

# TECNOLOGÍAS PARA LA DESALINIZACIÓN DE AGUA. EXPERIENCIAS EN EL NOA.

María de los Ángeles GARCÍA<sup>1</sup>; Silvina BELMONTE<sup>2</sup>; Judith FRANCO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa).  
Av. Bolivia 5051, Salta. [garciamariaangeles.07@gmail.com](mailto:garciamariaangeles.07@gmail.com)

<sup>2</sup>Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa). Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) – Universidad Nacional de Salta (UNSa).  
Av. Bolivia 5051, Salta. Teléfono +54 387 4255424. Fax + 51 387 4255489.  
[silvina\\_belmonte@yahoo.com.ar](mailto:silvina_belmonte@yahoo.com.ar) - [francojudita@yahoo.com.ar](mailto:francojudita@yahoo.com.ar)

## RESUMEN

Una de las limitaciones principales para el acceso al agua es la contaminación natural o artificial salina de las fuentes de agua dulce, lo que desencadena afecciones en la salud y bienestar de la población. En el Noroeste Argentino (NOA) se evidencian con claridad problemas asociados al exceso natural de sales en el agua (en algunos casos con arsénico). Esta situación se da particularmente en las regiones Chaco y Puna, zonas que además resultan marginadas geográfica y políticamente. Este trabajo pretende contribuir a la investigación de tecnologías de desalinización de agua para consumo humano. Plantea el estudio y comparación de aplicaciones de energía solar y otras tecnologías utilizadas en el NOA, considerando aspectos técnicos y socio-ambientales que influyen en su apropiación. La metodología incluyó un relevamiento de antecedentes sobre alternativas tecnológicas para la desalinización de agua y consulta de experiencias previas desarrolladas en la región. Por otra parte, se realizó una evaluación a campo del estado y funcionamiento de algunos equipos instalados. Además se llevaron a cabo entrevistas estructuradas vía mail, a referentes claves (investigadores, técnicos, extensionistas) que participan o participaron en proyectos de desarrollo y/o transferencia de tecnologías de desalinización de agua. A partir del análisis de esta información, se identificaron ventajas y desventajas de cada tecnología, como así también oportunidades y limitaciones para la implementación de los proyectos. En las conclusiones, se plantea la necesidad de abordar la problemática de acceso al agua desde una perspectiva más integral. La participación activa de los actores involucrados, la selección de alternativas socio-técnicas adecuadas y el monitoreo y evaluación de los proyectos, resultan aspectos claves para avanzar en la sostenibilidad de las tecnologías hacia una mayor equidad e inclusión social.

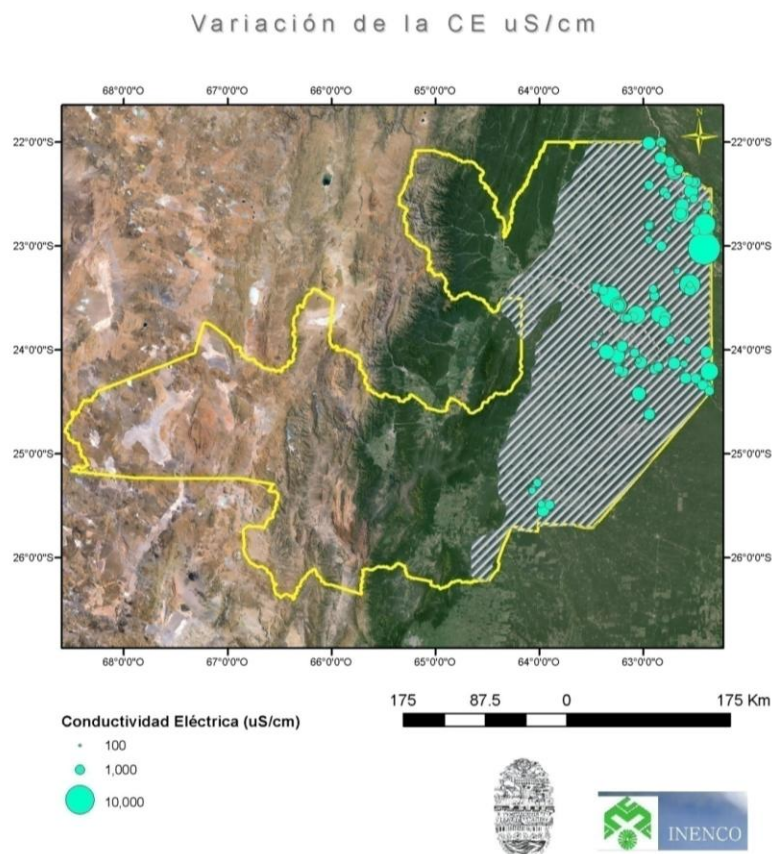
**Palabras clave:** Desalinización, agua, apropiación tecnológica, NOA.

## INTRODUCCION

Una de las limitaciones principales para el acceso al agua, prioritariamente para consumo humano, es la contaminación salina de las fuentes de agua dulce, lo que desencadena afecciones en la salud y bienestar de la población.

