



Salud Ambiental

HIDROARSENICISMO CRÓNICO REGIONAL ENDÉMICO (HACRE)

Módulo: Abatimiento de Arsénico



Edición 2012

SERIE: TEMA DE SALUD AMBIENTAL N° 10

PROGRAMA NACIONAL DE MINIMIZACIÓN DE RIESGOS
POR EXPOSICIÓN A ARSÉNICO EN AGUA DE CONSUMO HUMANO

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS A TENER EN CUENTA PARA LA TOMA DE DECISIONES FRENTE A LA PROBLEMÁTICA DEL ARSÉNICO EN EL AGUA DE BEBIDA

*El agua es indispensable para la vida y el agua potable lo es para la salud de la población y
para mejorar la calidad de vida de sus habitantes*

Ricardo O. Benítez, Jorge A. Álvarez, Miguel O. Dahbar, Silvia I. Rivero y Ernesto de Titto

Programa Nacional de Minimización de Riesgos por Exposición
a Arsénico en Agua de Consumo – Res. Ministerial 253/01

Año 2012

Benítez, Ricardo

Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE) Módulo: Abatimiento de Arsénico / Ricardo Benítez; Miguel Dahbar; Silvia Rivero. - 1a ed. - Buenos Aires: Ministerio de Salud de la Nación, 2012. 36 p.; 20x15 cm. - (Temas de salud ambiental / Ernesto de Titto; 10)

ISBN 978-950-38-0131-4

1. Salud Ambiental. I. Dahbar, Miguel. II. Rivero, Silvia. III. Título.
CDD 614

Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE) Módulo: Abatimiento de Arsénico

Primera edición: 2.000 ejemplares

© Departamento de Salud Ambiental. Dirección Nacional de Determinantes de la Salud e Investigación.
Ministerio de Salud de la Nación, 2012

Ministerio de Salud de la Nación

Av. 9 de Julio 1925, Piso 12

CP C1073ABA – Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Teléfono: (011) 4379-9086 (directo) Conmutador: 4379-9000 Int. 4854 Fax: 4379-9133

www.msal.gov.ar

ISBN 978-950-38-0131-4

Fecha de publicación: julio de 2012

Libro de edición argentina

Queda hecho el depósito que establece la ley 11.723

No se permite la reproducción parcial o total, el almacenamiento, el alquiler, la transmisión o la transformación de este libro, en cualquier forma o por cualquier medio, sea electrónico o mecánico, mediante fotocopias, digitalización u otros métodos, sin el permiso previo y escrito del editor. Su infracción está penada por las leyes 11.723 y 25.446.

AUTORIDADES

PRESIDENTE DE LA NACIÓN

Dra. Cristina Fernández

MINISTRO DE SALUD

Dr. Juan Luis Manzur

SECRETARÍA DE DETERMINANTES DE LA SALUD Y RELACIONES SANITARIAS

Dr. Eduardo Mario Bustos Villar

SUBSECRETARÍA DE RELACIONES SANITARIAS E INVESTIGACIÓN

Dr. Jaime Lazovski

DIRECCIÓN NACIONAL DE DETERMINANTES DE LA SALUD E INVESTIGACIÓN

Dr. Ernesto de Titto

DEPARTAMENTO DE SALUD AMBIENTAL

Ing. Ricardo Benítez

PROGRAMA NACIONAL DE MINIMIZACION DE RIESGOS POR EXPOSICIÓN A ARSÉNICO EN AGUA DE CONSUMO HUMANO

Arq. Silvia Rivero

CONTENIDO

- 5 *PRÓLOGO*
- 6 *OBJETIVO DEL PRESENTE TRABAJO*
- 6 *INTRODUCCIÓN*
- 11 *ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS*
- 11 A. POBLACIÓN CONCENTRADA
- 11 a. 1. Provisión de agua desde fuentes aptas a través de acueductos
- 12 a. 2. Compensación de calidades mediante la captación de agua desde distintas profundidades
- 12 a.3. Remoción de arsénico en agua cruda
- 12 a.3.1. Coagulación, floculación, decantación y filtrado
- 16 a.3.2. Osmosis inversa
- 19 a.3.3. Intercambio iónico
- 20 a.3.4. Adsorción
- 20 a. 3.4.1. Medios especiales basados en alúmina activada
- 21 a. 3.4.2. Medios especiales basados en adsorbentes con hierro y otros óxidos
- 22 a.3.5. Hierro como agente reductor
- 22 a.3.6. Ablandamiento con cal
- 23 *TABLA COMPARATIVA DE LAS DISTINTAS TECNOLOGÍAS*
- 23 *DISPOSICIÓN Y TRATAMIENTO DE EFLUENTES GENERADOS*
- 25 B. POBLACIÓN DISPERSA
- 26 b.1. Construcción de aljibes
- 27 b.2. Evaporación
- 28 b.3. Precipitación por floculación y decantación
- 30 b.4. Método RAOS (remoción de arsénico por oxidación solar)
- 31 b.5. Remoción de arsénico en aguas de consumo domiciliario mediante la corrosión de un lecho fijo de hierro metálico
- 31 *FACTORES A TENER EN CUENTA EN LA SELECCIÓN DE UNA TECNOLOGÍA DE ABATIMIENTO DE AS*
- 33 *TECNOLOGÍAS APLICABLES PARA EL ABATIMIENTO DE ARSÉNICO SEGÚN CALIDAD DE LA FUENTE Y TAMAÑO DE LA POBLACIÓN.*
- 34 *BIBLIOGRAFÍA*

PRÓLOGO

La presencia natural de concentraciones elevadas de arsénico en las fuentes subterráneas de agua de nuestro país ha dado origen a una importante y profunda discusión acerca de los valores límites que deben exigirse en el agua de ingesta para que ésta no resulte perjudicial para la salud.

Las Guías para Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS) proponen valores que en la actualidad son referidos como provisorios, por lo que el máximo organismo internacional en el campo de la salud recomienda y promueve la realización de nuevos estudios para optimizarlos. En general, los valores son incorporados a las normativas nacionales de los países.

Cuanto más exigente sea el valor de la concentración admitida, y cuanto más elevada sea la concentración natural en las fuentes de agua, resultarán más dificultosos técnicamente y más onerosos, los tratamientos a que debe ser sometida el agua cruda, para generar -tanto en volumen como en calidad- un agua para uso y consumo humano sin riesgos (o con mínimos riesgos) para la salud de las personas.

Esto motivaba, hasta hace poco tiempo, que como primera solución para proveer de agua potable a una población, se pensara en la búsqueda de fuentes alternativas o lisa y llanamente en la construcción de acueductos que acercaran el agua desde grandes distancias (generalmente de fuentes superficiales), frente al alto costo que significaba la implementación de las tecnologías disponibles.

Este panorama ha llevado a que desde distintos sectores, tanto públicos como privados, se haya investigado y se continúe investigando a fin de encontrar tecnologías eficientes y de menores costos para lograr abatir el arsénico del agua.

La presente publicación del Ministerio de Salud de la Nación no pretende incluir la totalidad de los sistemas desarrollados, sino acercar a los interesados una serie de metodologías y técnicas disponibles, a fin de contribuir a la toma de decisiones respecto de cuál de ellas resulta más apropiada para cada caso particular.

Ing. Ricardo Benitez
Jefe Departamento de Salud Ambiental

OBJETIVO DEL PRESENTE TRABAJO

Brindar información a los distintos niveles de decisión, sobre algunas de las tecnologías disponibles en la actualidad para ser tenidas en cuenta al momento de seleccionar un sistema de tratamiento de agua para remoción de arsénico.

Para ello también deberán ser considerados otros factores que resultarán determinantes a la hora de tomar la decisión final, tales como costo del equipamiento, costos operativos y de mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de agua subterránea provocada por Arsénico (As) es un serio problema de salud pública de importancia a nivel mundial debido a su poder carcinógeno y neurotóxico.

El Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE), es una enfermedad producida por el consumo sistemático de agua (como bebida y en la preparación de alimentos) con concentraciones mayores de 0,01 ppm (partes por millón) de As en aguas de bebida. Se caracteriza por la presencia de lesiones en piel y alteraciones sistémicas cancerosas y no cancerosas.

El arsénico es un metaloide. Su fuente más importante y que permite su presencia en el agua subterránea es la erosión de minerales que lo contienen, especialmente los vidrios volcánicos. De hecho, frecuentemente se lo encuentra asociado a oro, cobre y plomo. Su distribución varía con la profundidad y en sentido horizontal.

El agua extraída de perforaciones en suelos con alta concentración de As no necesariamente contiene altas concentraciones del mismo. El contenido depende de la forma química del As presente en el suelo y la composición del agua en cuestión, en particular su alcalinidad y los contenidos en sales de Calcio y Magnesio. En general las aguas blandas (pobres en Calcio y Magnesio) y alcalinas (por su riqueza en bicarbonato de sodio) son las que poseen más As.

El mecanismo que controla la disolución del As es una combinación de factores de velocidad de flujo (hidráulicos) y reacciones físico-químicas con la superficie del mineral.

