

## **APROVECHAMIENTO DE ENERGIA SOLAR PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA TECNOLOGIA DE REMOCION DE ARSENICO Y FLUORURO EN AGUA PARA CONSUMO HUMANO. SALAR DE PIPANACO. POMAN**

**C. Rodríguez<sup>1</sup>, M. Saracho<sup>2</sup>, F. Allés<sup>2</sup> y P. Moyano<sup>2</sup>**

Facultad de Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Facultad de Ciencias de la Salud.  
Grupo de Energías Renovables Catamarca, INENCO. – CONICET  
Universidad Nacional de Catamarca, Avda. Belgrano 300 C.P. 4700 – Catamarca  
Tel. 0383-154407189. E-mail: cdrodriguez@arnet.com.ar

1. Personal Subsecretaría de Ciencia y Tecnología. Provincia de Catamarca
2. Personal Subsecretaría de Planificación de los Recursos Hídricos. Provincia de Catamarca

*Recibido:28-08-17; Aceptado: 30-10-17.*

**RESUMEN.-** La única fuente de agua disponible para consumo humano y uso ganadero en puestos dispersos del Salar de Pipanaco, Pomán, provincia de Catamarca es el recurso hídrico subterráneo, de baja aptitud para bebida por presencia de arsénico, fluoruro y/o exceso de sales. Esta región dispone de altos niveles de radiación (5 a 6 Kwh/m<sup>2</sup>/día) y poca frecuencia de días nublados, situación ambiental conveniente para aplicar tecnología solar en la provisión de agua apta para bebida al personal de la Escuela N° 165 y familias cercanas del paraje Maderera de San Antonio, ubicada en el borde Este del Salar. Se caracterizó geoquímicamente la calidad del agua, se determinaron las concentraciones de arsénico, fluoruro, bacterias Coliformes y se evaluó la eficiencia de remoción con la tecnología utilizada. Con los porcentajes de remoción de arsénico (82%), fluoruro (91,3%) y bacterias (100%) alcanzados se obtuvo un agua apta para consumo humano de acuerdo al CAA y recomendaciones de la OMS.

**Palabras claves:** Energía Solar, Remoción de Arsénico, Fluoruro y bacterias Coliformes. Salar de Pipanaco. Catamarca.

## **USE OF SOLAR ENERGY TO ARSENIC AND FLUORIDE REMOVAL TECHNOLOGY IN WATER FOR HUMAN CONSUMPTION. SALAR DE PIPANACO. POMAN**

**ABSTRACT.-** The only source of water available for human consumption and livestock use in dispersed populations in the Salar de Pipanaco, Pomán, Catamarca province, is the underground water resource, with a low drinking quality due to the presence of arsenic, fluoride and / or excess salts. This region has high levels of radiation (5 to 6 kWh/m<sup>2</sup> per day) and low frequency of cloudy days, a convenient environmental situation to apply solar technology in the provision of drinking water to the staff of School N° 165 and families close place of Maderera San Antonio, located on the east edge of Salar. The water quality was characterized geochemically, the concentrations of arsenic, fluoride, Coliform bacteria were determined and the removal efficiency was evaluated with the technology used. With the percentages of removal of arsenic (82%), fluoride (91.3%) and bacteria (100%) reached, a water suitable for human consumption was obtained according to the CAA and WHO recommendations.

**Keywords:** Solar Energy, Removal of Arsenic, Fluoride and Coliform bacteria. Salar de Pipanaco. Catamarca.

### **1. INTRODUCCION**

El problema mundial de escasez de agua para consumo humano se agrava en algunas regiones, en particular aquellos parajes y puestos aislados, donde el recurso hídrico no solo es limitado sino que la población debe afrontar dificultades relacionadas a infraestructura, disponibilidad y/o calidad en el acceso al agua. En este sentido, uno de los principales problemas es la presencia de fluoruro, arsénico

y/o exceso de sales en el agua que se extrae de pozos cavados o perforaciones (única fuente disponible) y que en la mayoría de los casos la vuelve no recomendable para el consumo humano (Auge et al., 2006).

Una de las principales fuentes del ión fluor para el ser humano es el agua que se ingiere y al ser ésta la base de muchos preparados alimenticios, la ingesta humana del elemento es mayor cuando la concentración en el agua que

se consume es alta, la intoxicación se vuelve crónica y los síntomas sólo aparecen luego de una prolongada exposición. El manchado de los dientes ocurre cuando el contenido del ión flúor sobrepasa 1,5 mg/l, llegando a ser muy notable cuando la concentración alcanza valores entre 3 mg/l y 6 mg/l y se potencia cuando sobrepasa de 10 mg/l, de tal manera que los dientes adquieren una coloración marrón oscura. Las enfermedades producto de la ingesta excesiva de fluoruro pueden ser: insuficiencia renal o hepática, osteoporosis, anorexia, abortos, malformaciones, entre otras (Reynoso et al., 2016; Lahermo, 1987).