En nuestro país una de las sales que más problemáticas causa es el arsénico (As), al ser un elemento de amplia distribución. Se han identificado extensas regiones afectadas por su presencia en el agua subterránea de forma natural, y en menor medida en agua superficial. En muchos casos estas fuentes de agua son usadas para abastecer las demandas de consumo de la población. El origen del As en las aguas subterráneas de la Argentina es atribuido a la actividad volcánica ocurrida en los Andes durante el Cuartario, actividad que fue muy intensa en el Altiplano (Mendiburu, et. al. 2001)

En el Noroeste Argentino (NOA) se evidencian con claridad problemas asociados al exceso natural de sales en el agua, y es de particular relevancia la contaminación de pozos subterráneos (someros y profundos). Esta situación acontece particularmente en las regiones Chaco y Puna, zonas que además resultan marginadas geográfica y políticamente. Al analizar la conductividad eléctrica del agua en pozos subterráneos del Chaco salteño, se observan problemas de salinidad en el agua. La conductividad eléctrica es un indicador directamente proporcional de la concentración de sales (Fig. N° 1).



**Fig. N° 1: Análisis de variable conductividad eléctrica medida en agua subterránea en el Chaco salteño.**

**Fuente: López, E., Belmonte, S., & Franco, J. (2013).**

Las sales en general, y el arsénico en particular, producen serias alteraciones en la salud del hombre y de los animales, por ello se han desarrollado diferentes alternativas para la remoción salina del agua. Este trabajo pretende contribuir a la investigación de

las tecnologías de desalinización de agua para consumo humano, focalizándose en las regiones de Puna y Chaco. Así, se plantea el estudio y comparación de aplicaciones de energía solar y otras opciones tecnológicas utilizadas en el NOA, considerando aspectos técnicos y socio-ambientales que influyen en su apropiación.

El análisis de las alternativas incluye el relevamiento de opiniones y percepciones de actores sociales vinculados, a fin de aportar en la evaluación de las tecnologías adecuadas para mejorar el acceso al agua y la identificación de sitios prioritarios para su uso. Además, en este estudio se presenta una evaluación a campo del estado y funcionamiento de destiladores solares instalados en los parajes de Hurcuro y Esquina de Guardia, departamento Los Andes, Provincia de Salta.

Se espera con este trabajo aportar a la investigación de tecnologías de desalinización de agua para consumo humano con una perspectiva integral socio-ambiental.

## MATERIALES Y METODOS

Las herramientas metodológicas utilizadas en el desarrollo de la investigación fueron las siguientes:

**Análisis comparativo de tecnologías existentes para desalinización de agua** (las más empleadas en la última década): Incluyó la recopilación de antecedentes acerca de las alternativas tecnológicas disponibles para solucionar esta problemática, la sistematización de la información y el análisis comparativo de las mismas, evaluando las ventajas y desventajas que presenta cada una. Asimismo, se realizó una caracterización sintética de las alternativas tecnológicas vigentes en el área de estudio las que se pusieron en marcha a partir de experiencias de transferencia tecnológica en la región NOA. Tanto el relevamiento general como la caracterización, se elaboraron a partir de diversas fuentes bibliográficas y de proyectos anteriores desarrollados por diversas instituciones públicas, tesis de grado y posgrado, libros relacionados, artículos científicos, entre otras.

**Encuesta vía mail:** Se desarrolló una encuesta online a través de la herramienta web [www.encuestafacil.com](http://www.encuestafacil.com). Se seleccionó esta modalidad por considerarse un medio con buen alcance, bajo costo, rapidez y procesamiento inmediato de los datos. La encuesta tuvo por objetivo conocer las percepciones de técnicos, extensionistas e investigadores que trabajan o trabajaron vinculados directa o indirectamente al tema de purificación del agua para consumo humano (problemática hídrica, acceso al recurso, desarrollo y transferencia tecnológica, comunidades y áreas afectadas, etc.). La encuesta se estructuró en cuatro bloques orientados a: 1- identificar el grado de acercamiento y familiaridad de los encuestados con las tecnologías de desalinización; 2- conocer cuáles fueron las tecnologías implementadas en terreno relacionadas en forma directa con las poblaciones locales y los resultados obtenidos; 3- indagar qué método o tecnología de desalinización de agua tienen mayor potencial de aplicación en el Noroeste Argentino; 4- definir el perfil de los encuestados. Se envió la encuesta a 85 personas pertenecientes a diversas instituciones científico-tecnológicas.

**Relevamiento de campo – estudio de caso:** Se realizó un viaje de campo para evaluar el funcionamiento y uso de destiladores solares instalados en los parajes Esquina de Guardia y Hurcuro, departamentos de La Poma y Los Andes, respectivamente. Se realizaron visitas a las familias que tienen destiladores solares instalados, incluyendo la observación directa de los equipos y entrevistas a los usuarios

y a referentes comunitarios (cacique de comunidades coya, agente sanitario, encargado de la escuela, etc.). A partir del relevamiento in-situ se evaluó el estado de la tecnología, su adaptación al medio y la percepción de los usuarios.

## RESULTADOS

### Descripción de tecnologías para la desalinización del agua para consumo

En este apartado se detalla brevemente el funcionamiento de las alternativas tecnológicas más empleadas en Latinoamérica. En la Tabla N° 1 se caracterizan las tecnologías que buscan remover específicamente altas concentraciones de As para el abastecimiento de agua potable. El Código Alimentario Argentino (CAA) establece un límite máximo de concentración de As en el agua potable de 0,05 mg/L. En segundo lugar se describen las tecnologías que resuelven distintos problemas de salinidad, debido a sales como: plomo, magnesio, manganeso, oro, entre otros (Tabla N° 2).