Distribución mundial de aguas con arsénico

A nivel mundial, millones de personas están en riesgo de padecer los efectos adversos de la exposición al As. La mayor parte de la exposición peligrosa proviene del agua de bebida extraída de pozos excavados en zonas con sedimentos ricos en As. No sólo el agua de bebida puede representar un riesgo, sino también la ingesta de As a través de alimentos, suelo e inhalación de aire contaminado sobre todo en zonas mineras. Preparar las comidas con aguas arsenicales aumenta el contenido de arsénico en un 10 a 30% para la mayoría de los alimentos, y en 200 a 250% para legumbres y granos, que absorben casi toda el agua de cocción. Además, la irrigación de cultivos con estas aguas puede aumentar sustancialmente el contenido de As en el arroz y otras verduras.

Se han detectado aguas ricas en As en Estados Unidos, Chile, México, Bolivia, Perú, Camboya, China, Vietnam, Bangladesh, Bengala, Tailandia, Nepal, y Ghana.

Áreas documentadas del mundo con problemas de arsénico en aguas por contaminación natural de acuíferos mayores y por problemas relacionados a la minería y fuentes geotermales.



Fuente: Smedley P. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. Applied Geochem 17 (2002)

Estado actual del HACRE en Argentina

En Argentina más de dos millones de personas están potencialmente expuestas a la ingestión de aguas con más de 0,01 ppm de As valor límite fijado por el Código Alimentario Argentino, en su última modificación del 7 de junio de 2007, en coincidencia con el nivel máximo aceptable recomendado por la OMS.

Las provincias en donde la población se ve afectada las de : Chaco, Córdoba, La Pampa, Salta, Santa Fe, Santiago del Estero, Tucumán, Jujuy, Catamarca, Mendoza, San Juan, Formosa, Río Negro, Chubut y Buenos Aires siendo algunos de los partidos más comprometidos los de: Gral. Villegas; Ameghino; Alem; Gral. Arenales; Rojas; Salto; Junín; Alberti; 9 de Julio; Suipacha; Navarro; Merce-

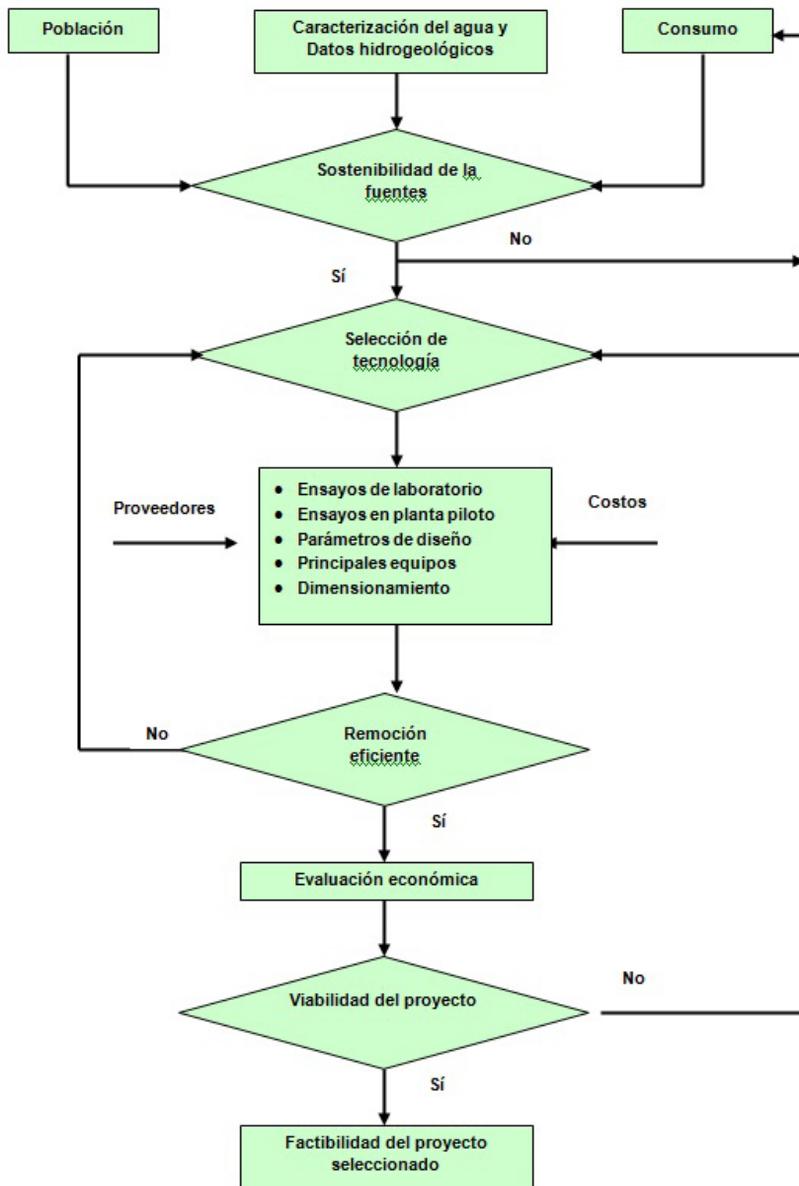
des; Bragado; San Vicente; Brandsen; Chascomús; Maipú; Tapalqué; Gral. Alvarado; Tres Arroyos; Daireaux; Gral. La Madrid; Rivadavia; Pellegrini; Alsina; Puan; Saavedra; Médanos; Patagones.

Mucho más limitado es en cambio nuestro conocimiento de la epidemiología del HACRE. Esto resulta de una combinación de factores entre los que no ocupa un lugar menor la falta de recolección organizada de la información y las limitaciones diagnósticas en las áreas rurales de nuestro país.

Árbol de decisión

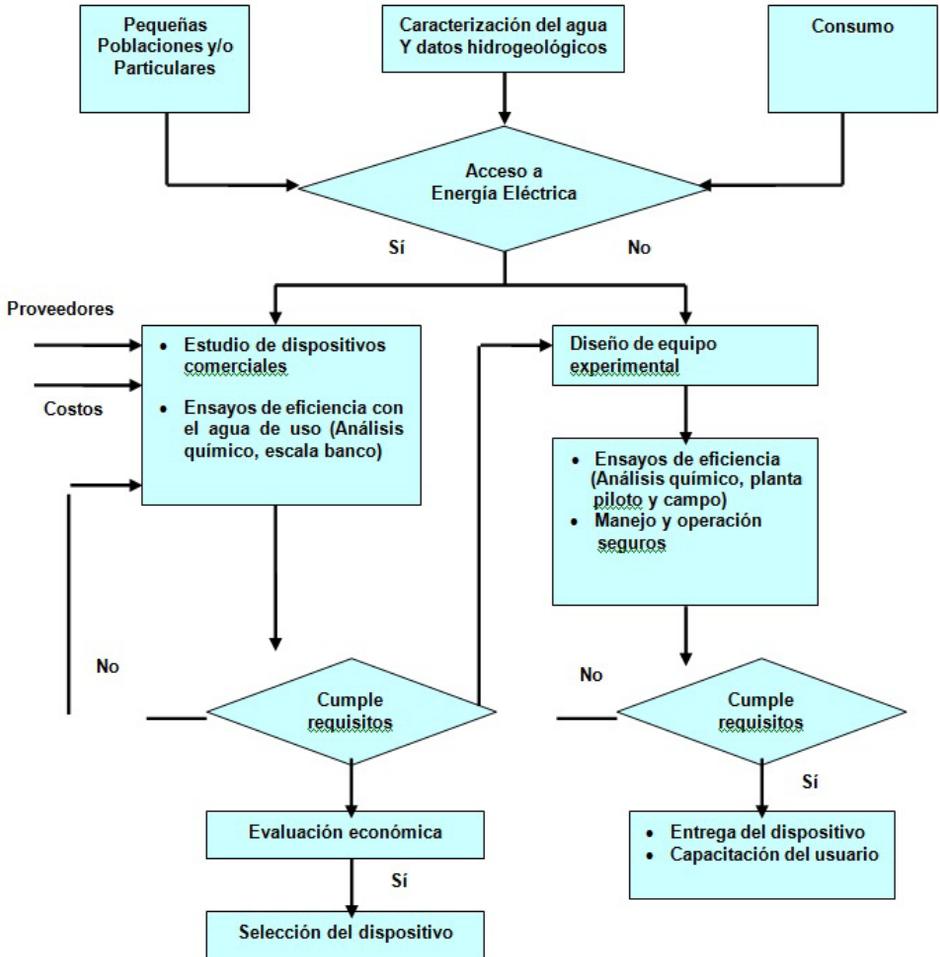
Antes de describir las distintas alternativas tecnológicas resulta conveniente plantear un diagrama de flujo general para la toma de decisiones con respecto al tamaño de la población a asistir, así como al tipo de abastecimiento, esto es si se trata de un servicio centralizado o un abasto de tipo individual.