El arsénico está presente de forma natural en el agua debido a que las formaciones geológicas por donde circula pueden contener este elemento en concentraciones significativas, superando a veces los niveles de riesgo para la salud humana. Estos valores elevados se podrían asociar con aguas bicarbonatadas sódicas en ambientes levemente oxidantes (Gómez et al., 2009). Investigadores (Barrachina et al., 1995) estudiaron la toxicología del arsénico y encontraron que la principal vía de entrada de este elemento en la cadena alimentaria humana, es la ingesta directa de agua, aunque los alimentos contaminados de origen vegetal y animal pueden ser otra vía importante de captación. El consumo prolongado de arsénico puede desarrollar un síndrome tóxico, crónico y adquirido denominado Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE), caracterizado por lesiones cutáneas benignas, que surgen luego de 1 a 15 años de ingesta de aguas contaminadas con arsénico o sus sales inorgánicas. El HACRE se desarrolla gradualmente, comprometiendo diversos órganos y sistemas, principalmente la piel, pudiendo ocasionar neoplasias. Este síndrome no cuenta con un tratamiento curativo, pero es prevenible (Palacios et al., 2012).

El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC) clasifica al arsénico dentro del grupo I por las evidencias clínicas de su acción carcinogénica. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006) teniendo en cuenta los efectos tóxicos del arsénico inorgánico sobre los seres humanos y otros organismos vivos, ha recomendado un límite de 10 µg/l en agua para consumo humano.

La provincia de Catamarca está inserta en una región con problemas de fluoruro y arsénico en sus fuentes de agua (Vilches et al, 2005) particularmente en el área del Salar de Pipanaco donde se localizan numerosos parajes y/o poblaciones aisladas. Estos puestos se encuentran muy dispersos a lo largo del Salar, tienen características similares y se agrupan en función de la zona de influencia de las escuelas que funcionan allí. En esta zona la única fuente de agua disponible es el recurso hídrico subterráneo y la población solo dispone de pozos de donde se la extrae desde el acuífero freático. La región del Salar de Pipanaco dispone de la energía solar como un recurso energético de importancia, en condiciones de uso favorables debido a los altos niveles de radiación y poca frecuencia de días nublados (5 a 6 Kwh/m<sup>2</sup>día). El uso de este recurso conlleva la ventaja de no producir daños ambientales y permite buscar soluciones que aporten a un desarrollo sustentable de la comunidad.

Aprovechando esta situación ambiental, seleccionar equipos de potabilización que utilicen la radiación solar como fuente de energía, resulta una alternativa muy importante para obtener agua potable, fundamentalmente considerando la imposibilidad de llegar a la zona con energía convencional.

Por lo expuesto, este trabajo se plantea como objetivo general proveer de agua apta para consumo humano a personal de la Escuela N° 165 y población del paraje Maderera de San Antonio, ubicada en el Salar de Pipanaco, localidad de Saujil, departamento Pomán, provincia de Catamarca, mediante una tecnología que pueda funcionar con energía solar. Con este objetivo se procederá a caracterizar geoquímicamente la calidad del agua de la fuente utilizada para consumo humano, determinar las concentraciones de arsénico, fluoruro y bacterias Coliformes y evaluar la eficiencia de remoción de estos iones con la tecnología seleccionada.

## **2. MATERIALES Y METODOS**

La cuenca del Salar de Pipanaco, integrada en la provincia de Catamarca por los departamentos Belén, Andalgalá y Pomán se ubica en el Sector Noroccidental de la Provincia Geológica de Sierras Pampeanas (González Bonorino, 1950). En ellas afloran diferentes tipos litológicos, con características hidrogeológicas propias y muy variables tales como basamento rocoso cristalino, unidades sedimentarias preterciarias, terciarias y cuaternarias. El clima corresponde a templado y árido de las sierras y bolsones.

El área de estudio, está ubicada en la zona este del Salar de Pipanaco, localidad de Saujil, departamento Pomán, Provincia de Catamarca. Concretamente en el paraje Maderera de San Antonio, de coordenadas geográficas: 28° 11' 16,2" latitud sur y 66° 23' 28,8" longitud oeste; a 720 m.s.n.m. Este paraje cuenta con una escuela rural, la Escuela N° 165, que dispone como fuente de abastecimiento de agua para consumo humano, de un pozo cavado y calzado sin brocal del que se abastecen además cinco familias de la zona. La profundidad total del pozo es de -20 m, ubicándose el nivel estático en -19 m. En la Figura 1 se muestra la ubicación georeferenciada de la escuela con la fuente de agua estudiada. Esta escuela utiliza para su funcionamiento energía eléctrica proporcionada por un generador fotovoltaico. La energía es empleada además para el accionamiento de una bomba sumergible que extrae y almacena agua en un tanque de reserva elevado (figura 2 y figura 3).

