

Ingeniería aplicada con proyección social: “filtro casero” para eliminar arsénico en zonas rurales

Hernán Santa Cruz^{1,2}, John H. Martínez¹, Guillermo Blasón¹, Ivana M. Magario^{2,3} y Héctor R. Zanoni^{1,2}

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Córdoba, Argentina

²Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

³Instituto de Investigación y Desarrollo en Ingeniería de Procesos y Química Aplicada IPQA (UNC - CONICET), Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

Fecha de recepción del manuscrito: 08/08/2019

Fecha de aceptación del manuscrito: 28/05/2020

Fecha de publicación: 31/10/2020

Resumen— En este trabajo se presenta un filtro domiciliario como solución integral para la reducción de contaminantes (arsénico y fluoruros) de las aguas de pozo en zonas rurales con escasos recursos. Se integró de forma simple y austera elementos filtrantes, para reducir los niveles de arsénico y flúor de agua para consumo, dentro de lo sugerido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y/o Código Alimentario Argentino (CAA). El soporte del filtro fue conformado por baldes de plástico de 20 L, auto-portantes. Como elementos filtrantes se emplearon: clavos de obra, arena gruesa, carbón de hueso y leña. El contenido de arsénico se redujo a los niveles aconsejados en nuestro país ($\leq 0,05$ mg/L) luego de cada ciclo de filtrado de 20 L y durante 7 ciclos consecutivos. Los fluoruros se abatieron por debajo de 1 mg/L. Ensayos de durabilidad escalados a 1 L sugieren que el filtro fue capaz de retener arsénico por períodos mayores a un mes o más de 500 L antes del recambio de clavos. El acompañamiento del filtro desarrollado en experiencias de campo para su implementación en la zona ha permitido ampliar la formación de ingenieros industriales con herramientas sociales para su futura profesión.

Palabras clave—Agua para consumo, arsénico, fluoruros, HACRE, proyección social

Abstract— In this work a home filter is presented as a whole solution for contaminant reduction (arsenic and fluoride) from groundwater in rural areas with low resources. It was possible to couple in a simple and frugal mode different filter elements, in order to reduce the arsenic and fluorine levels of water that fulfills the parameters required by the World Health Organization (WHO) and/or Argentinean Food Code (CAA). The support of the filter was consisted by 20 L plastic buckets. The filter elements were nails, sand, bone and wood charcoal. The arsenic content of filtered water was reduced to the levels required in the country for arsenic (≤ 0.05 mg/L) after each 20 L batch filtration of groundwater (0.25 mg/L) and during seven consecutive batch filtration assays. The fluoride was diminished below 1 mg/L. The durability tests scaled to 1 L buckets suggest that the filter retains arsenic for periods longer than one month or more than 500 L, before re-change of nails is required. Field experiences in order to spread and implement the home-filter in the affected zone enabled the educational training of industrial engineering students into useful social tools for their future professional working.

Keywords—Drinking water, arsenic, fluoride, chronic arsenic poisoning, social projection

INTRODUCCIÓN

Según Aquiles Gay, "El ingeniero es un hombre que partiendo de conocimientos, ideas, recursos, medios y material humano, construye objetos o productos tecnológicos, realiza proyectos técnicos o desarrolla procesos tecnológicos; su objetivo fundamental es, como planteo general, mejorar la calidad de vida del ser humano"

(Gay, 2014). De esta definición se desprende el concepto del rol social del ingeniero. La *Proyección Social* es una función de transferencia de conocimientos adoptada recientemente por instituciones educativas como parte constitutiva de su modelo de enseñanza-aprendizaje (Orozco, 2018). En este marco, se propone que estudiantes y docentes se involucren y contribuyan al desarrollo humano integral de la comunidad en la que la institución educativa se encuentra inserta, a través de diversas actividades, proyectos y programas que implican la construcción conjunta de acciones para abordar complejas realidades sociales desde distintas incumbencias disciplinares. Dichas acciones buscan efectivizarse una vez concluida -o inclusive durante- una etapa de desarrollo ingenieril de un producto, el cual se propone como solución a una problemática concreta. De esta manera, se aplica una

Dirección de contacto:

Autor, Av. Armada Argentina 3555 (X5016DHK)
Campus Universitario, Facultad de Ingeniería-UCC,
Teléfono 0351 4938080, miskiyacu.ing@ucc.edu.ar.

estrategia de transferencia para insertarlo en la zona y la vida misma de las personas afectadas. Asimismo, la proyección social fomenta en los alumnos el desarrollo de estrategias de solución de problemas, el fortalecimiento de su pensamiento crítico e ingenio para resolver situaciones reales y concretas investigando y proponiendo soluciones a adversidades que se presenten en el avance del trabajo.