DIAGRAMA DE FLUJO PARA DISTRIBUCIÓN POR RED



Adaptado de: Modelo de Intervención para el Abatimiento de Arsénico en Aguas de Consumo – Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) – Centro de Investigación y Desarrollo en Química – Mayo 2009.

DIAGRAMA DE FLUJO PARA PERFORACIONES PARTICULARES



Adaptado de: Modelo de Intervención para el Abatimiento de Arsénico en Aguas de Consumo – Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) – Centro de Investigación y Desarrollo en Química –Mayo 2009

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

Habida cuenta de que este riesgo es evitable, el presente documento sintetiza las opciones disponibles para mejorar la calidad del agua potable en las localidades afectadas y contribuir así a permitir una toma de decisión apropiada.

Teniendo en consideración el tipo de asentamiento de la población, ya se trate de Población Concentrada o Población Dispersa, algunas de las alternativas tecnológicas apropiadas son las siguientes:

A. POBLACIÓN CONCENTRADA

a. 1. Provisión de agua desde fuentes aptas a través de acueductos

Una de las soluciones al problema la constituye la ejecución de obras de infraestructura como acueductos o canales, para conducir agua cruda desde fuentes de provisión aptas, hasta las localidades que no cuenten con ellas.-

Al respecto cabe mencionar que Obras Sanitarias de la Nación, había desarrollado en la década de los 60 un estudio y proyecto, destinado a satisfacer las necesidades de provisión de agua cruda a la región conocida como Llanura Chaco Pampeana, es decir la mas afectada con As en agua, a través de los denominados “Grandes Acueductos”, los cuales alimentarían la mencionada zona con agua proveniente del río Paraná, obra de infraestructura que nunca fue llevada a cabo por el alto costo. Esta solución hace muchos años que se viene considerando en nuestro país, como por ejemplo en la provincias de La Pampa, con el acueducto a la localidad de Chacharamendi, o el que se esta construyendo en este momento desde el Río Colorado para suministrar agua a varias localidades. La provincia de Córdoba esta construyendo acueductos, llevando agua apta desde el Río Tercero para surtir a poblaciones ubicadas sobre la ruta N° 8, y también el acueducto San Francisco – La Francia.

En la provincia de Río Negro por ejemplo tenemos el Canal La Pomona - San Antonio.

En la provincia de Chaco, se han efectuado las siguientes obras: acueducto Resistencia a Campo del Cielo, otro desde Barranquera a Roque Sáenz Peña y Villa Angela, y el que une el Río Bermejo con la localidad de Gral. San Martín.

A la hora de proyectar este tipo de obras, es necesario la realización de un estudio hídrico a fin de evaluar el impacto resultante por ese trasvase de cuenca.

a.2. Compensación de calidades mediante la captación de agua desde distintas profundidades

Debido al comportamiento variable de la presencia de As en el agua subterránea, que depende de la profundidad, la época del año, la recarga del acuífero y de la explotación que se haga del mismo, en una misma zona se pueden encontrar pozos con tenores de As diferentes, cuya combinación permitiría, dentro de un esquema operativo, proveer de agua con tenores de As aceptable a ciertas poblaciones.-

Lo más usual en este caso es construir una batería de pozos, realizando captaciones de agua de distintas profundidades, todos ellos gobernados a distancia, bien en forma manual o a través de un control lógico programable, que en función del rendimiento estudiado, regula la explotación de cada uno de los pozos.-

Un sistema de estas características se emplea en la ciudad de Gral. Pico, Provincia de La Pampa, que cuenta con 48 pozos que trabajan en forma alternada para proveer de agua a una población aproximada de 50.000 habitantes.-

La viabilidad de esta alternativa requiere realizar los estudios hidrogeológicos necesarios a fin de poder arribar a soluciones satisfactorias.

a.3. Remoción de arsénico en agua cruda

Debido a que todos los tratamientos para remoción de As tienen un elevado costo de operación, solamente se trata el volumen de agua destinada a la ingesta y a la preparación de alimentos.

La cantidad de agua potable destinada a cada habitante, específicamente para ese uso, es de 20 litros por habitante / día (OMS).

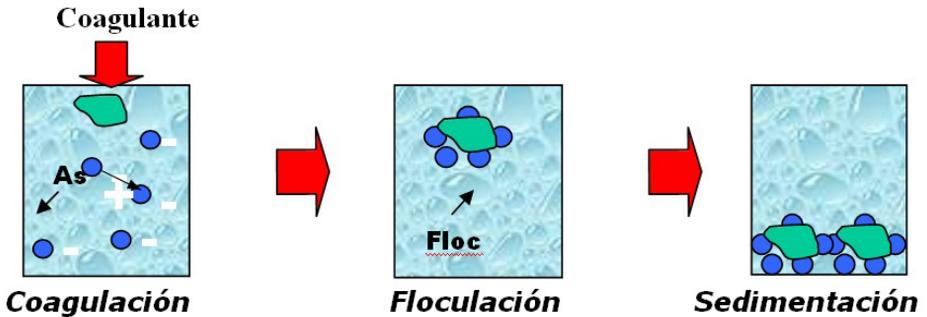
A continuación describiremos algunos de estos tratamientos en forma pormenorizada:

a.3.1 Coagulación, floculación, sedimentación y filtrado

El As contenido en aguas de consumo se presenta en formas iónicas electronegativas. Estas formas se adsorben a partículas insolubles de tamaño coloidal (arcillas activadas o naturales que se agregan al agua) formando una suspensión coloidal.

En una primera etapa del proceso, la que se conoce con el nombre de Coagulación, se efectúa el agregado de productos químicos, llamados *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 *Floculación*. 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 *Sedimentación*.



Los coagulantes más comunes son las sales metálicas. Entre ellas podemos mencionar:

- Sulfato de aluminio, hidróxido de aluminio o de cobre.
- Sales de hierro: cloruro férrico, sulfato férrico, hidróxido férrico.
- Cal o cal hidratada. Opera en un rango de pH mayor a 10,5 y en algunos casos requiere un tratamiento secundario para lograr una calidad de agua consistente. Este proceso se conoce como ablandamiento con cal y depende fuertemente del valor de pH

Los factores que afectan la eficiencia del proceso son:

- Tipo y dosis de coagulante.
- Tiempo de mezcla.
- pH (se reduce la eficiencia a valores muy bajos o muy altos).
- Estado de oxidación y concentración del arsénico y relación de concentración entre As(III) y As(V).
- Temperatura
- Presencia de otros solutos inorgánicos (tales como sulfatos, fosfatos, carbonatos y calcio).

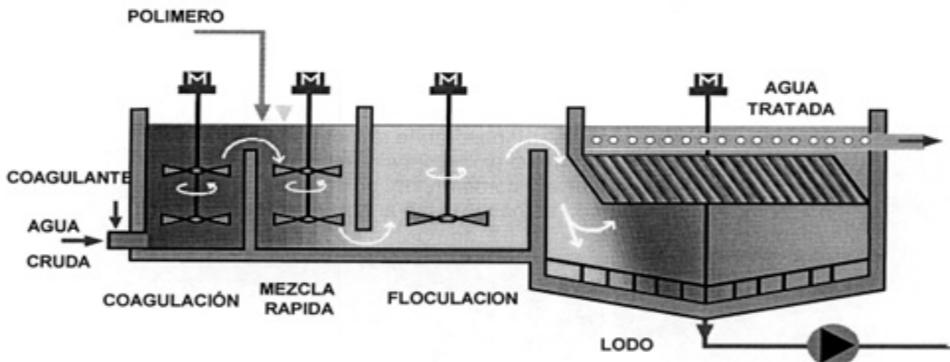


Figura 1. Esquema típico de Coagulación / Floculación / Sedimentación.

Los equipos (ver figura 1) involucrados son en general sistemas de dosificación con el correspondiente mecanismo de mezclado con el agua a tratar que puede ser o bien un mezclador estático, una cámara de coagulación seguida eventualmente por una de floculación rápida y/o lenta y una batea de sedimentación (con o sin placas paralelas). La dosificación puede automatizarse en función de variables tales como el caudal, pH, potencial de oxidación-reducción, etc.

Posteriormente, mediante la filtración se puede eliminar el As remanente, obteniéndose de esta forma agua apta para ser destinada a consumo humano.

La filtración convencional es la separación de partículas sólidas al atravesar un medio que retiene estas partículas. Este medio puede contener diversos materiales, siendo los más utilizados: arena, antracita, granate, carbón activado, telas filtrantes, etc.

La eficiencia de filtración dependerá de:

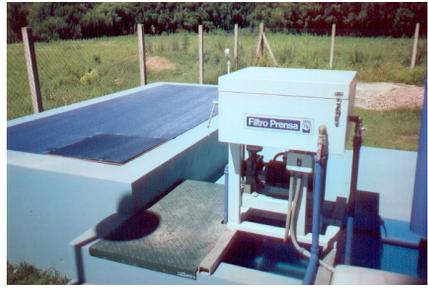
- Tipo de medio filtrante
- Tasa de filtración (caudal por unidad de superficie)
- Tiempo de contacto o volumen por unidad de caudal
- Sistema de contralavado (puede ser con agua solamente o con agua y aire)

Los filtros pueden operarse en forma manual o automatizada con contralavados programados en función del ensuciamiento o tiempo transcurrido. En lugar de una filtración posterior a la sedimentación, se puede mejorar la eficiencia de retención de sólidos con membranas de microfiltración.