### *2.1. Descripción del Sistema Fotovoltaico.*

En la figura 4 se muestra el circuito eléctrico del Sistema Fotovoltaico de la escuela. El sistema está constituido por un generador solar compuesto por 2 conjuntos de 4 módulos fotovoltaicos Shell Power Max Ultra 80 P, de 80Wp cada uno, conectados en paralelo, en 12 V. El generador se interconecta con 2 reguladores de carga MORNINGSTAR PS30, 2 inversores XANTREX PROSINE 1000 i, y un contactor principal (CP) que tiene la función de actuar desconectando los inversores con toda su carga (antes que sus protecciones actúen) y conectando automáticamente los inversores y las cargas, una vez recuperada la capacidad del banco. Integra también el sistema una llave conmutadora manual-automática que permite cambiar la conexión de un bloque generador por otro, posibilitando el abastecimiento de energía desde una fuente alternativa como por ejemplo, un generador diesel. Todos estos componentes conforman el tablero general (TG) y en forma conjunta con un banco de 6 baterías selladas VISION 6FM200X-12V-200AH, están instalados dentro de un gabinete compartimentado aislado térmicamente y protegido contra el ingreso de polvo e insectos (figura 5 y figura 6).

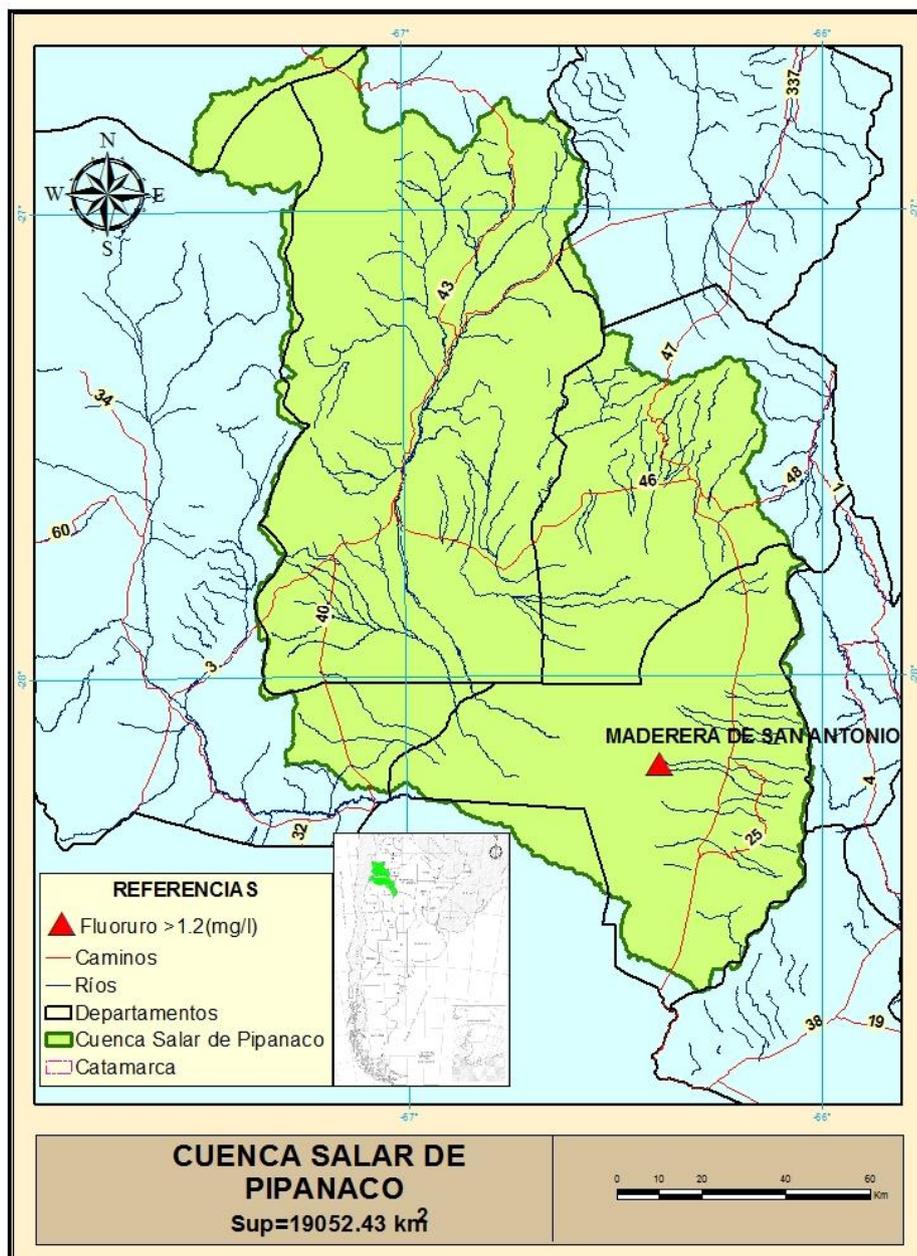


Fig. 1: Ubicación del sitio de estudio en la Cuenca del Salar de Pipanaco. Catamarca.