El consumo de agua es un hábito que no se cambia de un día para el otro. Más aún, si el agua aparenta ser de excelente calidad al salir de la fuente, como es el caso particular de este trabajo, donde no se evidencia la presencia de sustancias tóxicas, como son el arsénico y los fluoruros (Osicka *et al.*, 2002). El arsénico, es muy perjudicial para la salud en insignificantes proporciones, y no produce una consecuencia inmediata por la ingesta de agua de bebida contaminada. Cualquier individuo común difícilmente pueda atribuir una enfermedad crónica como el HACRE (Villaamil Lepori, 2015) a un hábito tan normal como es el consumo diario de agua. De la misma forma, los fluoruros se acumulan crónicamente en el organismo generando desde fluorosis dental, hasta la fluorosis ósea incapacitante (Boischio, 2013).



Fig. 1: Distribución del contenido de arsénico de aguas subterráneas en Argentina. El círculo indica la zona del presente estudio.

La eliminación del arsénico por medio de técnica de *Hierro Cero-Valente* es ampliamente conocida (Litter *et al.*, 2010). Esta tecnología tiene como ventaja que es de fácil implementación, de bajo costo y utiliza materiales que son relativamente benignos para el medio ambiente (Ngai *et al.*, 2005). Por medio de esta técnica el arsénico se remueve por adsorción o es co-precipitado, ocurriendo ambos fenómenos en simultáneo. La reacción se debe a la química

del hierro. El hierro metálico o cero-valente (Fe^0) en contacto con el agua se oxida dando lugar a especies de Fe^{2+} . Esta oxidación es mediada por el agua o por el oxígeno que hay disuelto en la misma, aún en agua de pozo. Al formarse suficiente cantidad de Fe^{2+} , el oxígeno presente lo re-oxida a Fe^{3+} . Este Fe^{3+} es insoluble al pH de las aguas naturales y precipita, barriendo con el arsénico presente por afinidad con el mismo. Probablemente los mecanismos que rigen la remoción del arsénico dependen de interacciones moleculares arsénico/agua/hidróxido de hierro, donde se establecen enlaces que permiten que las superficies activas del Fe^0 en oxidación acomplejen el metal (Litter *et al.*, 2010).

Por otro lado, la adsorción de fluoruros en carbón de hueso es un método muy prometedor para el tratamiento de agua para consumo debido a la alta eficiencia de eliminación, la facilidad de operación y la disponibilidad (Medellin-Castillo *et al.*, 2004; Alkurdi *et al.*, 2019). El carbón de hueso está compuesto principalmente por hidroxiapatita (HAP) ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), material que posee una alta capacidad de adsorción de fluoruros. Se plantean tres mecanismos posibles de eliminación, intercambio de iones, precipitación e interacción electrostática o una combinación de estos mecanismos. El intercambio iónico es el mecanismo principal debido a la alta afinidad de F^{-} para sustituir el grupo hidróxido en la estructura del HAP para formar la fluorapatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$). Sin embargo, la interacción electrostática entre la superficie del hueso y el F^{-} desempeña un papel importante en el proceso de extracción, de acuerdo al pH del medio. La formación de precipitados fluorados en la superficie del carbón de hueso tiene lugar con altas concentraciones de F^{-} o en el caso de carbones impregnados con cationes como Al^{3+} , Fe^{3+} , etc. En este caso, los precipitados de CaF_2 , AlF_3 o FeF_3 se forman en la superficie del carbón (Alkurdi *et al.*, 2019). Hay evidencia de la eliminación simultánea de arsénico y fluoruros con carbón de hueso, sin embargo, está demostrada la mayor afinidad del mismo hacia los fluoruros (Milio *et al.*, 2010).

En trabajos previos realizados por alumnos del último año de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Católica de Córdoba (UCC) (Guanca y Kozameh, 2015; Kozameh *et al.*, 2016) se demostró la viabilidad de construcción, con recursos mínimos, de un primer prototipo de "filtro casero" o doméstico para reducir el contenido de arsénico del agua para consumo humano. Este filtro se basó en botellas recicladas de PET, algodón y lana de acero comercial (virulana) como adsorbente, demostrando la eficacia del mismo para disminuir el contenido de arsénico por debajo de los valores recomendados por la OMS. No obstante, este filtro presentó el inconveniente de lixiviar hierro de la virulana en el agua tratada luego de 4 ciclos de filtrado de 20 L. El hierro disuelto en el agua causa sabor desagradable, lo que genera un problema de aceptabilidad en la población. La OMS recomienda valores de hasta 2 mg/L teniendo en cuenta el 10% de la máxima ingesta diaria (OMS, 2006). Por otro lado, la CAA considera un valor inferior a 0,3 mg/L por cuestiones organolépticas y por manchar la ropa lavada y los accesorios de fontanería. Por otro lado, este primer prototipo no reducía el contenido de fluoruros.