El proceso se completa con los correspondientes tratamientos finales del agua (ajuste final de pH, desinfección, etc.) y de los barros generados.

Basándose en este tipo de tratamiento, y como resultado de investigaciones llevadas a cabo por el Centro de Ingeniería Sanitaria de la Universidad Nacional de Rosario, se diseñaron plantas estabilizadoras modulares compactas para el abatimiento de arsénico, utilizándose como coagulante Policloruro de Aluminio. A este sistema de abatimiento lo denominaron Proceso ArcIS-UNR.

Una planta de estas características opera en la localidad de López en la provincia de Santa Fe, para abastecer de agua potable a una población de 1200 habitantes. Esta planta produce 150 m³/día, bajando el contenido de As en el agua de 0.80 a 0.110 ppm a valores < 0.02 ppm.

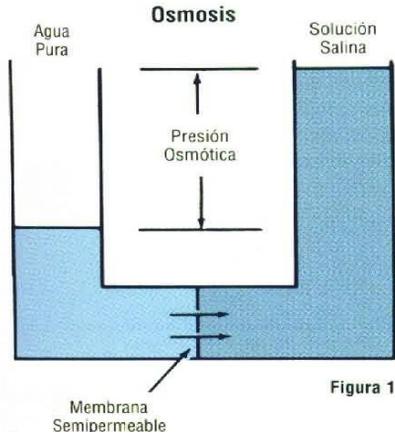


Otra planta de similares características opera en la localidad de Villa Cañas, también de la provincia de Santa Fe, que cuenta con 10.500 habitantes. Esta planta puede tratar 1200 m³/día, reduciendo valores de 0.130 a 0.170 ppm de As a valores <0.02 ppm.



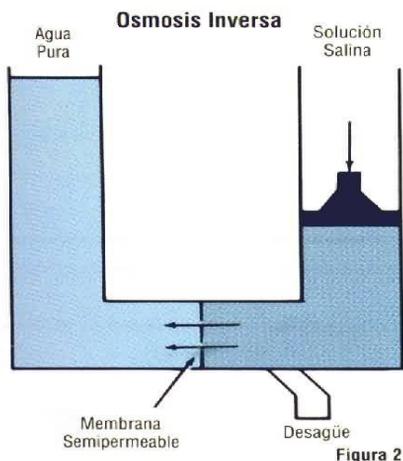
a.3.2 - Osmosis inversa

Se entiende por ósmosis, el pasaje del agua a través de una membrana semipermeable, de una solución menos concentrada hacia una más concentrada.



La diferencia de presión entre ambos lados de la membrana, se denomina Presión Osmótica (figura 1).

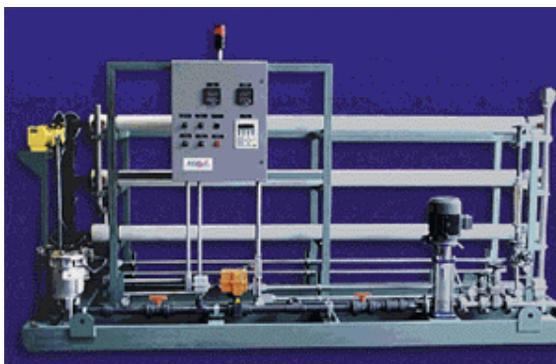
La ósmosis inversa se produce cuando se ejerce presión para invertir el flujo osmótico normal. Tal proceso constituye la base para tratar el agua cruda con alto tenor de arsénico. Así, aplicando presión el agua es forzada a pasar a través de la membrana semipermeable desde el lado más concentrado (agua cruda), hacia el lado menos concentrado (agua tratada), quedando retenidos en la membrana, por su tamaño, los iones del arsénico (figura 2).



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 (construidas de acetato de celulosa o poliamidas) y membranas de película delgada, de estos tubos, el agua tratada, aproximadamente un 50% de la que entra va un depósito para consumo y el resto que es el rechazo (concentrado), sale de la planta de tratamiento, a fin de ser eliminado de la forma más conveniente (figura 3).

La eficiencia en la remoción de As de los equipos de ósmosis inversa, puede llegar al 98%.

En el mercado existe disponible una gran variedad de equipos de ósmosis inversa que van desde equipos individuales, hasta aquellos para proveer de agua potable a localidades de hasta 300.000 habitantes, pasando por toda una gama intermedia.



El mayor inconveniente que presentan estos equipos, es el costo ocasionado por el consumo periódico de reactivos y la reposición de membranas al cabo de 3 ó 4 años de uso, vida útil que puede llegar a duplicarse.-

Los principales factores que intervienen en el funcionamiento de una planta de ósmosis inversa son:

a - Presión:

- Tiene relación directa con el volumen de agua tratada que se obtiene y el del agua de rechazo que se genera

b - Temperatura:

- Su incremento tiene efecto sobre el caudal y la calidad del agua tratada. A mayor temperatura, mayor contenido salino en el agua tratada.
- Por cada grado centígrado que disminuye la temperatura del agua a tratar se debe incrementar un 3% la presión a ejercer.

c - Calidad del agua cruda:

- Determina la presión osmótica, ya que la misma está relacionada con el tipo y concentración de

sales presentes.

- Para altas concentraciones de As, será necesario entonces aplicar una presión mayor.

d - Presencia de agentes oxidantes (cloro)

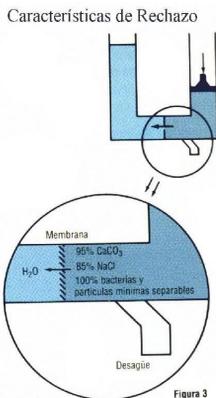
- La presencia de los mismos en el agua a tratar, deterioran irreversiblemente la vida útil de las membranas. En consecuencia es necesario su eliminación utilizando carbón activado o bisulfito de sodio antes de su ingreso al equipo de ósmosis inversa.

Aspectos a tener en cuenta para un uso eficiente de las membranas:

Aspecto	Membranas de poliamida	Membranas de acetato celulosa
Actividad biológica	Debe estar controlada durante la operación de manera que la cantidad y calidad del agua producto no sea afectada.	Idem
Cloro/Bromo	El contenido total en el agua a tratar debe ser < 0,1 ppm	El contenido en el agua a tratar debe ser < 1ppm
Químicos	El agua a tratar debe estar libre de oxidantes fuertes como por ejemplo: peróxido de hidrógeno (agua oxigenada), oxígeno o sulfato de sodio	Idem
pH	En operación continua debe ser > 2 y < 10 a 45 ° C	En operación continua debe ser >4 y < 7

A través del tratamiento por ósmosis inversa, se produce la retención de todas las sales presentes en el agua a tratar, por lo cual es recomendable que al agua obtenida luego del tratamiento se la mezcle con el agua no tratada a fin de lograr los valores aptos para un agua de consumo humano.

Disposición del agua de rechazo



La disposición de estos concentrados (rechazo) provenientes de las plantas de ósmosis inversa, ricos en iones arsenicales, requerirá un posterior tratamiento y disposición de los mismos; algo similar deberá ocurrir para otros tipos de procesos aplicables al abatimiento de As en aguas de bebidas.-

a.3.3- Intercambio iónico

El intercambio iónico es un proceso fisicoquímico de intercambio reversible de iones entre una fase líquida y una sólida, donde no hay 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.

Las resinas de intercambio iónico se basan en la utilización de una matriz polimérica de enlace cruzado. Los grupos funcionales cargados se adhieren a la matriz a través de enlaces covalentes que pueden clasificarse en: ácidos fuertes, ácidos débiles, bases fuertes y bases débiles.

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. Las resinas nitrato selectivas también remueven arsenitos.

Las tecnologías más modernas de intercambio iónico son las de lecho empacado con regeneración en contracorriente, que minimizan el exceso de regenerante y aumentan la eficiencia de cada regeneración. Los nuevos desarrollos tienden a buscar resinas cada vez más específicas pero se debe prestar mucha atención a las fugas que puedan ocurrir y la disposición del efluente de regeneración y de la resina.

En el diseño se debe considerar:

- pH
- Otras especies iónicas (sulfatos, cloruros, hierro, etc.)
- Capacidad de intercambio (gr As /lt de resina)
- Tipo, concentración y tipo de inyección de regenerante
- Cantidad de regenerante por ciclo
- Ensuciamiento de resinas por materia orgánica o particulada
- Posibilidad de reuso de regenerante

Un sistema de intercambio iónico involucra el siguiente equipamiento:

- Columna de intercambio (que contiene la resina y el correspondiente cuadro de válvulas de maniobras)
- Sistema de regeneración con soda cáustica (que debe ser calefaccionado en función de la temperatura de regeneración)

- Sistema de efluentes

Estos sistemas son generalmente automatizados mediante un Controlador Lógico Programable (PLC).