**Tabla N° 1: Caracterización general de tecnologías empleadas para el abatimiento de arsénico en agua para consumo humano.**

<i>Tecnología</i>	<i>Modo de funcionamiento</i>
<i>Coagulación, floculación y sedimentación</i>	En la <i>Coagulación</i> , se efectúa el agregado de productos químicos (coagulantes) que cambian las propiedades de las cargas superficiales permitiendo que las partículas se aglomeren en un floc o partículas de mayor tamaño. Esta segunda etapa se denomina <i>Floculación</i> . Los flocs, por el aumento de tamaño y consecuentemente de masa, pueden entonces precipitar o decantar, siendo así removido el As en su mayor parte, a través de una etapa que es conocida como <i>Sedimentación</i> (Benitez et al, 2008).
<i>Adsorción (basado en Hierro)</i>	Es un proceso de transferencia de masa donde una sustancia es transformada desde la fase líquida a la superficie de un sólido y queda atrapada por fuerzas físicas o químicas. Este proceso ocurre sobre partículas sólidas en medios fijos. Es un fenómeno superficial y por lo tanto cuanto mayor es la superficie del medio mayor es la capacidad de acumular material, As en nuestro caso (Benitez et al, 2008).
<i>Intercambio iónico</i>	El intercambio iónico es un proceso fisicoquímico de intercambio reversible de iones entre una fase líquida y una sólida, sin un cambio permanente en la estructura del sólido. La solución se pasa a través del lecho hasta que se satura y comienza la fuga de contaminantes. En ese momento la resina (fase sólida) se reactiva con una solución de regenerante que lleva los contaminantes retenidos para disposición como efluente líquido. Existen resinas de intercambio iónico básicas fuertes para remoción de As en forma ionizada. Las resinas sulfato selectivas convencionales son las más utilizadas para remoción de arsenatos (Benitez et al, 2008).
<i>Ósmosis inversa</i>	La ósmosis inversa se produce cuando se ejerce presión para invertir el flujo osmótico normal. Así, aplicando presión el agua es forzada a pasar a través de la membrana semipermeable desde el lado más concentrado (agua cruda), hacia el lado menos concentrado (agua tratada), quedando retenidos en la membrana, por su tamaño, los iones del arsénico. Los equipos de ósmosis inversa cuentan con una bomba de alta presión, que impulsa el agua contaminada a los tubos donde están ubicadas las membranas. La eficiencia en la remoción de As de los equipos de ósmosis inversa, puede llegar al 98% (Benitez. et al, 2008).

<i>Método RAOS (Remoción de Arsénico por Oxidación Solar)</i>	RAOS busca generar el floculo de hidróxido de hierro por oxidación solar de sales de hierro en presencia de citrato y de aire. Las reacciones fotoquímicas que tienen lugar no sólo generan el precipitado de hidróxido de hierro, sino que simultáneamente promueven la formación de especies muy activas que oxidan el arsénico a arseniato, el cual se adsorbe en el floculo. El citrato se agrega en forma de jugo de limón al agua contenida en botellas plásticas que se exponen al sol por algunas horas. Durante la noche las botellas se colocan en posición vertical, así el hierro y el arsénico floculan y el agua purificada se filtra a través de simples paños textiles (Hidalgo et al, 2002).
<i>Filtros cerámicos</i>	Los filtros para arsénico están basados en el uso del hidróxido férrico como principal absorbente del arsénico, éste se debe a la oxidación de una barra de hierro o clavos o viruta de acero, acompañado con mantos filtrantes de arena gruesa, gravas y arcilla. En nuestra zona se usan ladrillos triturados. Luego se realiza un filtrado biológico basado en carbón vegetal (Com. pers. Arq. Jiménez, Abril 2015).

**Tabla N° 2: Caracterización general de otras tecnologías empleadas para desalinización de agua (no sólo remoción de As)**

<i>Tecnología</i>	<i>Modo de funcionamiento</i>
<i>Destiladores solares</i>	Los desalinizadores solares tipo invernadero consisten en una bandeja oscura donde se coloca el agua contaminada, la radiación solar se absorbe en dicha bandeja, calienta el agua y produce la evaporación de la misma, quedando las sales concentradas en el fondo. El agua evaporada se condensa en la cubierta de vidrio, con pendiente a dos aguas, escurre por la misma y se recoge en canaletas que la llevan al exterior donde se colecta (Benitez et al, 2008). Actualmente se encuentran en etapa de prueba destiladores multietapa. Están formados por varias etapas que se superponen verticalmente, donde el agua salada se entrega en la etapa superior y va pasando sucesivamente de etapa en etapa. A diferencia de los destiladores tipo batea (invernadero) aumentan el volumen del producto de agua destilada (Franco et al, 2013).
<i>Adsorción basado en otros medios como Alúmina activada</i>	El agua a purificar se pasa a través de un reactor de lecho fijo cargado de la sustancia adsorbtiva alúmina activada, una mezcla de óxidos de aluminio cristalinos y amorfos de composición aproximada a Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . Es altamente selectiva para remover As <sup>5+</sup> y efectiva para tratar agua con alto contenido de sólidos disueltos. Pueden retener también: selenio, fluoruro, cloruro y sulfato. La Alúmina activada puede ser regenerada típicamente con hidróxido de sodio, enjuagada y luego neutralizada típicamente con ácido sulfúrico (Benitez, R. et al, 2008).
<i>Absorción</i>	El método emplea un <i>hidrogel</i> que contiene partículas superabsorbentes que funcionan como filtros. La sal se adhiere a estas partículas y se elimina paulatinamente. En general, ha sido utilizado para reducir de manera significativa el tenor salino del agua del mar para convertirla en agua potable. ( <a href="http://www.ecologiaverde.com/mejoran-la-desalinizacion-de-agua-de-mar-con-el-metodo-usado-en-los-panales/">http://www.ecologiaverde.com/mejoran-la-desalinizacion-de-agua-de-mar-con-el-metodo-usado-en-los-panales/</a> )
<i>Nanofiltración, ultrafiltración y microfiltración</i>	El principio de la micro y ultrafiltración es la separación física. Las sustancias de mayor tamaño que los poros de la membrana son retenidas totalmente. Las sustancias que son más pequeñas que los poros de la membrana son retenidas parcialmente, dependiendo de la construcción de una capa de rechazo en la membrana. En la nanofiltración la separación ocurre por difusión a través de la membrana. El tamaño de poro de la membrana es lo que determina hasta qué punto son eliminados los sólidos disueltos, la turbidez y los microorganismos ( <a href="http://www.lenntech.es/tecnologia-de-membrana.htm">http://www.lenntech.es/tecnologia-de-membrana.htm</a> )