La localidad de San José del Boquerón, se ubica en la región norte de la provincia de Santiago del Estero,

Argentina, sobre la ruta provincial 2, en el margen izquierdo del Río Salado (Fig. 1). El ejido municipal de Boquerón abarca un área aproximada de 60 por 60 kilómetros, con una población que se encuentra distribuida en 96 caseríos, siendo 30 los más importantes. Muchos de ellos están insertos en el monte, sin acceso a los servicios básicos de agua corriente, red eléctrica, etc. Sus napas presentan altas concentraciones de arsénico y fluoruros. Debido a que la población en cuestión se caracteriza por sus bajos recursos económicos y además la zona es de difícil accesibilidad, los habitantes se ven obligados a consumir agua de las napas contaminadas sin posibilidad alguna de tratamiento previo de potabilización.

El objetivo de este trabajo consistió en el re-diseño, evaluación y la proyección social de un filtro domiciliario simple y económico como solución integral para la reducción de arsénico y fluoruros de las aguas de pozo destinadas para consumo humano en la localidad de San José de Boquerón, sin afectar sus características organolépticas. Se destinaron además considerables esfuerzos en la difusión del correcto empleo del dispositivo a la población de la zona afectada atendiendo a las costumbres y tradiciones de sus pobladores. Se persigue así el mejoramiento de las condiciones de acceso al agua potable y la difusión de la importancia de consumir agua libre de arsénico y fluoruros, para la población de Boquerón y sus alrededores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ensamblado del filtro casero

Este desarrollo fue dirigido para su aplicación por un habitante natural de la zona afectada, por lo que el ensamblado y filtración consisten en operaciones muy sencillas. Los trabajos previos de la UCC permitieron optimizar el primer prototipo o dispositivo de tipo "casero", ensamblando materiales accesibles en la zona afectada. Este segundo prototipo constó de los siguientes materiales:

- 4 baldes plásticos de 20 L, 2 de ellos con tapa
- 1 Kg de clavos, de tipo obra
- arena, de tipo gruesa
- carbón de hueso y leña
- granza.

La Fig. 2. resume esquemáticamente como se lograron ensamblar las piezas para obtener un dispositivo para el tratamiento de un agua de pozo con excesos de arsénico y fluoruros. Las flechas huecas indican como se deben introducir o apoyar los tachos, unos dentro de otros (1 en 2 y 2 en 3) o uno sobre otro (3 sobre 4); las "x" indican dónde se deben realizar los orificios con un clavo caliente y el "círculo con la X" representa el hueco de 10 cm que se debe hacer en una de las tapas. Las capas filtrantes deben ser de 10 cm aproximadamente. La alimentación se planteó de forma intermitente o por *batch* de 20 L, sobre todo por la simpleza que brinda al sistema.

Obtención de carbón de hueso y leña

Luego de la formación visible de brasas en un fuego estable de leña se incorporaron huesos de caprinos, porcinos o vacunos (normalmente sobras de alimentos previamente procesados, o consumidos) en las zonas de

llamas intensas. Con ayuda de un termómetro infrarrojo se controló la temperatura alcanzada en este punto siendo de aproximadamente 500 °C. Luego de 15 minutos aproximadamente los huesos (los más gruesos pueden llevar más tiempo) adquirieron un color negro/rojizo formando el carbón para ser aplicado en el filtro. Este carbón está compuesto por una mezcla de huesos y madera, ambos completamente calcinados.

Es habitual que los habitantes de la zona afectada mantengan en sus cocinas, ubicadas normalmente en el exterior de las viviendas, un fuego siempre encendido o "vivo". El procedimiento descrito para obtener el carbón necesario para el filtro constituye así una operación simple y viable para ellos.