Según las especificaciones de los fabricantes de este tipo de equipos, no es conveniente su utilización cuando el agua cruda contiene, además de As otras sales disueltas, ya que se incrementa tres veces el costo de operación.

a.3.4. Adsorción

La adsorción 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.

El As puede ser adsorbido en la superficie de varios adsorbentes. Estos pueden ser:

a.3.4.1. Medios especiales basados en Alúmina activada

El agua a purificar se pasa a través de un reactor de lecho fijo cargado de una sustancia adsortiva, la alúmina activada, que es una mezcla de óxidos de aluminio cristalinos y amorfos de composición aproximada a Al_2O_3 .

Es altamente selectiva para remover As^{5+} y efectiva para tratar agua con alto contenido de sólidos disueltos. Pueden retener también: selenio, fluoruro, cloruro y sulfato. Se logra una óptima remoción a un valor de pH igual a 8.2.

La Alúmina activada puede ser regenerada típicamente con hidróxido de sodio, enjuagada y luego neutralizada típicamente con ácido sulfúrico. En ese caso debe considerarse el tratamiento del efluente.

Los factores que influyen en el diseño y eficacia de este sistema son:

- Otros iones que compiten en afinidad al medio (sulfatos, cloruros, fluoruros, sílice, hierro, etc.).
- Algunos aniones, que actúan en altas concentraciones como inhibidores.
- pH
- Tiempo de contacto de lecho (conocido como Empty Bed Contact Time o EBCT)
- Ensuciamiento del medio con particulado o materia orgánica
- Degradación de la capacidad del medio luego de las regeneraciones
- Estado de oxidación del arsénico.

La ventaja principal del uso de alúmina activada es que constituye un procedimiento relativamente bien conocido y está disponible comercialmente.

Los principales problemas para aplicación de esta técnica en pequeñas instalaciones son:

- La necesidad de reajustes del pH del agua cruda y tratada.
- La regeneración de la alúmina agotada con hidróxido de sodio (que produce lejías muy contaminantes que deben ser tratadas previa a su deposición).
- La necesidad de mano de obra especializada.

a.3.4.2. Medios especiales basados en adsorbentes con Hierro y otros óxidos (hierro modificado con sulfuro, hidróxido férrico granular, óxido férrico, óxido de titanio, etc.).

Se han desarrollado distintos medios con gran éxito en Estados Unidos y Europa. En general no son regenerables y se dispone el sólido agotado. En este grupo también se encuentran los filtros de arena verde (arena cubierta con óxido de hierro o de manganeso). En este caso en particular es necesaria la dosificación continua o intermitente de permanganato de potasio. Otros medios utilizan tierra diatomea con hidróxido férrico, el que también es regenerable.

En el diseño de los volúmenes de medio debe considerarse los siguientes factores:

- Capacidad del medio filtrante (mg As removido/ l de medio)
- Otros elementos adsorbidos por el medio (cromo, plomo, selenio, molibdeno, cobre, vanadio, cadmio, etc.)
- Influencia de la temperatura
- Aunque no tan fuertemente como en el proceso con alúmina activada debe tenerse en cuenta la presencia de otros compuestos (en particular hierro, nitratos, fosfatos, sulfatos y sílice), la cantidad total de sólidos disueltos y el pH. Los límites cambian de acuerdo al medio seleccionado.
- Toxicidad del medio para disposición final
- Requerimientos de pre-oxidación
- Tiempo de contacto de lecho (conocido como Empty Bed Contact Time o EBCT)
- Tasa de filtración

En función de estos parámetros se evalúa la vida útil del medio filtrante:

- Capacidad de adsorción (g As / g medio)
- Tasa de filtración
- Ensuciamiento del medio con particulado o materia orgánica
- Degradación de la capacidad del medio luego de las regeneraciones
- Estado de oxidación del arsénico.

a.3.5. Hierro como agente reductor

Otra propuesta se basa en que el hierro elemental en presencia de soluciones acuosas se puede oxidar aeróbica y anaeróbicamente, proporcionando los electrones necesarios para la reducción de otras especies químicas sensibles, tales como arsenatos, arsenitos y sulfatos.

Esta técnica propone la utilización de un lecho de limaduras de hierro para la inmovilización de las especies arsenicales inorgánicas como coprecipitados de hierro, precipitados mezclados y, en presencia de sulfatos, arsenopirita. El agua contaminada con As inorgánico, a la que se le agrega pequeñas concentraciones de sulfatos, si carecieran de ese ión, pasa a través de un lecho de arena con limaduras de hierro. Esto da lugar a la remoción de la mayor parte del As de la solución.

Una modificación a este procedimiento usa tres recipientes en serie: el primero tiene chips de hierro y arena gruesa, el segundo carbón vegetal y arena fina y el tercero es el colector para el agua filtrada.

Esta forma de eliminar el As es muy apropiada para pequeñas instalaciones, ya que es una tecnología muy simple de operar y que utiliza materiales de muy bajo costo.

a.3.6. Ablandamiento con cal

Método usado para remover la dureza del agua que consiste en adicionar cal (Ca(OH)_2) al agua. Este método es efectivo también para remover As^{+3} ó As^{+5} y su eficiencia es función del pH. Tiene un alto rendimiento para remover concentraciones de As de 0,050 ppm; sin embargo para reducir a 0,010 ppm se necesita de un tratamiento secundario. La remoción de As^{+5} es mayor al 90 % a un pH de 10.5 o más, siendo el pH óptimo de operación mayor que 10.5. Por debajo del rango del pH óptimo la remoción disminuye a menos del 20%.

En el sistema de ablandamiento con cal se produce una considerable cantidad de lodo.

TIPO TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Coagulación, Floculación, Sedimentación y Filtrado	<ul style="list-style-type: none"> • Hasta 90 % remoción As^5 • El Sulfato férrico mas eficiente que el de Al (necesita pre oxidación) • Ideal para aguas con alto contenido de Fe y Mg • Baja inversión de capital 	<ul style="list-style-type: none"> • Operación costosa y complicada • Requerimiento de operadores entrenados • Eficiencia depende del tipo y dosis de coagulante • Necesidad de disponer los efluentes sanitariamente • Limitada remoción de As^3
Osmosis Inversa	<ul style="list-style-type: none"> • Remoción > al 95 % • Efectivo para remoción otros compuestos y sólidos totales • Calidad consistente • Equipamiento compacto y automatizado 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja recuperación de agua • Descarga de concentrado de agua • Generalmente no remueve As^3 • Mayor inversión de capital • Cuidado en pre tratamiento
Intercambio iónico	<ul style="list-style-type: none"> • Remoción 95 % • No requiere ajuste pH • Optimo para aguas con alto contenido As y pH alto • Optimo para aguas con bajo nivel sulfatos y bicarbonatos • Bueno en la remoción de nitratos y cromatos 	<ul style="list-style-type: none"> • Sulfatos, solidos disueltos totales, selenio, fluoruros y nitratos compiten con el As y afectan la carrera • Sólidos suspendidos y precipitados de hierro tapan el medio • Efluentes altamente concentrados problemáticos • No remueven As^3 • Alto costo inversión y operación
Absorción con alúmina activada	<ul style="list-style-type: none"> • Alta remoción de As^5 aún con altos sólidos disueltos totales • Eficiencia del 95 % • Tecnología comercialmente disponible 	<ul style="list-style-type: none"> • Competencia con sulfatos y cloruros • Necesidad de ajustar pH • Problemas con la regeneración. 5 al 10 % de pérdida por carrera • Problemas en el manejo de químicos • Ensuciamiento con sólidos suspendidos • Necesidad de disponer los efluentes sanitariamente
Ablandamiento con cal	<ul style="list-style-type: none"> • Alta remoción de As^5 con pH > 10.5 • Producto químico fácilmente disponible 	<ul style="list-style-type: none"> • Método costoso y complicado • Necesidad de contar con operadores entrenados • Necesidad de ajustar continuamente el pH • Necesidad de disponer los efluentes sanitariamente

DISPOSICIÓN Y TRATAMIENTO DE EFLUENTES GENERADOS

Un factor muy importante a tener en cuenta a la hora de decidir respecto a que tecnología utilizar, es la disposición de los efluentes generados en el tratamiento.

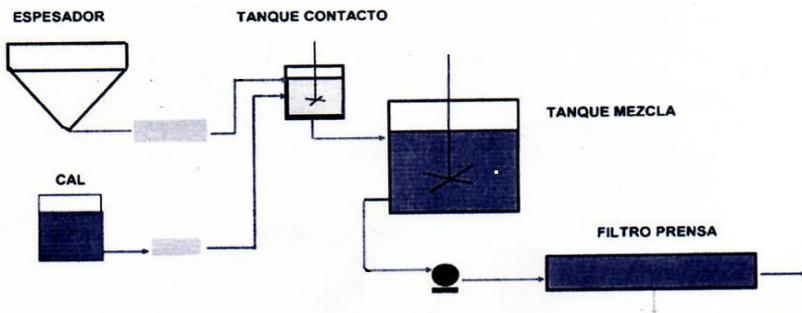
Se sintetizan brevemente y sólo con fines comparativos, los distintos métodos de tratamiento de efluentes generados y las distintas formas de disposición final. El objetivo buscado es lograr confinar los contaminantes removidos para disponerlos en la forma más segura posible, evitando el lixiviado del mismo.