<i>Electrodialisis reversible</i>	<p>La electrodiálisis (ED) es una técnica mediante la cual se hace pasar una corriente eléctrica continua a través de una solución iónica, los iones positivos (cationes) migrarán hacia el electrodo negativo (cátodo), mientras que los iones negativos (aniones) hacia el electrodo positivo (ánodo). Si entre ambos electrodos se colocan dos membranas semi-impermeables que permiten selectivamente solo el paso del Na<sup>+</sup> o del Cl<sup>-</sup>, el agua contenida en el centro de la celda electrolítica se desaliniza progresivamente, obteniéndose agua dulce. La Electrodiálisis Reversible (EDR) es una versión de la Electrodiálisis en la que se invierte la polaridad de los electrodos varias veces por hora, lo que induce una autolimpieza química (<a href="http://www.mailxmail.com/curso-agua-desalacion-2-4/electrodialisis">http://www.mailxmail.com/curso-agua-desalacion-2-4/electrodialisis</a>).</p>
-----------------------------------	---

### *Aplicación de tecnologías de desalinización de agua en la Puna y Chaco salteño*

Según los antecedentes consultados en la bibliografía y fuentes directas de información (entrevistas personales), las tecnologías para desalinización de agua con mayor distribución en zonas aisladas de la provincia de Salta son los destiladores solares, los filtros cerámicos y los módulos de abatimiento de As.

En nuestra provincia, en algunos sectores, el recurso agua no es recomendable debido a la presencia de arsénico y otras sales. Por otro lado, estas zonas perciben a su favor excelentes condiciones del recurso solar, las cuales junto con sus condiciones medioambientales, hacen de la desalinización solar una potencial aplicación. Por ello desde el año 1993, y hasta la fecha, se ha trabajado en el desarrollo y transferencia tecnológica de los mismos en distintos parajes de los departamentos Anta, Rivadavia, Iruya, Santa Victoria, La Poma y Los Andes. La instalación de los equipos ha sido impulsada desde diversas instituciones entre las que podemos mencionar: el Instituto de Investigación en Energías No Convencionales (INENCO), el Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Pequeña Agricultura Familiar de la Región NOA (IPAF NOA), la Agencia de Extensión Rural de San Antonio de los Cobres (AER), entre otros.

Los filtros cerámicos fueron instalados en el marco del Programa Social en Fronteras Argentinas (PROSOFA), dependiente del Ministerio de Planificación Federal Inversión Pública y Servicios de la Nación. La iniciativa surgió al llevarse a cabo en el año 2007 un relevamiento de pozos de agua en parajes del municipio de Rivadavia Banda Sur y encontrar pozos que contenían arsénico. A partir de esto y como primera experiencia, desde la coordinación se decide instalar filtros para As en los parajes Tres Horcones y Ciervo Cansado (Com. pers. Arq. Jimenez Guillermo, Abril 2015).

En la provincia, la Secretaria de Recursos Hídricos (SRH), ante la necesidad de buscar soluciones a la problemática, creó la Mesa Provincial del Arsénico (MeProAs), la cual incluye entre sus funciones, la búsqueda de soluciones técnicas, con el objeto de disminuir el contenido de As en el agua destinada al consumo humano. En julio de 2012, personal de la SRH y de la Subsecretaría de Financiamiento PROSOFA II, concurrió a la localidad de Rivadavia Banda Sur, a relevar los pozos de las Escuelas de las comunidades de Tres Horcones y Ciervo Cansado. En base al sistema planteado anteriormente desde el PROSAFA y teniendo en cuenta la eficiencia de remoción promedio alcanzado de un 85 %, la SRH de la provincia propuso un sistema alternativo, con filtro de adsorción – filtración en serie, que permitan un óptimo tratamiento del agua en zonas del Chaco Salteño donde los tenores de arsénico son muy elevados, denominados Módulos de Abatimiento de As. Se amplió la instalación de los equipos a los departamentos de Anta y Rivadavia (Torres, J., et. Al. 2014).