Fig. 2: Vista de la Escuela Maderera San Antonio.



Fig. 3: Tanque de reserva de la escuela.

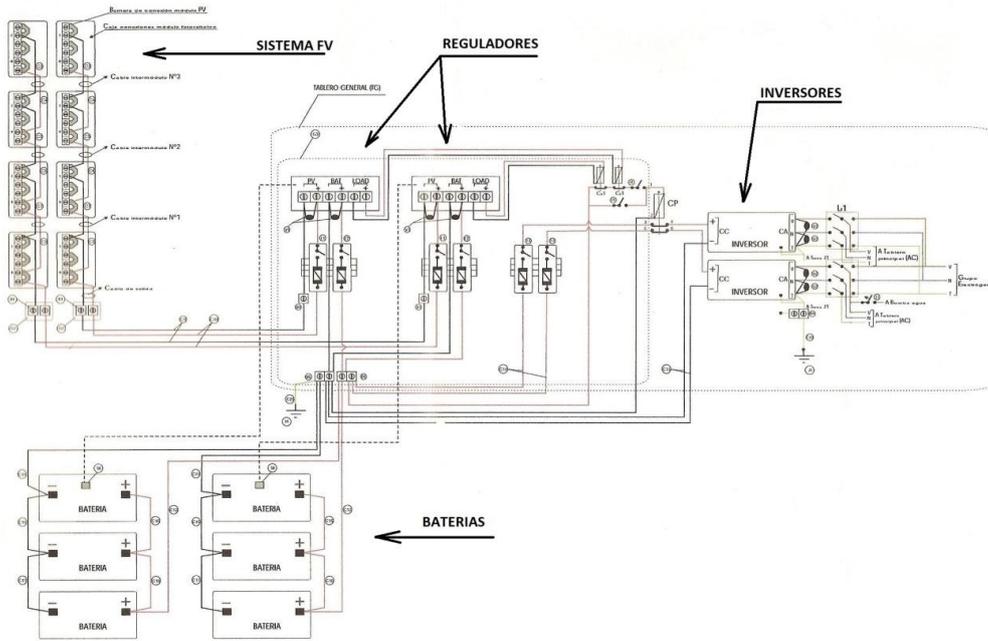


Fig. 4: Circuito del Sistema Fotovoltaico instalado en la escuela.

Tanto el gabinete como el generador solar están ubicados dentro de un cerco perimetral (figura 7). La energía eléctrica generada por los módulos fotovoltaicos en CC, llega al TG donde se acumula en las baterías y es convertida a CA a través de los inversores, desde allí pasa al tablero principal (TP) ubicado en el interior de la escuela y desde éste se alimenta los circuitos internos de iluminación y tomas corriente (figura 8).



Fig. 7. Conjunto fotovoltaico y gabinete compartimentado dentro de cerco perimetral.



Fig. 5. Vista interior del Tablero General.



Fig. 6. Vista conjunto de baterías.



Fig. 8. Vista instalación interna: cañerías a la vista, TP y campanilla de alarma.

Los conductos contenedores de los cables son de hierro semipesado de diámetro  $\frac{3}{4}$ " a la vista. Las cajas para llaves de efecto y para luminarias, también metálicas, tienen unión entre ellas y la cañería en toda la instalación, asegurando la

continuidad de todos los elementos de tal forma que al conectar el borne de tierra del tablero con este, toda la cañería quedara conectada a tierra. El conductor verde/amarillo de 2,5 mm<sup>2</sup> de sección nominal llega hasta un borne del TG desde el cual, mediante un cable de cobre desnudo de 25 mm<sup>2</sup>, se conecta a tierra con una jabalina de acero – cobre del tipo JL-14-1500.

Para monitorear permanentemente el estado de carga de las baterías, existe además un sistema de alarma luminoso y acústico (campanilla tipo marinera) que anuncia cuando el banco de baterías se encuentra en su límite inferior de carga y previo al corte de energía por parte de los reguladores. Se puede resetear la campanilla sin afectar la parte luminosa, lo que permite continuar monitoreando el estado de carga del banco de baterías hasta su recuperación (Rodríguez et al.2016).