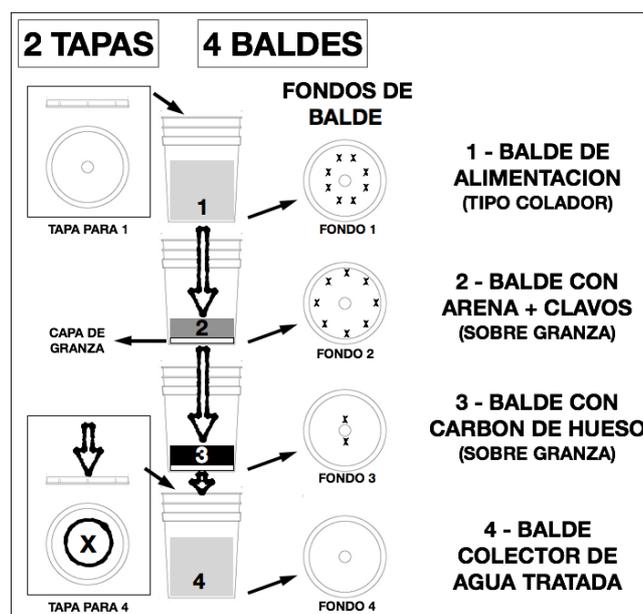


Fig. 2: Re-ingeniería del dispositivo filtrante para la remoción de arsénico y fluoruros.

Agua cruda

Las muestras de agua se recolectaron directamente en la zona de San José de Boquerón, Santiago del Estero. El pozo de muestreo, localizado en Piruj Bajo (monte adentro), es surgente y tiene 220 m de profundidad. El agua presentó un contenido de arsénico de 0,25 mg/L y de fluoruros de 3,1 mg/L. No presentan hierro naturalmente. La temperatura registrada en boca de pozo fue de 34 °C. El pH fue ligeramente alcalino, con un valor medido de 8,5.

Ensayos de filtración

Las muestras de agua fueron filtradas por el nuevo dispositivo (Fig. 2). Se tomaron alícuotas de 20 L de agua de pozo y se procedió a su filtración con el equipo desarrollado, analizando en estos casos el contenido de $As^{3+/5+}$, F^{-} y Fe^{3+} . Las filtraciones fueron realizadas bajo condiciones ambientales de presión y temperatura. Los elementos filtrantes no fueron reemplazados en ningún momento durante los ciclos analizados. Tanto la arena, los clavos y el carbón fueron lavados con abundante agua (en esta experiencia con agua potable de red) en sus respectivos contenedores previo al ensayo de filtración.

Las capas filtrantes, tanto de arena y clavos como de carbón de hueso y leña, según diámetro y altura de los

baldes plásticos de 20 L, representaron un volumen total del lecho filtrante de 5 L cada uno. Estos materiales se deben agregar sobre una capa de granza para impedir el taponamiento de los orificios filtrantes.

Las arenas se clasifican en finas y gruesas, entre otras. El tamaño de las partículas que la conforman tiene una variación que oscila entre los 0,063 y los 2 mm. En el filtro se utiliza arena sin un tamaño de partícula definido, dejando como referencia que la misma debe ser de grano grueso, esta clasificación será interpretada por cada persona en base a la arena disponible en la zona. De acuerdo a lo observado en la práctica, en este caso se trataría de una mezcla de arena gruesa y fina (densidad aparente de 1,55 Kg/cm³) (OCW UPM, 2020), siendo necesario en esta capa aproximadamente 7,5 Kg de arena más 1 Kg de clavos de obra de 2 pulgadas. En cuanto al carbón de hueso y leña, el tamaño de partícula no fue clasificado para aprovechar la totalidad del material carbonizado, al producirse por un machacado casero. Las capas no deben superar 10 cm de altura.

El paso del agua debe ser por goteo. Se observó que la velocidad de filtración puede variar desde 40 minutos (30 L/h) hasta un par de horas (10 L/h), dependiendo si los orificios filtrantes se encuentran totalmente libres o parcialmente obturados, respectivamente. Es inevitable la disminución de la velocidad de goteo por taponamiento parcial en la medida que avanza la experiencia. Lo importante aquí es dejar filtrar la totalidad del volumen de cada corrida para que la concentración de los componentes sea la mezcla desde la primera hasta la última gota de filtrado. La propuesta de implementación es que el usuario coloque el dispositivo durante la noche para obtener el agua potable por la mañana, pudiendo repetir el ciclo durante el día, garantizando la disponibilidad de agua segura para las necesidades diarias. En caso de taponamiento, el sistema de capas en baldes separados permite fácilmente la corrección del inconveniente sin necesidad de desarmar todo el dispositivo.

