación.

La propuesta del CIS para el tratamiento de agua mediante el proceso BioCIS-UNR®, con registro de marca y patente del Centro de Ingeniería Sanitaria, se basa en la aeración del agua a tratar, la pre filtración ascendente a través de un filtro de grava y una segunda filtración rápida por un manto de arena fina. En ambos las ferro bacterias catalizan la oxidación del hierro formando floc biológicos que adsorbe el arsénico presente en el agua de manera tal que el agua resultante tiene

menor cantidad de arsénico que la extraída de la perforación somera.

3.2. Identificación de fuente de provisión de agua

El predio de la Comisión de Fomento de la localidad de Negra Muerta posee un sistema de provisión de agua consistente en una perforación somera de 7 m de profundidad entubada en PVC C6 de 110 mm de diámetro con filtro ranurado, que explota el agua el acuífero freático con nivel estático de - 3.50 m.

Actualmente el agua subterránea se extrae utilizando 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.



Figura 7. Nicho y perforación somera ubicada en el predio de la Comisión de Fomento al inicio del proyecto.

Para determinar la posibilidad de la aplicación del método se realizó una toma de muestra del agua que entrega el pozo para realizarle análisis físicos químicos y de esta manera determinar si la misma es factible de tratar con el método propuesto. La Tabla 1 muestra los resultados de los análisis de la muestra de agua cruda a tratar.

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

Color	No	C.E. 25° C	941 µS/cm
Olor	No	R. S.105°C	707 mg/l
Turbidez	No	Alcal. total	275 mg/l
pH.	7,23	Dur. total	88 mg/l
Cationes	mg/l	Aniones	mg/l
Ca ⁺⁺	24	HCO ₃ ⁻	335
Mg ⁺⁺	7	CO ₃ ⁼	--
Na ⁺	173	SO ₄ ⁼	82
K ⁺	7	Cl ⁻	79
F	1,92	Agua Sulfatada Sódica	
As	0,1324		
Fe	0,03	INTERPRETACIÓN: Agua químicamente NO APTA para consumo humano, Exceso de As	

De acuerdo a los valores medidos en el agua cruda, esta es factible de remediar utilizando el método del CIS instalando una planta de proceso BioCIS-UNR®.

3.3. Instalación de la Planta de Tratamiento

Con la confirmación de la posibilidad de aplicación del método de que se trata, se realizaron los trámites correspondientes ante el comisionado Zonal Don Antonio Vega quien no solo nos autorizó sino que presto todo su colaboración consiguiendo un camión para el traslado de la planta desde el Instituto de Recursos Hídricos de la Facultad de Ciencias Exactas hasta el predio de la Comisión de Fomento.

Una vez depositada la planta en el predio, se procedió a la identificación de las partes y limpieza. 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.

El lugar elegido para apoyar la estructura metálica de la planta fue la pared este de la Cantina, justo en el ángulo que forma con la pared sur de los Servicios que actualmente se están construyendo.

Definido el lugar se iniciaron las obras civiles para adecuar la pared y el piso de hormigón donde se fijaría la torre sobre la cual se ubicaría el aireador con el tanque receptor del agua cruda.

Una vez fraguado el anclaje de la torre y el piso de hormigón se definió la ubicación de los filtros el aireador final, el tanque receptor del agua tratada y el grifo dispensador de esta.

En la plataforma superior de la torre metálica, se ubicó el tanque de 1000 L, receptor del agua a tratar, en cuyo centro se calzo el cilindro aireador, consistente en un caño de PVC de 500 mm de diámetro de aproximadamente 2 m de largo provisto de un fondo falso relleno con anillos tipo Pall de 5 cm de diámetro.

Bajo la plataforma metálica superior, sobre el piso de hormigón se ubicaron los pre filtros y el vertedero.

Hacia la izquierda se instaló el pre filtro de filtración ascendente consistente en un caño de PVC de 500 mm de diámetro y 3 m de largo relleno hasta la mitad con grava seleccionada de granulometría de 6 a 10 mm.

Junto a este, hacia la derecha, se situó el filtro rápido de filtrado descendente que trata de un caño de PVC de 200 mm de diámetro, 3 m de largo, con un metro relleno de arena fina de granulometría entre 0,9 y 1,10 mm. Figura 8.



Figura 8: Filtros rápidos, ascendente y descendente.

A continuación y hacia el frente de la estructura se ubicó el vertedero consistente en un caño de PVC de 110 mm, con ingreso de agua filtrada por la parte inferior. Figura 9.



Figura 9: Filtro rápidos y vertedero.

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. 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 que el ensamblado sea con uniones dobles 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 y tierra natural con cama de arena y cubierta de ladrillo a los efectos de lograr una efectiva protección y tratar de restaurar el entorno a su estado natural.