## 2.2. Descripción del Sistema de Potabilización del Agua.

Considerando las características de la zona, las dificultades para acceder a la misma, la infraestructura existente y además la posibilidad de gestionar sistemas similares para instalar en otras escuelas y en viviendas de parajes vecinos con la misma problemática, se procedió a seleccionar un equipo que cumpla con las condiciones de: bajo costo, simple mantenimiento y fundamentalmente de bajo consumo energético.

El equipo instalado además de reunir las condiciones impuestas, es de operación automática, puede funcionar con 220 V en corriente alterna (CA) o con 24 V en corriente continua (CC) y tiene un consumo de 6 Watt, es decir que también funciona con un pequeño generador fotovoltaico compuesto por un módulo y un controlador de carga de 24 V y 2 baterías de 12 V.

El equipo sin generador tiene un costo de U\$S 444 y está integrado por las siguientes etapas: filtración, desmineralización, ajuste de pH y eliminación de compuestos orgánicos y mineralización. La filtración se realiza en tres módulos y tiene como fin proteger a la membrana de Osmosis Inversa (OI): el primer módulo es un filtro de fibra de polipropileno con una porosidad promedio de 5µ que permite eliminar los sólidos en suspensión que podrían interferir con las etapas posteriores; el segundo es un filtro de carbón activado y el tercero un filtro de fibra de polipropileno con un diámetro de poro de 1µ. La etapa de desmineralización se efectúa con una membrana de osmosis inversa (membrana sintética semipermeable). El ajuste de pH y eliminación de compuestos orgánicos se realiza con un filtro de carbón activado granular de cáscara de coco. La última etapa consiste en un filtro que aporta los minerales esenciales al agua con el fin de mejorar su sabor. En la figura 9 se observa el esquema del equipo potabilizador que puede ser conectado a un tanque elevado domiciliario ya que posee una bomba de presión autónoma que le permite alimentarse con suministro de agua a baja presión

Tiene un tanque de reserva de agua tratada incorporado de 12 litros, con un dispositivo de apague automático que se acciona cuando el depósito se llena, también posee un interruptor automático que protege la bomba por fallos de presión o corte de suministro de agua de alimentación. El sistema produce en promedio 350 l/día de agua potable. Antes de ser instalado en el establecimiento, el sistema fue evaluado mediante ensayos realizados en el Laboratorio de

Agua y Efluentes, dependiente de la Subsecretaría de Planificación de los Recursos Hídricos de la provincia de Catamarca (figuras 10 y 11).

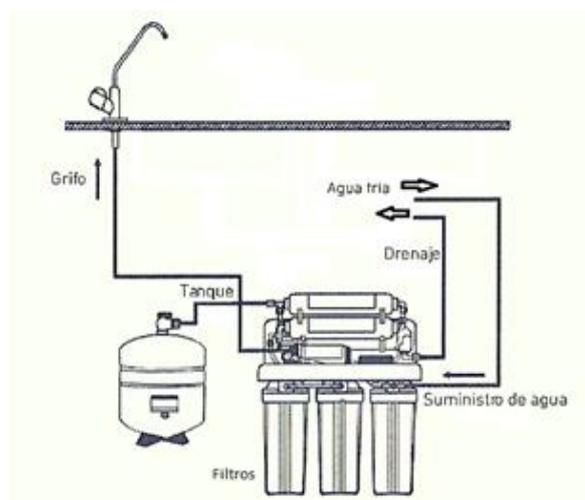


Fig. 9. Esquema del equipo potabilizador con sistema de OI.



Fig. 10. Vista del equipo de Osmosis Inversa desarmado.



Fig. 11: Vista del equipo de Osmosis inversa con sus componentes interconectados.

La eficiencia de remoción de los iones con el sistema de Osmosis Inversa fue estudiada con agua extraída de la fuente de suministro de agua a la escuela.

Concluida la etapa de ensayo se procedió al traslado, instalación y puesta en marcha del equipo. La figura 12 muestra su ubicación en la cocina de la Escuela N° 165.



Fig. 12. Vista del sistema instalado y funcionando en la cocina de la Escuela N° 165.

### 2.3. Calidad del agua

#### 2.3.1. Muestreo.

Se extrajeron muestras del pozo cavado y calzado (figura 13 y Figura 14) que provee de agua al personal de la escuela.

El muestreo realizado con una frecuencia cuatrimestral, durante el período 2015-2016, fue llevado a cabo por integrantes del grupo de investigación en colaboración con personal técnico de la Subsecretaría de Planificación de los Recursos Hídricos de la provincia de Catamarca.



Fig. 13. Fuente de abastecimiento de agua de la Escuela.