Análisis de durabilidad

Dado que estos ensayos no se realizaron en campo y teniendo en cuenta el volumen disponible de muestra recolectada en la surgente, fue de suma importancia reducir el volumen de agua a tratar para poder completar este análisis. Por tal motivo, se ensambló un nuevo filtro, aunque reemplazando los baldes de pintura de 20 L por baldes con la misma geometría de 1 L (factor de reducción de 1:20).

Se montaron 4 recipientes de 1 L de la misma forma en que se detalla el armado del filtro de la Figura 2. Se agregaron las capas de arena y de carbón de 2 a 3 cm de espesor, respectivamente. Se colocaron en el lecho de arena 3 clavos de obra grandes (peso=13 g), cortados por la mitad, para mayor distribución del elemento en el lecho.

Para la experiencia se utilizaron clavos nuevos. Se realizaron filtraciones de 0,5 L de agua por vez. Se realizó una corrida o *batch* por la mañana y otra por la tarde. El objetivo de lo anterior fue simular el uso de un filtro a frecuencia real. Se tomó muestra en el momento cero ($t = 0$, M0 = agua sin tratar) y luego una vez por semana (M1, M2, etc.), tras dos filtraciones diarias. Las muestras de los días intermedios fueron descartadas. El experimento se realizó por duplicado, pero por distintos experimentadores.

Análítica

Las muestras fueron analizadas con los Kits de tiras Quantofix y de reactivos Nanocolor StandarTest para la determinación de As^{3+/5+} y de F⁻, respectivamente (MACHEREY-NAGEL GmbH & Co.KG). El Fe³⁺ se midió en el Laboratorio Central de la UCC (APHA 3500Fe-D). Para la determinación espectrofotométrica de F⁻ se utilizó un equipo UV/Visible Perkin-Elmer Lambda 35 (Massachusetts, USA). La curva patrón se preparó utilizando una solución acuosa de NaF.

Estrategia de proyección social

Los docentes y estudiantes involucrados presentaron el filtro desarrollado en la zona afectada, transmitieron y promocionaron su uso. Se sumó, además, la transmisión del buen uso y cuidado de sus aljibes y/o cisternas, y de sus respectivos sistemas de canaletas colocados en los techos de sus viviendas para la recolección de agua de lluvia, considerando el agua de las precipitaciones como su fuente primaria de agua segura.

Lo anterior se articuló a través de los siguientes ejes:

- Una campaña de concientización: para disminuir los efectos adversos que tiene sobre la población la problemática que origina el agua que se consume. Para concretarlo los estudiantes brindaron charlas y talleres en las escuelas, invitando a toda la comunidad a participar, para destacar la importancia de consumir agua sin contaminantes, promover el uso del filtro, enseñar como armarlo y mantenerlo.

- Un seguimiento de aplicación y funcionamiento: el dispositivo desarrollado fue armado e instalado por los mismos lugareños o por los organismos pertinentes en las viviendas de Pirujaj Bajo, donde se utiliza agua de pozo contaminada.

RESULTADOS

Ensayos de filtración

En la Tabla 1 se muestran los resultados de las filtraciones realizadas con el dispositivo de la Fig. 2 (filtro completo). El filtro se ensayó hasta el 7mo ciclo de 20 L de agua (Total 140 L) eliminando exitosamente el arsénico en cada ciclo. Es evidente el abatimiento del contenido de arsénico bajo los valores esperados (CAA \leq 0,05 mg/L), sin embargo, no se logra mejorar bajo el valor más exigente aconsejado por la OMS \leq 0,01 mg/L). El carbón de hueso también fue efectivo eliminando fluoruros a valores por debajo de 1 mg/L (OMS \leq 1,5 mg/L), lo que es positivo teniendo en cuenta la mayor ingesta de agua a las altas temperaturas de la zona afectada, sobre todo en verano. En lo que respecta al hierro, el mismo se encontró en el agua filtrada debido a su desprendimiento desde los clavos no obstante por debajo de lo que recomienda la OMS.

TABLA 1: RESULTADOS DE LAS FILTRACIONES CON EL FILTRO PARA ELIMINAR ARSÉNICO Y FLUORUROS.