## **Resultados de la encuesta**

### *Perfil de los encuestados*

El porcentaje de respuesta a la encuesta on-line alcanzó el 49.4 %. Participaron 42 profesionales, la mayoría de ellos vinculados a la investigación (76%), la docencia (50%) y actividades de extensión (48%). Sólo 6 encuestados mencionaron otras actividades: cargos de gerencia institucional, prestación de servicios técnicos, becarios y consultores. Entre las instituciones representadas se encuentran las universidades nacionales de Santiago del Estero, Salta y Buenos Aires, a través de diversos institutos de investigación: Consejo de Investigación (CIUNSA), Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales (INENCO), Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO), Instituto de Desarrollo Rural y Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua de la Facultad de Ciencias Veterinarias. Entre los Organismos Nacionales se destacan el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) con participación de sus sedes Salta y Buenos Aires (INTI Química), la Subsecretaría de Agricultura Familiar – Delegación Salta, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) con participación del Instituto de Investigación para la Pequeña Agricultura Familiar (IPAF) y la Agencia de Extensión Rural Los Andes, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

### *Conocimiento de las tecnologías de desalinización de agua*

El grupo consultado manifestó un alto conocimiento de las diversas tecnologías existentes para la purificación del agua (Fig. N° 2). Entre ellas, se destacaron como las más conocidas: ósmosis inversa (81%); destiladores solares (76%); métodos de coagulación, floculación, sedimentación y filtrado (69 %); y métodos de adsorción basados en hierro (62%).

El resto de las tecnologías mencionadas en la lista también resultaron conocidas para los encuestados, en un rango del 15 al 40 % de respuesta. Además otras tecnologías de purificación fueron citadas: desalinización mediante energía nuclear, remoción de arsénico por filtrado de áridas e hidróxido férrico, purificación con UV, filtros de arcilla con plata coloidal, fotocátalisis heterogénea y tecnologías avanzadas de oxidación.

### *Aplicaciones tecnológicas observadas en terreno*

El 79% de los encuestados mencionaron al menos una tecnología implementada en terreno para solucionar el problema de salinidad en el agua para consumo humano. La figura N°3 resume las tecnologías observadas con más frecuencia en el territorio y relacionadas en forma directa con las poblaciones locales.

Los destiladores solares constituyen la tecnología mencionada con mayor frecuencia (70% - 23 encuestados). Los profesionales consideran que esta tecnología soluciona el problema de salinidad del agua de forma parcial (48%) y total (39%). En los casos conocidos por los encuestados, el 69% de los proyectos fue realizado sin participación activa de los usuarios. Respecto a la aceptación local de esta nueva tecnología se considera que fue 'parcial' para un 70% de los casos.

La segunda tecnología identificada por los encuestados fue ósmosis inversa (30%). Las opiniones están divididas en cuanto a si soluciona o no el problema de salinidad del agua: totalmente (30%), parcialmente (40%), nada (20 %), NS/NC (10%). El 90% de los proyectos en terreno con ósmosis inversa no contemplan la participación activa de los usuarios. La aceptación de los pobladores también es diversa: muy buena (30%), parcial (40%), indiferente (20%), NS/NC (10%).

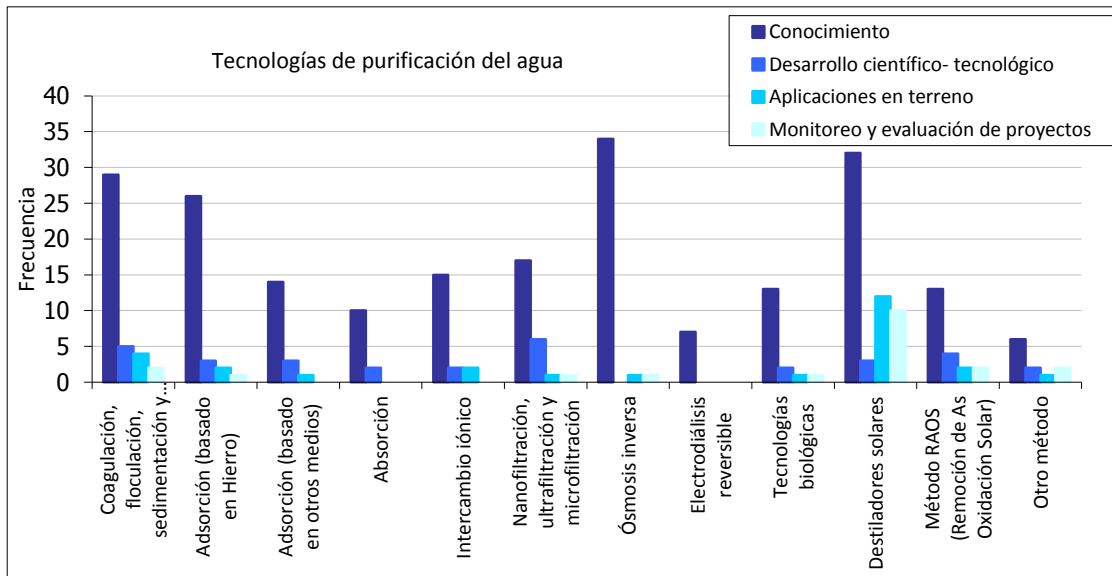


Fig. N° 2: Conocimiento y experiencia de trabajo vinculados a tecnologías de purificación de agua