Espectrofotómetro marca HACH DR 6000. La calidad bacteriológica, evaluada a través de la densidad de bacterias Coliformes Totales (CT) y Escherichia coli (EC) fue determinada por la técnica de la membrana filtrante (APHA, AWWA, WEF; 2005).

#### 2.3.3. Análisis de los datos

Los datos obtenidos fueron procesados estadísticamente y evaluados en función de las Guías para la Calidad del Agua Potable de la OMS (2006) y de los Estándares de Calidad del Agua Potable fijados por el Código Alimentario Argentino (CAA, 2007; 2012).



Fig. 14. Extracción de muestras de agua.

#### 2.3.2. Técnicas de análisis.

Se determinaron las concentraciones de iones mayoritarios, pH, conductividad y microcomponentes (arsénico y fluoruro) utilizando las técnicas normalizadas descriptas en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF; 2005).

La concentración de arsénico total fue determinada por Espectrometría de Absorción Atómica, utilizando un equipo Perkin Elmer AA 400 con horno de grafito (HGA 900).

La detección de la concentración de fluoruro se realizó aplicando la técnica del SPADNS mediante un

## 3. RESULTADOS Y DISCUSION

El diagrama de Schöeller construido con los resultados de los análisis químicos (iones mayoritarios) de las muestras obtenidas en la captación subterránea estudiada se muestra en la figura 15. En función de este, el agua de las muestras analizadas se clasifica como bicarbonatada sódica-cálcica. Es decir predominantemente sódicas, en el campo catiónico y con dominancia de aguas bicarbonatadas, con algunos términos sulfatados, en el aniónico.

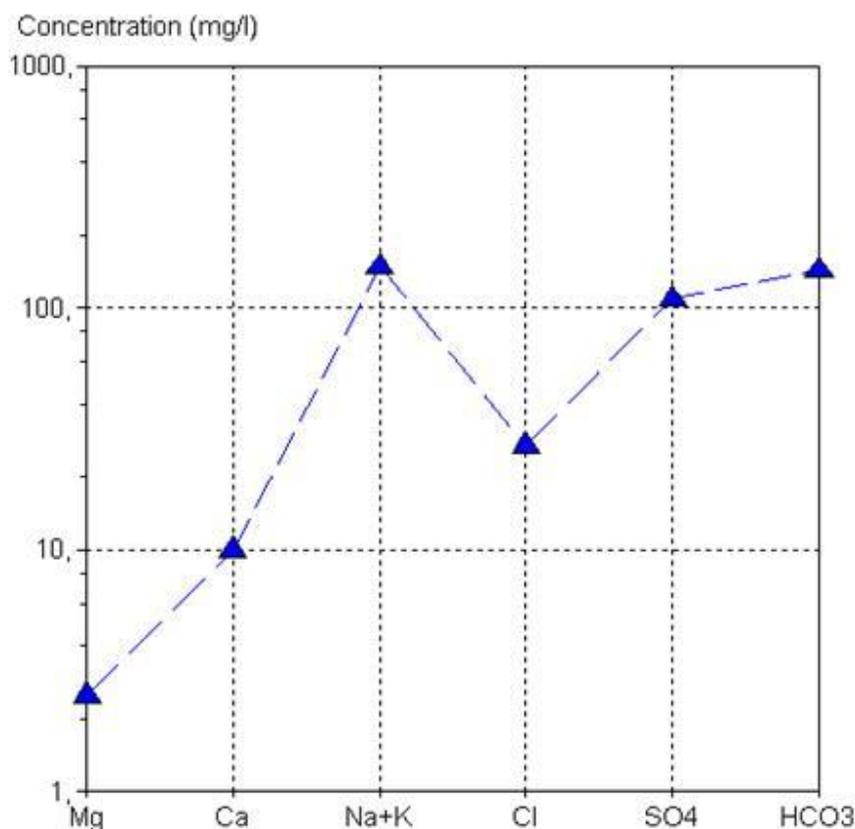


Fig. 15. Diagrama de Schöeller. Pozo cavado del Paraje Maderera de San Antonio. Departamento Pomán.

En la tabla 1 se muestran los valores promedios de pH, dureza y concentraciones de los iones: arsénico, fluoruro, nitrato, sulfato y cloruro obtenidos en las muestras extraídas de la fuente de abastecimiento estudiada y a la salida del equipo potabilizador.

Se observa que la concentración media del ion arsénico en las muestras extraídas del pozo cavado exceden el valor guía recomendado por la OMS (2006) y el límite tolerable de este ión en agua para consumo humano establecido por la normativa nacional, el CAA (Resolución N°68/2007 y N°196/2007, modificada por Resolución Conjunta SPReI N° 34/2012 y SAGyP N° 50/2012) que en ambos caso es de 10 µg/l.