(mg/L)	Filtro simple			Filtro completo		
	Arena y Clavos		Fe ³⁺	Arena y Clavos+Carbón		Fe ³⁺
	As ^{3+/5+}	F ⁻	Fe ³⁺	As ^{3+/5+}	F ⁻	Fe ³⁺
Agua Cruda	0,25	3,1	-	0,25	3,1	-
1 ^{er} ciclo 20 L	0,1	-	0,8	0,05	0,98	0,6

2 ^{do} ciclo 20 L	0,05	-	-	0,05	0,93	-
3 ^{er} ciclo 20 L	0,05	-	-	0,025	0,75	0,3
4 ^{to} ciclo 20 L	0,05	3,2	-	0,025	0,73	-
5 ^{to} ciclo 20 L	0,05	-	0,2	0,025	0,90	0,4
6 ^{to} ciclo 20 L	0,05	-	0,3	0,05	0,90	0,3
7 ^{mo} ciclo 20L	-	-	0,4	0,05	0,85	0,3

Se constató que los fluoruros no son retenidos en ausencia de carbón (filtro simple) (Tabla 1). Si comparamos los resultados del filtro con la capa de carbón (filtro completo) frente a otro sin esta capa (filtro simple) (Tabla 1), se observa un abatimiento mayor del arsénico. Por lo tanto, la capa de carbón mejora las concentraciones mínimas y las características organolépticas de sabor y color, sumamente importantes para lograr insertar el filtro. El abatimiento adicional se puede deber tanto a la mayor retención de los complejos de hierro insoluble desprendidos de la primera capa, debido al manto filtrante adicional, así como a la adsorción del arsénico sobre la superficie del carbón de hueso (Mlilo et al, 2010). Sin embargo, con esta configuración es evidente que la retención significativa del arsénico tiene lugar en la primera capa conteniendo hierro.

Análisis de durabilidad

En la Tabla 2 se detallan las muestras analizadas y los resultados obtenidos. El filtro escalado a 1 L presentó una durabilidad mayor a un mes. El Experimentador 1 (Tabla 2), luego de la quinta filtración (M5), interpretó que el valor de arsénico aumentaba fuera de los valores aconsejados, por lo que dio por finalizada la experiencia. Al mismo tiempo, esta muestra mostró valores de fluoruros por encima de 1,5 mg/L. Los resultados del Experimentador 1, indican que el filtro con solo 3 clavos fue capaz de producir, como mínimo, 29 L de agua apta para el consumo humano (29 días x 2 filtraciones de 0,5 L, incluyendo el valor M4 levemente > 0,05 mg/L, que aún puede interpretarse como valor aceptable para el presente trabajo). Lo anterior equivaldría a más de 500 L de agua a escala de baldes de 20 L. Sin embargo, en el filtro de 20 L se utilizó un excedente de clavos (1 Kg) respecto a lo escalado (13 g x Factor 20= 260 g), por lo que la cantidad de L de agua tratada sería potencialmente mayor.

De la misma manera, el Experimentador 2 observó una elevación de la concentración de arsénico en las muestras M4 y M5 (valores de arsénico levemente superiores a 0,05 mg/L), pero no dio por concluida la experiencia (Tabla 2). Luego, la muestra M6 mostró valores aceptables nuevamente. De todas formas, el experimento se dio por concluido ya que se buscaba demostrar la durabilidad del filtro contra el arsénico de por lo menos 1 mes. En este caso se realizaron filtraciones por 44 días (o L), lo que equivale en el filtro de 20 L a más de 800 L, sin que se haya agotado la capacidad de retención de arsénico de los clavos (y considerando que el contenido de clavos ha sido menor al empleado en el filtro de 20 L). En el caso de los fluoruros, las muestras M5 y M6 indicaron valores superiores a 1,5 mg/L. Lo anterior indica que ambas capas filtrantes estarían balanceadas para una operación segura de cuatro semanas completas.

Se estima así, que mientras exista superficie de clavos expuesta al agua (en forma de hierro o sus óxidos), el

sistema debería seguir siendo efectivo para retener el arsénico. Para verificar esta hipótesis se debe continuar con la experimentación. Con este fin se planea instalar uno o más filtros de 20 L en las localidades afectadas y evaluar su duración *in situ* para estipular adecuadamente un período de caducidad certero del elemento filtrante (1 Kg de clavos).

Se debe aclarar, sin embargo, que, si bien la técnica resultó satisfactoria para la remoción de arsénico y fluoruros del agua de la zona estudiada, esto no indica que el dispositivo pueda ser replicable con cualquier matriz de agua. Es mandatorio hacer una prueba con cada matriz de agua particular para corroborar su funcionamiento y duración.

TABLA 2: ANÁLISIS DE DURABILIDAD DE "FILTRO CASERO" ESCALADO A RECIPIENTES DE 1 L.