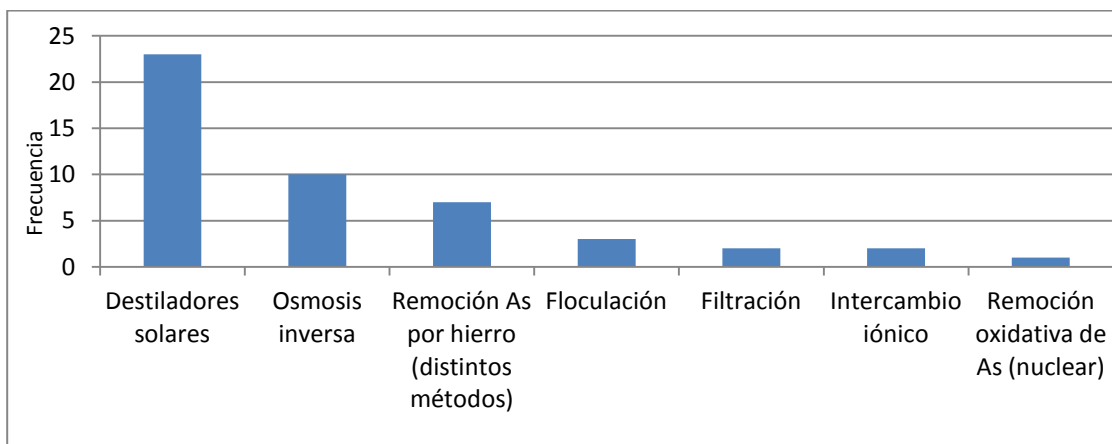


Fig. N° 3: Tecnologías de desalinización implementadas en terreno.

En tercer lugar se agrupan los métodos de remoción de As con hierro (21%). Entre ellos se mencionaron: métodos de adsorción, módulos de abatimiento de As, RAOS y remoción por hierro cerovalente. En los casos de módulos de abatimiento de As y remoción por hierro cerovalente la solución del problema es considerada como ‘total’, mientras que para las otras tecnologías la solución es parcial o mínima. En la mayoría de las experiencias citadas no se incluyó la participación activa de los usuarios (57%) y la percepción acerca de la tecnología fue ‘indiferente’ (43%), destacándose el único caso de ‘rechazo’ mencionado.

Entre los métodos de desalinización aplicados, también se mencionaron dos tecnologías de uso histórico: filtración y floculación. En ambos casos, la solución del problema es de parcial a baja. En relación a las tecnologías de intercambio iónico y remoción oxidativa de As (nuclear) se observó que solucionan de forma parcial el problema y en general no incluyen la participación activa de los usuarios.

Del análisis general de las aplicaciones en terreno surge que a pesar de la diversidad de tecnologías observadas, la solución del problema resulta parcial en el 43% de los casos. La participación activa de los usuarios es limitada (sólo 25%) y la aceptación de las tecnologías es parcial (54%). En la Tabla N°3 se resumen las ventajas y desventajas identificadas para cada tecnología por los encuestados.



**Tabla N° 3: Tabla comparativa de las ventajas y desventajas para las tecnologías identificadas como más relevantes por los encuestados**

<b>Tecnología</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Destiladores solares	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología sencilla, de fácil uso y mantenimiento.</li> <li>• Eficiente en su objetivo: agua de muy buena calidad.</li> <li>• Bajo costo.</li> <li>• Aprovechamiento de recurso solar disponible.</li> <li>• Adecuado para poblaciones aisladas, unidades familiares y consumos relativamente bajos.</li> <li>• Independencia de otro consumo energético (eléctrico/combustible).</li> <li>• Tecnología robusta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja producción de agua.</li> <li>• Problemas de diseño y materiales no adecuados a las condiciones ambientales.</li> <li>• Dificultades para el mantenimiento por falta de recursos y capacitación.</li> <li>• Disposición final de los residuos (sales) no resuelta.</li> <li>• Requiere procedimientos de mezcla y dilución (agua destilada y de fuente natural).</li> <li>• Dificultades de apropiación de la tecnología en terreno.</li> </ul>
Ósmosis inversa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevado volumen de agua tratado.</li> <li>• Buena calidad del agua.</li> <li>• Rápida puesta en funcionamiento.</li> <li>• Se adapta a la necesidad del tipo de contaminante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Difícil tratamiento del rechazo salino.</li> <li>• Altamente costosa.</li> <li>• Mantenimiento y reparación complejos, procesos que requieren de mano de obra muy especializada</li> <li>• Insumos extranjeros.</li> <li>• Alta demanda energética.</li> <li>• Escaso conocimiento local sobre el manejo y mantenimiento de equipos.</li> <li>• Operación compleja.</li> </ul>
Remoción As por hierro (distintos métodos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo costo.</li> <li>• Fácil uso.</li> <li>• Correcta eliminación de As.</li> <li>• Construcción sencilla (Módulos de abatimiento de As).</li> <li>• Amplia disponibilidad de insumos (Módulos de Abatimiento de As).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escasos volúmenes de producción.</li> <li>• Mal sabor (Adsorción).</li> <li>• Estandarización limitada, alta variabilidad en los procesos y productos (Adsorción).</li> <li>• Déficit de modelos de abastecimiento a mediana escala (comunidades y poblaciones pequeñas).</li> <li>• Necesidad de una buena capacitación en la población local (RAOS).</li> <li>• Gran concentración de desechos de As (Remoción por hierro cerivalente).</li> </ul>
Floculación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo costo.</li> <li>• Volumen para consumo domiciliario.</li> <li>• Técnica muy conocida.</li> <li>• Relativamente fácil de implementar.</li> <li>• Existencia de una amplia gama de productos comerciales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad para remover sólo algunas sales.</li> <li>• Tiempo prolongado de espera para la obtención del producto.</li> </ul>