Tratamiento de efluentes líquidos y barros

Los efluentes generados durante los procesos anteriormente descritos son tratados en:

- *Espesadores por gravedad*: Consisten en recipientes donde se incrementa el contenido de sólidos como primera etapa de concentración.
- *Deshidratadores mecánicos*: Entre ellos se pueden mencionar centrífugas, filtros prensa, filtros de banda y deshidratadores al vacío. Los filtros prensa son adecuados en grandes plantas para tratar barros de ablandamiento con cal y con sales de aluminio, con el agregado de productos químicos para floculación y/o ajuste de pH. Pueden llegar a lograr un rango del 40% al 70% de sólidos en ablandamiento y 35% en precipitación con sales de aluminio. En la Figura 5 se observa un esquema típico donde se combina espesamiento y deshidratación mecánica con agregado de productos químicos.
- *Lagunas de evaporación y lechos de secado*: Son las más utilizadas para las tecnologías de ósmosis inversa e intercambio iónico. Se buscan grandes superficies que favorezcan el proceso natural de evaporación. Se busca normalmente llegar a reducir de 1,25cm hasta 4 cm por año, hasta llegar a un valor de concentración que permita otro tipo de disposición. Es una buena solución para regiones con baja lluvia y humedad, alta temperatura y fuertes vientos.
- *Lagunas de almacenaje de barros*: Son la solución más común y en ellas se produce la decantación y/o evaporación del efluente.
- Los barros obtenidos de los procesos de coagulación / precipitación presentan un problema serio de disposición y son considerados residuos peligrosos.

Figura 5. Esquema típico de sistema de tratamiento de barros



Disposición de efluentes líquidos y barros

En este punto en particular deberán considerarse especialmente las regulaciones nacionales y locales vigentes sobre disposición de residuos y es recomendable tener en cuenta también las regulaciones internacionales

- *Descarga directa a curso de agua para dilución en el mismo:* Para ello deben tenerse en cuenta los límites permitidos de descarga en distintos tipos de curso.
- *Descarga indirecta:* A cloaca, teniendo en cuenta también los límites regulados para este tipo de descarga.
- *Relleno de barros deshidratados en tierra:* El barro deshidratado puede ser dispuesto en un relleno donde se lo reparte en la superficie del mismo. Esta solución depende de variables tales como tipo y permeabilidad de suelo, química del sólido a disponer, influencia en napas subterráneas y en el crecimiento o cultivo de especies en el terreno. Existen regulaciones sobre este tipo de opción.
- *Rellenos sanitarios:* Con esta solución también deben tenerse en cuenta los permisos necesarios, posibilidad de lixiviación y la disponibilidad de este tipo de rellenos.
- *Relleno sanitario para residuos peligrosos:* cuando el residuo es tóxico se debe recurrir a esta opción y debe contemplarse un correcto aislamiento del residuo. La Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA) cuenta con un procedimiento para identificar la toxicidad del lixiviado (TCLP). Deben considerarse además las leyes sobre Tratamiento, Transporte y Disposición de Residuos Peligrosos.
- *Reinyección en napa profunda:* Esta solución debe tener en cuenta las características geológicas, normativas vigentes y el costo de energía. Se debe, por otra parte, efectuar un estudio previo a fin de determinar la no alteración de la calidad de la napa.

B. PARA POBLACIÓN DISPERSA

Otra forma distinta de encarar el problema es cuando nos encontramos ante el caso de poblaciones rurales o dispersa, donde la cantidad de habitantes a proveer de agua potable es mucho menor y no se cuenta con los medios económicos o tecnológicos adecuados, como los vistos precedentemente, para dotarla de agua potable.

El poblador aislado por lo general se sirve de un abasto individual, que provee para su familia, del agua que necesita para la supervivencia de su grupo familiar.-

La fuente puede ser de distinto tipo, tal como acequias, agua de lluvia, pozos excavados, etc.

Frecuentemente el poblador aislado no posee otro medio de obtener agua de consumo que no sea de su pozo excavado.

Las soluciones a aportar son casi todas experimentales, que por laboriosas, no siempre son aceptadas por la población o son reticentes a ponerlas en práctica.

De las fuentes nombradas, la que más probablemente provea agua con alto contenido de As en disolución son los pozos que abastecen de agua subterránea, no así las acequias que conducen agua de origen superficial y menos aún el agua de lluvia.-

En estos casos la implementación de estas soluciones debería ir acompañada por una campaña de educación de la población, de forma tal que asuman que todo lo laborioso que puedan resultar las distintas acciones o procedimientos a llevar a cabo, son necesarias para evitar males posteriores muy serios, como ser el contraer cáncer.

En estos casos las respuestas tecnológicas que podrán emplearse son, las siguientes:

- b.1.- Construcción de aljibes
- b.2.- Evaporación
- b.3.- Precipitación por floculación y decantación
- b.4.- Método RAOS
- b.5.- Remoción de arsénico en aguas de consumo domiciliario mediante la corrosión de un lecho fijo de hierro.

A continuación describimos sucintamente estas alternativas:

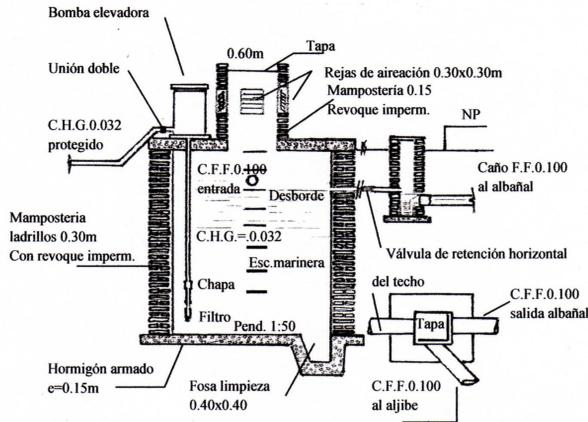
b.1. Construcción de aljibes

La recolección del agua de lluvia en aljibes, será posible en aquellas zonas en donde se registre un régimen de precipitaciones intenso.

Además los techos de las viviendas deberán estar ejecutados con chapas u otro material que permita, al producirse las precipitaciones, drenar las misma hacia el aljibe.

Los techos deben estar perfectamente limpios antes de enviar el agua a los aljibes, lo que se logra dejando escurrir las aguas fuera de ellos, cuando comienza a llover, a fin que se produzca un lavado natural de los mismos.

Figura 1-II Aljibe



Referencias:

C.H.G: caño de hierro galvanizado

C.F.F: caño de hierro fundido

Estos aljibes deberán contar con tapas para evitar el ingreso de suciedad y pájaros, y a su vez estar divididos, de forma tal de permitir su limpieza, aun con agua en su interior.

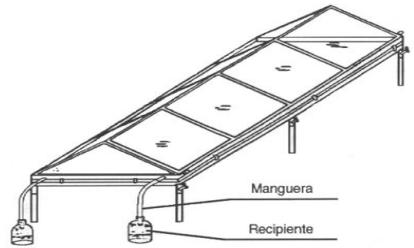
En caso de no disponerse de una superficie cubierta significativa, o cuando el régimen de precipitaciones anuales resulte exiguo, pueden llegar a construirse sobre el terreno, bateas adicionales impermeabilizadas para recolectar con ellas también el agua de lluvia y luego derivarla al aljibe.

Al agua así almacenada, previa a su ingesta o en la preparación de alimentos, deberá agregársele 2 gotas de lavandina por litro, dejándola reposar por 30 minutos, a fin de asegurar la calidad bacteriológica y su desinfección

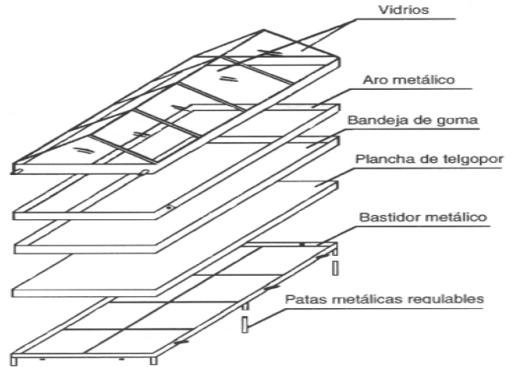
b.2. Evaporación

El INENCO (Instituto de Investigación en Energía No Convencional), de la provincia de Salta, ha desarrollado una propuesta para la obtención de agua destilada, libre de As que puede llegar a tener el agua cruda, a través de la instalación de Desalinizadores Solares.

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, (ver figura).