Muestra	Experimentador 1			Experimentador 2		
	Fecha (d/m/a)	As ^{3+/5+} (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Fecha (d/m/a)	As ^{3+/5+} (mg/L)	F ⁻ (mg/L)
M0	1/9/17	> 0,1	3,06	29/8/17	> 0,1	3,03
M1	7/9/17	0,05	0,476	7/9/17	< 0,1	1,613
M2	14/9/17	0,05	0,694	14/9/17	< 0,1	0,879
M3	21/9/17	0,05	0,957	21/9/17	0,05	1,139
M4	29/9/17	> 0,05	1,391	28/9/17	> 0,05	1,391
M5	5/10/17	~ 0,1	1,989	5/10/17	> 0,05	1,837
M6	-	-	-	12/10/17	< 0,05	1,582

Proyección social

En las primeras etapas de este proyecto se pudo observar que el producto en sí no resolvía estrictamente el problema, sino que era necesario un acompañamiento. Es decir, se constató la necesidad de una dinámica especial de acuerdo al marco social donde se incorporaría el producto en cuestión.

Durante los 8 años en los que se ha desarrollado este trabajo han participado estudiantes de grado que han sumado a su formación una experiencia humano-científico-tecnológica. En general, y al inicio, ellos han demostrado gran interés en el desarrollo de una solución contra el arsénico con impacto social. Sin embargo, finalmente son ellos los que se han sentido impactados por la experiencia, al viajar a Boquerón. La realidad les ayudó a tener una perspectiva nueva de un producto que se está desarrollando, también a experimentar cómo los usuarios viven y los recursos que tienen a mano para obtener su materia prima. Los profesores involucrados pudieron constatar cómo los estudiantes adquieren una visión mucho más realista del proyecto después del viaje.

Además, a muchos de los viajes se sumaron estudiantes de otras disciplinas, como agronomía, veterinaria y medicina, lo cual potenció las perspectivas desde donde cada disciplina encara su problemática.

En cuanto al balance participativo, han sido 27 estudiantes los que han intervenido en este trabajo. Ellos pueden agruparse en 4 generaciones, teniendo en cuenta el desarrollo concreto del filtro o la focalización en una problemática particular. La primera generación fue la que dio inicio al proyecto en el 2012, hizo los primeros viajes y el relevamiento de pozos. La segunda desarrolló un modelo de filtro con una capacidad mayor de filtrado, y

académicamente integró el proyecto como trabajo final de la carrera. La tercera generación incorporó la temática de la calidad del agua, además del abatimiento del arsénico, buscando mejorar el gusto de la misma. La cuarta generación, la actual, desarrolla este modelo de filtro con los baldes. Todas las generaciones han incluido viajes al lugar y un contacto con la población en cuanto a la formación sobre lo que implica el arsénico en la salud, y cómo el filtro puede establecerse como una solución.

CONCLUSIONES

La reducción del contenido de arsénico usando clavos y arena como dispositivo filtrante fue apreciable, llegando a valores del mismo por debajo a lo establecido por las reglamentaciones vigentes de agua para consumo humano. La eliminación adicional de fluoruros a niveles aconsejados por la OMS, por medio de carbón de hueso y leña, demostraron una extraordinaria mejoría del sistema. Más aún, el carbón permitió mejorar organolépticamente el producto final. La robustez estructural que brindaron los baldes de plástico de 20 L de tipo pintura proporcionan un aumento de la vida útil del filtro y mejoraron la manipulación de los elementos por parte de los afectados. Es de destacar la simpleza y economía del sistema desarrollado. El sistema sub-escalado demostró ser efectivo para eliminar arsénico y fluoruros del agua para consumo por períodos de aproximadamente un mes. Se estima que la utilidad del filtro puede extenderse a más de un mes (o su equivalente de más de 500 L), sin mantenimiento, para lo cual se continúa actualmente con la investigación en campo. Para la replicación del dispositivo es mandatorio hacer una prueba con cada matriz de agua particular para corroborar su funcionamiento y duración.

El acompañamiento del producto desarrollado con acciones de proyección social para su implementación en la zona ha permitido ampliar la formación de ingenieros industriales con herramientas sociales para su futura profesión. Lo anterior se da sobre todo por el significado que tiene hacer un desarrollo con aplicación directa, con una tecnología madura y teniendo en cuenta sólo los recursos disponibles y la incorporación del mismo en el ámbito socio-cultural objetivo. Es de destacar las habilidades de comunicación oral que se han fortalecido en los alumnos atendiendo al público receptor. Por otro lado, la experiencia humana en campo ayudó a confrontar una realidad distinta, que manifiesta una formación integral del ingeniero como persona dentro de una sociedad, y con las herramientas y la capacidad de resolver una problemática tecnológica-social.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el financiamiento de este trabajo por parte de la Universidad Católica de Córdoba a través de:

- El Proyecto de Investigación del Grupo de Ingeniería en Agua *Misk'i Yacu*, gestionado por la Secretaría de Investigación.
- El Programa Bianaual de Proyección Social con Vinculación Curricular, gestionado por la Secretaría de Proyección y Responsabilidad Social Universitaria.