En la matriz estudiada, la concentración media de arsénico detectada se corresponde con aguas bicarbonatada-sódica cálcica con pH ligeramente alcalino, condiciones propicias para la geodisponibilidad de este ión en el acuífero en estudio (Cabrera et al., 2005. Gómez et al, 2009).

Con respecto a la concentración media del ion fluoruro, el valor medio detectado ( $8,1 \pm 0,5 \text{ mg/l}$ ) excede ampliamente el nivel guía de 1,5 mg/l para este ión propuesto por la OMS. También supera el límite máximo tolerable de 1 mg/l fijado por la normativa nacional (CAA) que se da en función de la temperatura media anual de la zona (21°C), considerando el consumo diario de agua de bebida.

Tabla 1: Características físico-químicas del agua de la captación subterránea estudiada y de la salida del equipo potabilizador

| SITIOS DE MONITOREO                        | pH      | As Total µg/l | F <sup>-</sup> mg/l | Dureza mg/l | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> mg/l | Cl <sup>-</sup> mg/l | STD mg/l |
|--|---------|---------------|---------------------|-------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------|----------|
| Maderera de San Antonio. Salida del Pozo   | 8,8±0,2 | 28± 1         | 8,1±0,5             | 36±8        | 3 ± 1                             | 109±6                              | 27±3                 | 221±3    |
| Salida del Equipo de abatimiento de As y F | 7,2±0,5 | 5±1           | 0,7±0,1             | 21±3        | 1,3±0,1                           | 2 ± 8                              | 11 ± 2               | 28,4±0,5 |

Las concentraciones promedios de los iones mayoritarios determinadas en las muestras extraídas se ajustan tanto a los límites fijados por el CAA para aguas de consumo humano, como a las recomendaciones de la OMS para dicho uso.

Los valores medios de pH, STD y conductividad (458  $\mu\text{S/cm}$ ) permiten clasificar el agua del pozo cavado como alcalina con conductividad media.

Como se muestra en la tabla 1 la concentración media de fluoruro (0,7 mg/l) en el agua obtenida a la salida del equipo se ajusta a las recomendaciones de la OMS.

La normativa nacional establece para el ion fluoruro en agua de consumo el valor de 0,7 mg/l como límite inferior recomendado para una temperatura media anual de la zona de 17,7°C, concentración que se logra con la tecnología aplicada siendo inferior además al nivel guía para este ión propuesto por la OMS (1,5 mg/l).

En el caso del arsénico el valor medio en el agua analizada (< 5  $\mu\text{g/l}$ ) es inferior a la concentración máxima (10  $\mu\text{g/l}$ ) exigida por el CAA y recomendada por la OMS. Los valores medios de pH, STD y conductividad (57  $\mu\text{S/cm}$ ) permiten clasificar el agua del pozo cavado como alcalina con conductividad baja.

### 3.1. Calidad bacteriológica del agua:

Como se muestra en la tabla 2 la media geométrica de la concentración de bacterias CT en las muestras extraídas a la salida del pozo cavado fue de 100 (UFC/100ml), no detectándose presencia de bacterias EC en la matriz analizada.

A la salida del equipo el número de unidades formadoras de colonias de bacterias CT en 100 ml de agua fue nula, por lo que el porcentaje de remoción fue de 100%.

Tabla 2: Calidad bacteriológica y porcentaje de remoción de bacterias.

|  | Bacterias Coliformes Totales (CT) | Bacterias Coliformes Totales (CT) según CAA | Porcentaje de Remoción (%) |
|--|-----------------------------------|---|----------------------------|
| Salida Pozo (fuente de abastecimiento escuela) | >100 (UFC/100ml)                  | 0 (UFC/100ml)                               | 100                        |
| Salida Equipo de OI                            | 0 (UFC/100 ml)                    |   |                            |

## 4. CONCLUSIONES

El sistema transferido tuvo una buena aceptación por la comunidad del paraje, fundamentalmente por la simplicidad de operación, calidad y sabor del agua obtenida. Razón por la cual se considera viable su aplicación en zonas aisladas con problemáticas similares.

La respuesta del sistema de generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de energía solar existente en la escuela Maderera de San Antonio fue adecuada para lograr el normal funcionamiento del sistema de potabilización.

La composición química del agua del acuífero en explotación para consumo humano en el paraje Maderera de San Antonio, es bicarbonatada sódica-cálcica de mineralización media. Las concentraciones medias de los iones mayoritarios analizados se ajustan a las exigencias de las normativas para agua potable.