Estos equipos desalinizadores solares son 2 m de largo por 1 m de ancho, tienen rendimiento de 4 lt/m² día, con lo cual obtienen 8 l/día, lográndose cubrir sólo 40% de las necesidades diarias de una persona (para ingesta y preparación de alimentos).-



construcción

Este tipo de solución fue adoptada en las localidades de El Breal, El Quemado y El Anco en la zona de Santa Victoria Este en la Provincia de Salta, dado que las napas subterráneas están a profundidades superiores a los 200m.

Para el uso de estos equipos en cada región es necesario adaptar el sistema a las condiciones locales de clima e infraestructura.

Al agua tratada deberá efectuarse un análisis físico-químico para determinar el tenor de sales que contiene, a fin de evaluar la cantidad de agua cruda que se tendrá que adicionar, o bien la cantidad de sales que se le deberá agregar para convertirla en apta para consumo humano.-

b.3. - Precipitación por floculación y decantación

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS – OMS), ha desarrollado, un producto para abatimiento de As. en agua que se presenta en dos versiones ALUFLOC Y FERRIFLOC, según sea el componente activo sulfato de aluminio o cloruro férrico.-

Este producto fue empleado con resultados alentadores en aguas con contenido de As. en un rango que va de los 0,100 a 0,400 ppm, siendo más efectivo el ALUFLOC en aguas cuyos tenores se encontraban en la porción inferior del rango mencionado y el FERRIFLOC más adecuado para los valores superiores.

La composición del producto empleado consta de tres elementos a saber:

- 1 - Soporte: arcilla activada (tratada con $\text{SO}_4 \text{H}_2$)
- 2 - Oxidante: hipoclorito de calcio (polvo cristalino)
- 3 - Coagulante: Sulfato de aluminio o cloruro férrico

La arcilla activada provee al agua de partículas a las que se adhieren las formas iónicas del As, generando una suspensión coloidal. Estas micelas coloidales son desestabilizadas por la acción del coagulante presente (sulfato de aluminio o cloruro férrico) produciendo así un flóculo (floc) que precipitará arrastrando al As presente (ver punto a.3.1.).

El hipoclorito de calcio tiene por objetivo (como Oxidante) llevar al As a su mayor número de oxidación (valencia) produciendo al mismo tiempo una cantidad de cloro residual que permite asegurar la calidad bacteriológica y desinfección del agua tratada.

Procedimiento:

El agua a tratar se introduce en un recipiente de unos veinte litros, dotado de un eje vertical giratorio al que se han fijado paletas para producir agitación, así como tapa, canillas de limpieza y desagote.

Una vez llenado el recipiente de agua se agrega el contenido de un sobre del producto para abatimiento y se procede a una agitación enérgica por el término de un minuto para facilitar un íntimo mezclado entre el producto y el agua a tratada; seguidamente se continuará con una agitación suave que permitirá la formación, y el acondicionamiento de los flóculos (flocs) formados.

Por último se dejará decantar por un mínimo de media hora, aunque en general se suele dejar toda una noche para favorecer la decantación de los flocs, durante este lapso de tiempo. Al día siguiente el líquido sobrenadante, puede ser consumido, desechándose el precipitado. El agua tratada debe ser destinada sólo a ingesta.



Esta operatoria se basa fundamentalmente similar al ya indicado en el apartado a.3.1.

Los barros precipitados deberán ser colectados y dispuestos sanitariamente.

Este procedimiento fue llevado a cabo como programa piloto en determinadas zonas del Chaco salteño (Tolloche) con resultados alentadores entre los años 1995 a 1998. Su aplicación tuvo lugar en casas de familias y también incluyó una escuela rural.-

En esa oportunidad se efectuaron ensayos previos en laboratorio con aguas con tenores de As. del orden de los 0,300 ppm, obteniéndose rendimientos de hasta el 97%. En la experiencia de campo, se lograron rendimientos del orden del 70% , bajando los tenores de As. a niveles aceptables.

b.4. - Método RAOS

La premisa de esta tecnología es que sea una acción totalmente casera y con materiales que se encuentren disponibles en el ambiente doméstico.-

La Comisión Nacional de Energía Atómica de nuestro país, esta desarrollando conjuntamente con Brasil, Chile, México y Trinidad y Tobago, dentro del Proyecto OEA/AE 141/2001, el método que se denomina Remoción de Arsénico por Oxidación Solar (RAOS), creado por científicos suizos, para combatir la intoxicación por As en Bangladesh.

La versión adaptada a la realidad local, consiste en almacenar el agua para beber en botellas de plástico, luego adicionarle hierro por medio de trozos de alambre de fardo y unas gotas de jugo de limón y dejarla expuesta al sol por seis horas. De esta forma, el hierro y el citrato sufren una oxidación. Por lo mismo, el hierro precipita al fondo de las botellas y arrastra consigo al As.. Después de reposar toda una noche, se debe filtrar el agua con un paño limpio .



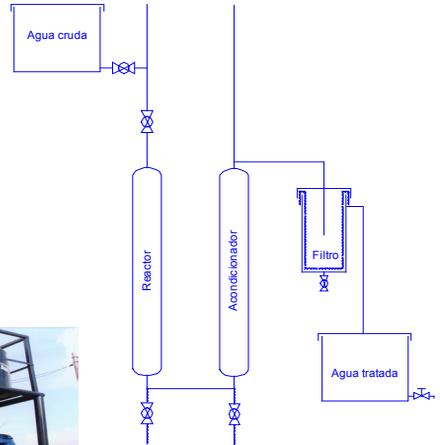
En pruebas de laboratorio se ha conseguido que el método RAOS remueva el arsénico en un 99,82 %, dejando al agua tratada transparente y con buen sabor.

b.5.- Remoción de arsénico en aguas de consumo domiciliario mediante la corrosión de un lecho fijo de hierro metálico

El procedimiento es una tecnología original de abatimiento de arsénico por corrosión de un lecho fijo de hierro metálico.

Básicamente consiste en:

- clarar el agua cruda;
- pasar el agua a través de un lecho de hierro metálico;
- acondicionar el flóculo formado en la etapa anterior;
- filtrar el agua.



El procedimiento ha tenido un profundo desarrollo teórico (desde el punto de vista termodinámico y cinético). Completadas las etapas de desarrollo y a efectos de validar la tecnología se realizaron experiencias en campo con prototipos a escalas diferentes (equipos familiares y para escuelas).

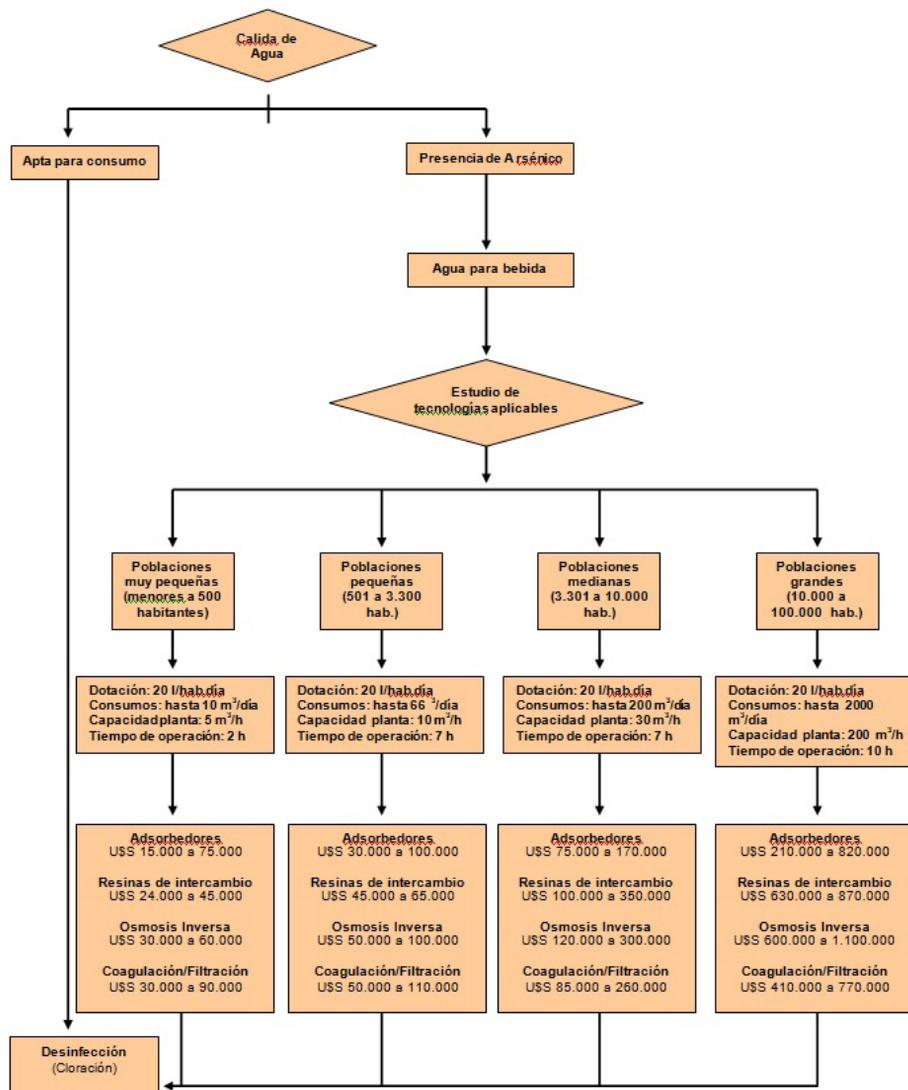
FACTORES A TENER EN CUENTA EN LA SELECCIÓN DE UNA TECNOLOGÍA DE ABATIMIENTO DE ARSÉNICO.