REFERENCIAS

1. Alkurdy S. S. A., Al-Juboori R. A., Bundschuh J., Hamawand I. (2019). “Bone char as a green sorbent for removing health threatening fluoride from drinking water”. *Environment International*, vol. 127, pp. 704-719.
2. Boischio, A. (2013), Organización Panamericana de la Salud - Organización Mundial de la Salud, “Fluoruros en el agua de consumo”, tomado de https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=8193:2013-fluor-agua-consumo&Itemid=39798&lang=es, (22/07/2019).
3. Código Alimentario Argentino (CAA), “Capítulo XII- Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. Agua Potable, Art. 982”, tomado de http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/CAPITULO_XII.pdf, (22/07/2019).
4. Gay, A. (2014). *Introducción a la ingeniería : la tecnología, el ingeniero y la cultura*. Editorial Las Brujas, Buenos Aires, Argentina.
5. Guanica, P.E., Kozameh, G. (2015). “Reducción de arsénico en agua por filtro doméstico”, en *Proc. del VIII Congreso de Ingeniería Industrial y Carreras Afines (COINI)*, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina.
6. Kozameh, G., Guanica P. E., Ruiz, F., Acuña, R., Yapur, N., Montalván, M., Sarmiento, E., Soler, F., Casetta, M., Santa Cruz, H., Zanon, H. R. (2016), “Optimización de “filtro casero” para la reducción de contaminantes (As^{+3+5} y F^{-1}) en agua para consumo humano”, en *Proc. del VI Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua*, Universidad Blas Pascal, Córdoba, Argentina.
7. Litter, M. I., Sancha, A. M., Ingallinella, A. M. (2010). *IBEROARSEN-Tecnologías económicas para el abatimiento de arsénico en aguas*. Editado por CYTED. Buenos Aires, Argentina.
8. Medellín-Castillo, N. A., Leyva-Ramos, R., Ocampo-Perez, R., Garcia de la Cruz, R. F., Aragon-Piña, A., Martínez-Rosales, J. M., Fuentes-Rubio, L. (2007). “Adsorption of Fluoride from Water Solution on Bone Char”. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 46(26):9205–9212.
9. Mlilo, T. B., Brunson, L. R., Sabatini, D. A. (2010). Arsenic and Fluoride Removal Using Simple Materials. *Journal of Environmental Engineering*, 136(4):391–398.
10. Ngai, T., Dangol, B., Murcott, S., Shrestha, R. R. (2005). *Kanchan Arsenic Filter*. Massachusetts Institute of Technology (MIT) and Environment and Public Health Organization (ENPHO), Kathmandu, Nepal.
11. OCW, Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Estimación de la densidad aparente. Tomado de http://ocw.upm.es/pluginfile.php/675/mod_label/intro/ESTIMACION-DE-LA-DENSIDAD-APARENTE.pdf, (04-05-2020).
12. Organización Mundial de la Salud (OMS), “Arsénico”, tomado de <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>, (22/07/2019).
13. Organización Mundial de la Salud (OMS)- Guías para la calidad del agua potable (2006). Primera apéndice a la tercera edición. vol. 1. “Recomendaciones”, tomado de https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/, (22/07/2019).
14. Orozco, M. (2018), “Reprote Anual 2018” Secretaría de Proyección y Responsabilidad Social Universitaria, Universidad Católica de Córdoba, tomado de, <https://www.ucc.edu.ar/proyeccion/secretaria-de-proyeccion-y-responsabilidad-social-universitaria/> (07/08/2019).
15. Osicka, R. M., Agulló, N. S., Herrera Aguad, C. E.; Giménez, M. C. (2002), “Evaluación de las concentraciones de fluoruro y arsénico en las aguas subterráneas del domo central de la provincia de Chaco”, Cátedra de Química Analítica General, Fac. de Agroindustrias, Universidad Nacional del Nordeste, Chaco, tomado de <http://www.produccion-animal.com.ar>, (22/07/2019).
16. Villaamil Lepori, E. (2015), “Hidroarsenicismo crónico regional endémico en Argentina”, *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, vol. 49 (1):83-104.