*Tecnologías con mayor potencial de aplicación en el NOA*

Los encuestados opinaron que los destiladores solares constituyen la tecnología de desalinización de agua con mayor potencial de aplicación en el Noroeste Argentino (41%), destacando entre las razones la alta disponibilidad de radiación en la zona, su potencial de aplicación en comunidades dispersas y la sencillez, bajos costos y eficiencia de los equipos. Entre los aspectos a resolver para lograr su apropiación se mencionaron: mejorar la producción, ampliar la escala y garantizar su durabilidad.

Por otra parte un número interesante de encuestados (18%) explicitó la necesidad de combinar diversas alternativas tecnológicas considerando las condiciones, producción necesaria e infraestructura de cada lugar. Entre las combinaciones mencionadas se destacaron: destilación solar (propuesta para Puna y Valles)/filtrado con empleo de arcillas, arenas y material ferroso (con buen resultado en zona chaqueña); destilación solar (viviendas aislada) /ósmosis inversa (mayor producción-equipos comunitarios).

Los métodos de abatimiento de arsénico por adsorción con hierro y las tecnologías de ósmosis inversa también fueron mencionados como alternativas potenciales para el NOA (9% para cada caso). Para el caso de ósmosis inversa se mencionaron como condicionantes fuertes a su aplicación y operación, que es una tecnología importada, sujeta a regulaciones de importación gubernamentales variables, y la inversión es demasiado costosa. Un 15% de los encuestados manifestó no estar en condiciones de responder esta pregunta por falta de experiencia en el tema.

#### *Recomendaciones generales para la apropiación de las tecnologías*

Entre los puntos comentados al final de la encuesta, surgió que el acompañamiento y seguimiento de los proyectos es fundamental y debe considerar las diferentes características socioculturales de las poblaciones del noroeste argentino. Por otra parte, también resulta clave la concientización de la población del daño que implica el consumo de agua contaminada con sales, en particular de las consecuencias del As. Superar este obstáculo requiere una fuerte acción del estado y es prioritario para la apropiación de estas tecnologías que requieren una modificación del hábito por parte del que la consume. En relación a cuestiones técnicas, las sugerencias se orientaron a la mejora de los destiladores solares (producción del destilador e industrialización del prototipo para disminuir el costo). Otra preocupación general a resolver en la aplicación de las distintas técnicas de extracción de As y otras sales, es el destino final y tratamiento de los residuos generados.

#### **Estudio de Caso: Hurcuro y Esquina de Guardia**

A partir del año 2009 se realizaron dos proyectos de destiladores solares en la Puna Salteña (Hurcuro y Esquina de Guardia), con el objeto de abordar la problemática de hidroarsenicismo. Las experiencias fueron desarrolladas por el equipo INTA (ProHuerta, AER San Antonio de los Cobres e IPAF NOA) y el INENCO (CONICET – Universidad Nacional de Salta). La construcción de las distintas partes de los destiladores se realizó en las instalaciones de INENCO. En el caso de Hurcuro, se instalaron destiladores solares en 11 familias campesinas, y en Esquina de Guardia se instalaron 12 equipos, uno en cada una de las viviendas familiares y tres en la escuela.

En el relevamiento a campo (2013), pudo observarse el estado actual de 17 equipos y conocer las opiniones de los usuarios (Fig.4). La mayoría de los entrevistados aseguraron buen uso de los equipos durante el primer año de instalación. Los problemas técnicos se acentuaron en el segundo año. En las observaciones a campo se detectaron roturas en algunos vidrios, mangueras y soportes, pérdidas de agua, falta de aislamiento, entre otros problemas técnicos. Sólo 5 de los equipos se encontraban funcionando al momento del monitoreo. Sin embargo, los pobladores manifestaron un fuerte interés por la reparación de los equipos que se encuentran averiados y por mejorar sus condiciones de mantenimiento en general.

Desde la perspectiva de los usuarios se observó en la mayoría de los casos:

- Buen conocimiento sobre la utilización de los equipos.

- Interés por su cuidado y mantenimiento (mantas para cobertura nocturna, vidrios pegados, pircas y otros medios de protección contra el viento y los animales).
- Realización de limpieza de los equipos cada 15 días aproximadamente.
- Conciencia sobre la necesidad de mejorar la calidad de agua para consumo por cuestiones de salud (agua con arsénico).
- Buena práctica de mezclado de agua y buena aceptación para consumo (sabor).
- Diversificación en los usos y finalidades de los equipos (agua destilada para baterías de autos y paneles solares, agua caliente para baño y servicio en el hogar).



**Fig. N° 4: Experiencia de relevamiento de destiladores solares.**  
A la izquierda, Comunidad de Hurcuro; a la derecha, Esquina de Guardia.

Como respuesta a la demanda de la comunidad, logró realizarse una campaña de reparación de destiladores recientemente (17 al 19/04/2015). En la misma se repararon 10 equipos que quedaron funcionando en perfectas condiciones. Esto fue posible gracias al compromiso y trabajo conjunto de la comunidad y los técnicos.