Las concentraciones medias de los iones arsénico, fluoruro y bacterias CT en la fuente de abastecimiento de la escuela superan los valores guías de la OMS y límites máximos fijados por el CAA. La geodisponibilidad del arsénico e ion fluor en el recurso hídrico estudiado se ve favorecida por las características hidroquímicas del agua del acuífero (bicarbonatada-sódica cálcica con pH ligeramente alcalino).

Los porcentajes de remoción de los iones arsénico, fluoruro y bacterias CT obtenidos con la tecnología aplicada fueron de 82%, 91,3% y 100% respectivamente, consiguiendo un agua apta para consumo humano en función de las normativas consultadas.

Se espera que el equipo instalado pueda aportar solución a la problemática local de calidad de vida y se incentive la utilización de esta tecnología para la solución del problema de enfermedades hídricas producidas por bacterias y

concentraciones elevadas de arsénico y fluoruro en el agua subterránea de la zona.

## REFERENCIAS

- Auge M., Wetten G., Baudino G., Bonorino G., Gianni R., Gonzalez N. (2006). *Hidrogeología de Argentina. Boletín Geológico y Minero*, **117** (1): 7-23. ISSN: 0366-0176
- APHA.-A.W.W.A.-W.E.F. (2005). Standard Methods for de Examination of Water and Wastewater. Edición 21. pp 3-25; 3-38, 3-61; 4-85. United States of America.
- Barrachina, A., Beneyto, F. y Carbonell, F. (1995). Arsénico en el sistema suelo-planta: significado ambiental. Universidad de Alicante. Gráficas Vidal Leuka, S. L. pp. 6-17, 103-107.
- Cabrera A., Blarasin M., Cabrera S., Matteoda., Gómez M., Villalba G., Hildmann F., Bettera A. (2005). Arsénico y flúor en el acuífero freático en el sur de Córdoba: Línea de base hidroquímica y problemática ambiental vinculada. Arsénico en agua: origen, movilidad y tratamiento. Taller. II Seminario Hispano -Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea - IV Congreso Hidrogeológico Argentino. Río Cuarto. Córdoba. Argentina. pp 41-52.
- Código Alimentario Argentino. (2007). Capítulo XII. Art. N° 982. Resolución N°68/2007 y N°196/2007. Modificación 2012 (Resolución Conjunta SPReI N° 34/2012 y SAGyP N° 50/2012). Ministerio de Salud. Bs. As. Argentina.
- Gómez, M. Blarasin, M., Martínez, D. (2009). Arsenic and fluoride in a loess aquifer in the central area of Argentine: Environmental Geology, **57**, 143-155.
- González Bonorino, F. (1950). Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. *Revista Asociación Geológica Argentina*, **5** (3): 81-110. Buenos Aires.
- Lahermo P.W. (1987). The ocurrent and pathays of abnormally high fluoride concentrations in the

- environment and their impact on human health in northern Tanzania. *Elements and Disease Proc. On the first. Int. cont. on Elements*, 30-43.
- OMS. 2006. Guías para la Calidad de Agua Potable. Primer Apéndice de la Tercera Edición. Volumen I. Recomendaciones. Ginebra. Suiza.
- Palacios, S., Guglielmino, C., Vereá, M. y Pecotche, D. (2012). H.A.C.R.E. Hidroarsenicismo Crónico Regional y Endémico. *Arch. Argent. Dermatol* (pp. 62, 233-238).
- Resolución Conjuntas SPRyRS N° 68/2007 y SAGPyA N° 196/2007.  
<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/125000-129999/128630/norma.htm>
- Resolución Conjunta SPReI N° 34/2012 y SAGyP N°50/2012.  
[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:m06niM\\_gW3MJ:infoleg.mecon.gov.ar/infolegInternet/anexos/190000-194999/194461/norma.htm](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:m06niM_gW3MJ:infoleg.mecon.gov.ar/infolegInternet/anexos/190000-194999/194461/norma.htm)
- Reynoso S., Ramírez A., Arguelles C. (2016). Estudio de la concentración de flúor, en el agua subterránea de Santiago del Estero (Dptos. Copo y Alberdi). *Calidad del Agua Subterránea. IX Congreso Argentino de Hidrogeología*. Pp 109-114
- Rodríguez C., Foresi P., Herrera R., Schneiter L. (2015). Controles y Comportamiento de Instalaciones de Sistemas Fotovoltaicos en Escuelas Rurales de Catamarca. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, **36**, 57-66. ISSN 0328-932X
- Vilches F., Palomeque L., Córdoba G., Fuentes S., Navarro García L. (2005) “El Arsénico en la Provincia de Catamarca”. *Arsénico en Agua Origen, Movilidad y Tratamiento*.  
[digital.csic.es/bitstream/10261/4019/1/Galindo\\_et\\_al-Arsenico-2005.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/4019/1/Galindo_et_al-Arsenico-2005.pdf). pp. 103-110.