La necesidad de un seguimiento continuo del 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.

Para esto se instaló el 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 funcionamiento de los filtros, las uniones entre las partes, y sobre todo las pérdidas de agua en las roscas, si las hubiera.

Realizado esto se procedió a corregir los inconvenientes surgidos, reemplazar lo que se consideró necesario hasta lograr el correcto funcionamiento. Logrado esto se realizó una filtrada continua de 6 horas por día durante cuatro días a los efectos de que la Planta 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. Para esto se regularon las aberturas de las llaves esféricas de paso de agua. El control del funcionamiento se efectuó a través de los piezómetros instalados en ambos pre 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.

La Figura 10 muestra la Planta de tratamiento terminada y en funcionamiento. Actualmente se mejoró el entorno a las instalaciones y próximamente se trabajará en la automatización del sistema de tal manera que funcione de acuerdo al requerimiento de la población.

Para asegurar la planta y evitar el vandalismo se instalara un alambrado perimetral.



Figura 10. Planta de Tratamiento

3.4. Ensayos de Filtrado

Lavada la Planta y ajustado su funcionamiento se procedió a realizar los primeros ensayos de filtrado. En consecuencia se bombeo agua desde la perforación hasta completar el tanque receptor del aireador, con capacidad de 1000 L para lo que se necito un tiempo de 1 hora.

Mientras se producía el llenado del referido tanque el agua descendía hacia los prefiltros pasaba a través de estos para llegar al vertedero y por ultimo ser almacenada 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.

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

4. CONCLUSIONES

El método de biofiltración para la remoción de arsénico hierro y manganeso puede ser eficiente para el tratamiento continuo del agua subterránea. El proceso consiste en la generación de g bacterias planas que favorezcan la oxidación del hierro y la adsorción del arsénico formando hidróxidos complejos de poca estabilidad los que precipitan. La utilización de este tipo de Plantas (BioCIS-UNR®) puede ser una ventaja en el tratamiento continuo de aguas dulces que solo presentan exceso de arsénico.

Son instalaciones sencillas de bajo costo, fácil mantenimiento y atención que no requiere mano de obra calificada.

Los primeras ensayos de filtrado dieron resultados alentadores, la remoción de arsénico estuvo entre el 93 y 96 %.

5. 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.

6. REFERENCIAS

- CAA. *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, 2007.*
- Cáceres Roberto. Abatimiento de arsénico por corrosión de un lecho fijo de hierro metálico. *Instituto de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan, 2007.*
- Czekalla et al., C., Mevius, W. & Hanert, H. Quantitative removal of Fe and Mn by microorganisms in rapid sand filters (in situ investigations) *Water Supply, 3:143, 1985.*
- Gislette, P. & Mouchet, P.. Iron, Manganeso and Ammonia renewal in drinking water: the biological treatments. *International Workshop on Iron and AIDIS, Buenos Aires, Argentina, 1997.*

- Graieb, O., Graieb, V. & Tintily, S. Atención al HACRE en pobladores rurales dispersos. *II Taller sobre arsénico en aguas. V Congreso Hidrogeológico Argentino*, pp 77-86. Impreso SA, 2007.
- Ministerio de Salud, Presidencia de la Nación Argentina. Hidroarsenismo Crónico Regional Endémico (HACRE), modulo abatimiento de arsénico. *Serie: tema de salud ambiental N° 10*, 2012.
- Mouchet, P. From conventional to biological removal of Fe and Mn in France. *J. AWWA* 84(4), 158-166, 1992.
- Storniolo A, Martín R., Ramirez A., Thir J., Terribile M., Cortes J. & Bejarano R. 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*, 2008.
- Storniolo, A., Martín, R., Thir, J., Ramírez, A., Terribile, M. y Lami Hernández, S. 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*, 2010.
- Storniolo, A., Martín, R., Thir, J., Ramírez, A., Terribile, M. y Lami Hernández, S. Filtro laterítico de arsénico FLAs3, Remoción de arsénico del agua de consumo, una experiencia en la vivienda del poblador". *Taller Calidad y Contaminación de Aguas Subterráneas VII Congreso Argentino de Hidrogeología, V Seminario Hispano-Latinoamericano de temas actuales de la Hidrología Subterránea, Salta, 2011*.
- Vidoni, R., Pacini, V. A., Ingallinella, A. M., Sanguinetti, G., Remoción de hierro y manganeso en aguas subterráneas mediante biooxidación: Experiencias a escala real. *Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas –San Rafael – Mendoza, 2009a*.
- Vidoni, R., Storniolo A., Pacini, V. A., Ingallinella, A. M., Sanguinetti, G., 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, 2009b*.
- Vidoni, R., Storniolo A., Pacini, V. A., Ingallinella, A. M., Sanguinetti, G. 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*, 2009.