## CONCLUSIONES

Existen diversas tecnologías desarrolladas para la desalinización del agua y en particular la remoción de As. en el NOA. Sin embargo condiciones geográficas, técnicas, económicas y culturales limitan su implementación real en las comunidades. Los destiladores solares se identifican como una de las tecnologías con mayor potencial, pero requiere de mejoras técnicas para aumentar la producción, resistencia de los materiales y mantenimiento de los equipos.

La consulta a actores sociales diversos aporta información relevante a fin de comprender el funcionamiento de las diversas alternativas tecnológicas y su apropiación en el territorio. La visión de los investigadores y técnicos permite retroalimentar el proceso proponiendo mejoras concretas en el desarrollo tecnológico y recomendaciones más estructurales a nivel político-institucional. La percepción de los usuarios resulta clave a fin de lograr el mantenimiento y uso sostenido de las tecnologías. La experiencia de relevamiento a campo, permitió reconocer la efectividad de algunos equipos y la respuesta positiva al empleo de los mismos de la mayoría de los usuarios. En este sentido, el monitoreo y evaluación de los proyectos es necesario para garantizar la continuidad de las experiencias y la solución efectiva del problema de acceso al agua.

Finalmente se plantea la necesidad de abordar la problemática de acceso al agua desde una perspectiva más integral para lograr mayor sostenibilidad de las tecnologías, equidad e inclusión social.

## BIBLIOGRAFÍA

**Benitez, R. O., Álvarez, J. A., Dahbar, M. O. y Rivero, S. I. (2008).** “*Alternativas tecnológicas a tener en cuenta para la toma de decisiones frente a la problemática del arsénico en el agua de bebida*”. Programa Nacional de Minimización de Riesgos por Exposición a Arsénico en Agua de Consumo–Res. Ministerial, 253(01).

**Código Alimentario Argentino (2007).** *Capítulo XII: Bebidas analcohólicas, bebidas hídricas, agua y agua gasificada.*

**Corroto, C., Carrera, A. P., Calderón, E. y Cirelli, A. F. (2012).** “*Alternativas de Remoción de Arsénico en Aguas de Rechazo de Plantas de Osmosis Inversa*”.

**Curto, S. I., Mendiburo, N. A., Plastina, R. y Boffi, R. (2001).** “*Arsénico en acuíferos: influencia sobre la salud de la población*”. Anales GÆA, Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, 21-22.

**Fernández-Turiel JL, Galindo G, Parada MA, Gimeno D, García-Vallés M. y Saavedra, J. (2005).** “*Estado actual del conocimiento sobre el arsénico en el agua de Argentina y Chile: origen, movilidad y tratamiento*”. Taller. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea - IV Congreso Hidrogeológico Argentino. 25 al 28 de octubre de 2005; Río Cuarto, Argentina. p. 1-22.

**Franco, J.; Saravia, L. y Esteban, S. (2013)** “*Destilador Solar Multietapa Subatmosferico*”. *Avances en Energías Renovables Y Medio Ambiente*. Salta: Asociación Argentina De Energía Solar. Vol.17 N°. P1 - 10. Issn 0329-5184.

**Hidalgo, M. D. V., Apella, M. C., Litter, M. I. y Blesa, M. A. (2002).** “*Tecnologías Económicas de Potabilización Solar de Agua en Zonas Aisladas de Latinoamérica*”. *Centro*, 3(4), 5.

**López, E., Belmonte, S., y Franco, J. (2013).** “*Elaboración De Un Sistema De Información Geográfica Hídrico Para Evaluar Potenciales Aplicaciones De Energía Solar En El Chaco Salteño*”. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Salta: Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente. 2013 vol.17 n°. p143 - 153. ISSN 2314-1433.

**Torres J. G., Zapata O., Rodríguez M., Tarcaya D. y Pitzzú G. (2014).** “*Método de abatimiento de arsénico en escuelas de la llanura Chaco- Salteña*”. 2º Congreso Internacional de Hidrologías. Santa Fé.

<http://www.ecologiaverde.com/mejoran-la-desalinizacion-de-agua-de-mar-con-el-metodo-usado-en-los-panales/>

<http://www.elessia.com/es/explicacion-del-proceso-ultrafiltracion.html>

<http://www.lenntech.es/micro-y-ultra-filtracion.htm>

<http://www.lenntech.es/tecnologia-de-membrana.htm>

<http://www.mailxmail.com/curso-agua-desalacion-2-4/electrodialisis>

<http://www.prosofa.gov.ar/Documentos.html>

<http://www.totagua.com/pdf/equipos-depuracion/ultrafiltracion.pdf>

<http://www.ultrafiltracion.com.mx/>

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por los proyectos CIUNSa. N° 2019/3. “Desalinización de agua para mejorar las condiciones de vida usando energía solar” y PIP CONICET N°00708: “Desarrollo de tecnología solar de desalinización de agua con alta producción para la mejora de condiciones de vida y sistemas productivos”.

Se agradece especialmente a todos los técnicos que contestaron la encuesta online; al Arq. Guillermo Jiménez por su asesoramiento en los aspectos técnicos; al Sr. Ricardo Caso por su acompañamiento en el trabajo de campo y compromiso con la apropiación de las tecnologías; a la cacique “Doña Clemencia” del paraje de Hurcuro por su gran colaboración y hospitalidad; y a todos los usuarios de destiladores solares de los parajes Hurcuro y Esquina de Guardia por habernos recibido gentilmente en su hogar.