TECNICOS	CALIDAD DEL AGUA CRUDA Y DEL AGUA TRATADA	Es necesario contar con una caracterización completa del agua cruda, incluyendo todos los elementos que puedan afectar la eficiencia de la tecnología a adoptar. No bastan los análisis habituales de potabilidad del agua, sino conocer también, por ejemplo: contenido de sílice, alcalinidad, hierro, etc.,
	CAUDAL DE DISEÑO	Se necesita conocer: caudal horario, diario y pico. Se debe evaluar la posibilidad de mezclar agua cruda con agua tratada a fin de disminuir la inversión de capital.
	FACTIBILIDAD DE UTILIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA	Algunas tecnologías no son aplicables en determinados casos al agua cruda, debido a su calidad. Por ejemplo, debido a la presencia de iones que inhiben la acción del elemento que adsorbe al As. La tecnología a adoptar debe asegurar una confiabilidad permanente, en cuanto a la calidad del agua tratada. También debe evaluarse la posibilidad de combinación de distintas tecnologías.

TECNICOS	TIPO DE ENERGIA DISPONIBLE	Se deberá conocer el tipo de energía disponible y su disponibilidad.
AMBIENTALES	GENERACIÓN Y DISPOSICIÓN DE EFLUENTES	Se deben considerar los costos de tratamiento de todos los efluentes líquidos, y sólidos (barros), como así también los costos de adecuación, transporte y disposición final
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	Es necesaria su realización antes de implementar la tecnología seleccionada, a fin de determinar la no contaminación del medio.
	SELECCIÓN DE PRODUCTOS QUIMICOS	Se deberán evaluar las características de cada producto químico a utilizar y los riesgos de transporte y manipuleo, para minimizar la probabilidad de accidentes en planta o en los domicilios.
ECONOMICOS	INVERSIÓN DE CAPITAL	Se deberá considerar el costo del equipamiento, obras civiles, terreno, montajes, mantenimiento, etc.
	COSTOS DE LOS PRODUCTOS QUIMICOS	Se deberá evaluar tanto el costo como la seguridad y continuidad de su abastecimiento.
	COSTOS DE LOS PRODUCTOS QUIMICOS	Deberá considerarse el consumo de energía en todas las etapas del tratamiento Ej: bombeo de pozo, entrada a tratamiento, bombeo a alta presión en ósmosis inversa, etc.
	REEMPLAZO DE ELEMENTOS CONSUMIBLES	Deberá considerarse el costo de membranas (en ósmosis inversa), resinas de intercambio iónico y otros elementos consumibles. Asimismo deberá evaluarse la durabilidad de los elementos principales componentes de las plantas.
	OPERACIONES DE LAVADO	Se considerará el costo de los insumos químicos y mano de obra necesarios para ejecutar las operaciones de lavado de membranas de ósmosis, resinas de intercambio, filtros, etc.
	TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE EFLUENTES	Se debe considerar el costo de los productos químicos necesarios para el tratamiento, transporte y el costo de la disposición final de los efluentes generados.

Como complemento del cuadro antes señalado, se presentan a continuación el siguientes diagrama de flujo para distintas situaciones que se presentan en el abatimiento del arsénico.

TECNOLOGÍAS APLICABLES PARA EL ABATIMIENTO DE ARSENICO SEGÚN CALIDAD DE LA FUENTE Y TAMAÑO DE LA POBLACION



BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez Jorge, Castro de Esparza María Luisa, Liberal Viviana, Rivero Silvia. Experiencia Piloto con Participación de la Comunidad en la Minimización de Riesgos por Exposición a Arsénico en Agua de Consumo. Ministerio de Salud de la Nación.
- Cáceres Roberto. Abatimiento de arsénico por corrosión de un lecho fijo de Fe. Metálico. Instituto de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan. 2007.
- Cornejo L., Mansilla H. D., Arenas M. J., Flores M., Flores V., Figueroa L., Yáñez J. (2004). Remoción de arsénico en aguas del Río Camarones, Arica, Chile, utilizando la tecnología RAOS modificada. En: Litter M. I., Jiménez - González A. (eds.). Avances en tecnologías económicas solares para desinfección, descontaminación y remoción de arsénico en aguas de comunidades rurales de América Latina (métodos FH y RAOS) - Proyecto OEA AE 141. CNEA, La Plata, pp. 43-56. <http://www.cnea.gov.ar/xxi/ambiental/agua-pura/LibroBN.Pdf> [Consulta: 20/06/2005].
- De Titto Ernesto. Agua, Salud y Desarrollo (Documento interno). Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación. 2005.
- Domingo Esteban. Tecnologías de abatimiento (Documento interno). Departamento de Salud Ambiental, Dirección de Promoción y Protección de la Salud, Ministerio de Salud de la Nación.
- Epidemiología del hidroarsenicismo crónico regional endémico en la República Argentina. Estudio colaborativo multicéntrico. Becas Carrillo – Oñativia 2005. CONAPRIS - Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación.
- Ingallinella Ana María. Tecnologías para remoción de arsénico. Centro de Ingeniería Sanitaria (CIS) – Universidad Nacional de Rosario.
- Khan A. H., Rasul S. B., Muir A. K. M., Habibuddowla M., Alauddin M., Newaz S. S., Hussam A. Appraisail of a simple arsenic removal method fo groundwater of Bangladesh. Journal of Environmental Science and Health Part A: Toxic/Hazardous Substances 6 <environmental Engineering [J. Environ. Sci. Health, Pt, A: toxic/Hazard. Subst. Environ. Eng.] A35:1021-1041, 2000.
- Lackovic J., Nikolaidis N., Dobbs G. Inorganic arsenic removal by zero-valent irom. Environ Engineering Sci 17:29-39, 2000.
- Litter M. I., Mansilla H. (editores). Remoción de arsénico asistida por luz solar en comunidades rurales de América Latina (Método RAOS). Proyecto OEA/AE 141/2001. Comisión Nacional de Energía Atómica. Digital Grafic, La Plata, 2003.
- Litter M. I., Sancha A. M., Ingallinella A. M. (Editoras). Iberoarsen - Tecnologías económicas para el abatimiento de arsénico en aguas. 2010.
- Modelo de intervención para el abatimiento de arsénico en aguas de consumo. Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) – Centro de Investigación y Desarrollo en Química. Mayo de 2009.
- Resolución 153/01. Apruébase la creación del Programa de Minimización de Riesgos por Exposición a Arsénico en Aguas de Consumo. Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación. 2001.

SERIE TEMAS DE SALUD AMBIENTAL

El universo de factores ambientales con impacto en la salud humana es tan diverso como las presiones que las propias personas hacemos sobre el ambiente por el crecimiento de la población y de sus necesidades básicas, los cambios en la distribución y el empleo de los recursos y en los patrones de consumo, el progreso tecnológico y las diversas modalidades del desarrollo económico. A la par sabemos que la falta de atención a las condiciones ambientales afecta a toda la población; la OMS ha estimado que la mala calidad del ambiente es directamente responsable de alrededor del 25% de todas las enfermedades evitables del mundo actual. En ese escenario, la Salud Ambiental es una disciplina relativamente nueva en el campo de las Ciencias de la Salud. En su definición juega un rol determinante su naturaleza transversal a otros campos mucho más estructurados y consolidados.

Títulos de la Serie: Temas de Salud Ambiental

Nº 1: Directorio de Información Toxicológica. Edición 2011.

Nº 2: Guía de Centros Antiponzoñosos de la República Argentina. Edición 2011.

Nº 3: Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE). Módulo de capacitación para atención primaria.

Nº 4: Guía de Prevención, Diagnóstico, Tratamiento y Vigilancia Epidemiológica del Envenenamiento por Escorpiones.

Nº 5: Cianobacterias como Determinantes Ambientales de la Salud.

Nº 6: Guía de Prevención, Diagnóstico, Tratamiento y Vigilancia Epidemiológica de las Intoxicaciones por Monóxido de Carbono.

Nº 7: Guía de Uso Responsable de Agroquímicos.

Nº 08: Guía de Prevención, Diagnóstico, Tratamiento y Vigilancia Epidemiológica de los Envenenamientos por Arañas.

Nº 09: Guía de Prevención, Diagnóstico, Tratamiento y Vigilancia Epidemiológica del Botulismo del Lactante.

Nº 10: Glosario Temático de la Salud del Trabajador en el Mercosur.

Nº 11: Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE). Módulo: Abatimiento de Arsénico.