



Instituto
Nacional
de Tecnología
Industrial

INTI
50
ANIVERSARIO

Propuesta de Modelo de Intervención para la Remediación de Arsénico en Aguas de Consumo



Versión: Borrador

Diciembre 2008

INTI/CID
4593
Y

ÍNDICE

ÍNDICE		1
MODELO DE INTERVENCIÓN	Resumen Ejecutivo	2-4
INTRODUCCIÓN		5-13
MODELO DE INTERVENCIÓN	Para Poblaciones con Sistema de Distribución por Red. Planta de Tratamiento para abatimiento de arsénico	14-23
POBLACIONES SIN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN POR RED	Generalidades	24-26
MODELO DE INTERVENCIÓN	Para Poblaciones sin Sistema de Distribución por Red. Dispositivos domiciliarios o para poblaciones pequeñas, aptos para el abatimiento de arsénico	27-35
BIBLIOGRAFÍA		36-38

MODELO DE INTERVENCIÓN

Objetivo

Proponer un modelo de intervención que podrá utilizar INTI para resolver el problema de contaminación de aguas de consumo por la presencia de arsénico. Este modelo deberá adaptarse a los diferentes contextos de las poblaciones en riesgo.

RESUMEN EJECUTIVO

Remover el arsénico de las aguas subterráneas que se emplean para bebida, de modo que cumplan con la nueva regulación del Código Alimentario Argentino, es un gran desafío para los sistemas de tratamiento de agua, debido a las implicancias toxicológicas, económicas, de infraestructura y de provisión del recurso que puede ser escaso en muchas regiones del país.

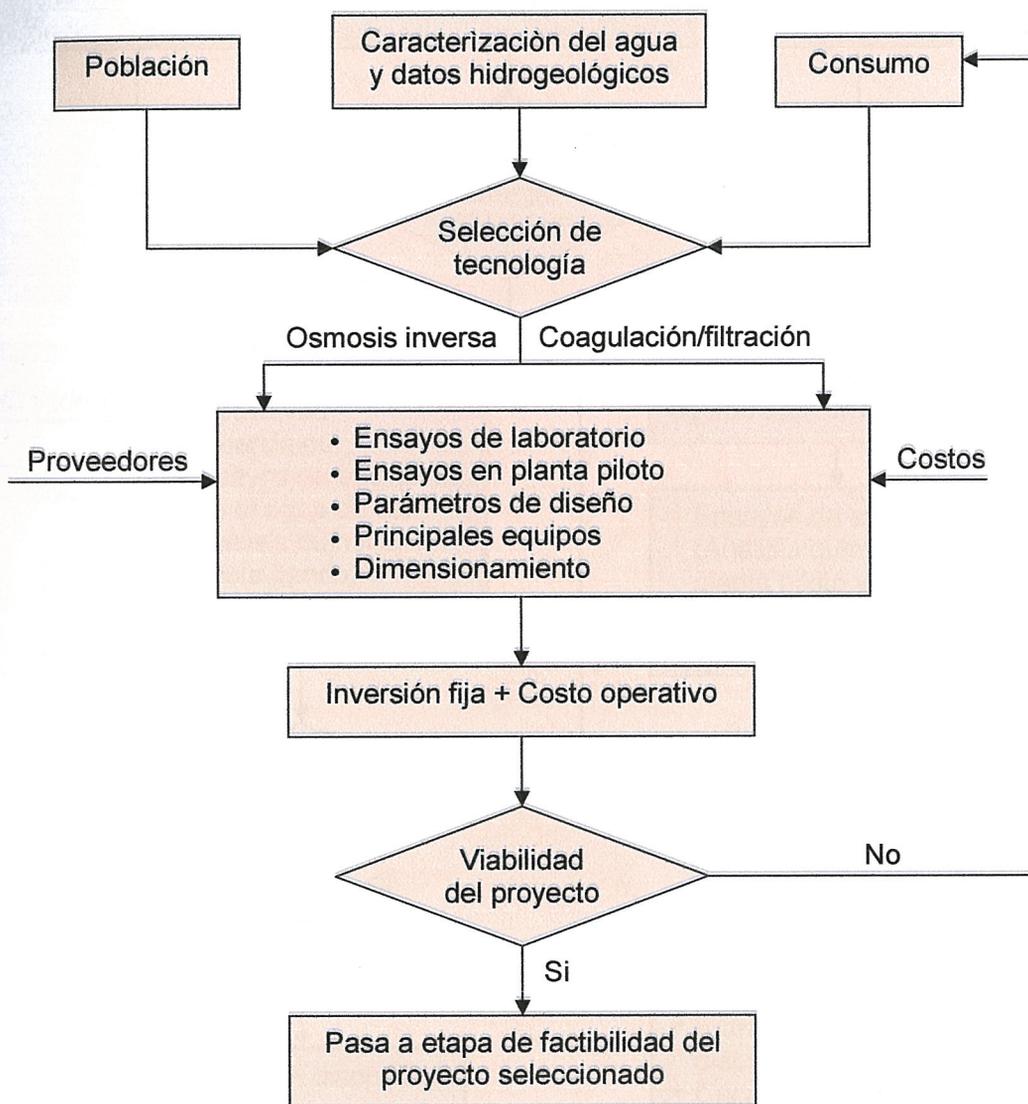
Se desarrolla un modelo de intervención que contempla diferentes situaciones, a saber:

- ❖ Fuentes de agua contaminadas con arsénico que son usadas para el aprovisionamiento de poblaciones a través de redes de distribución.
- ❖ Poblaciones que se abastecen con pozos particulares, esto es, el agua no es provista a través de un sistema público de distribución. Este puede ser el caso de poblaciones ubicadas en la periferia de zonas urbanas donde no ha llegado el tendido de la red, poblaciones aisladas, poblaciones rurales, etc. Dentro de este grupo diferenciaremos en :
 - Poblaciones con suministro de electricidad.
 - Poblaciones que carecen de suministro eléctrico.

El modelo incluye:

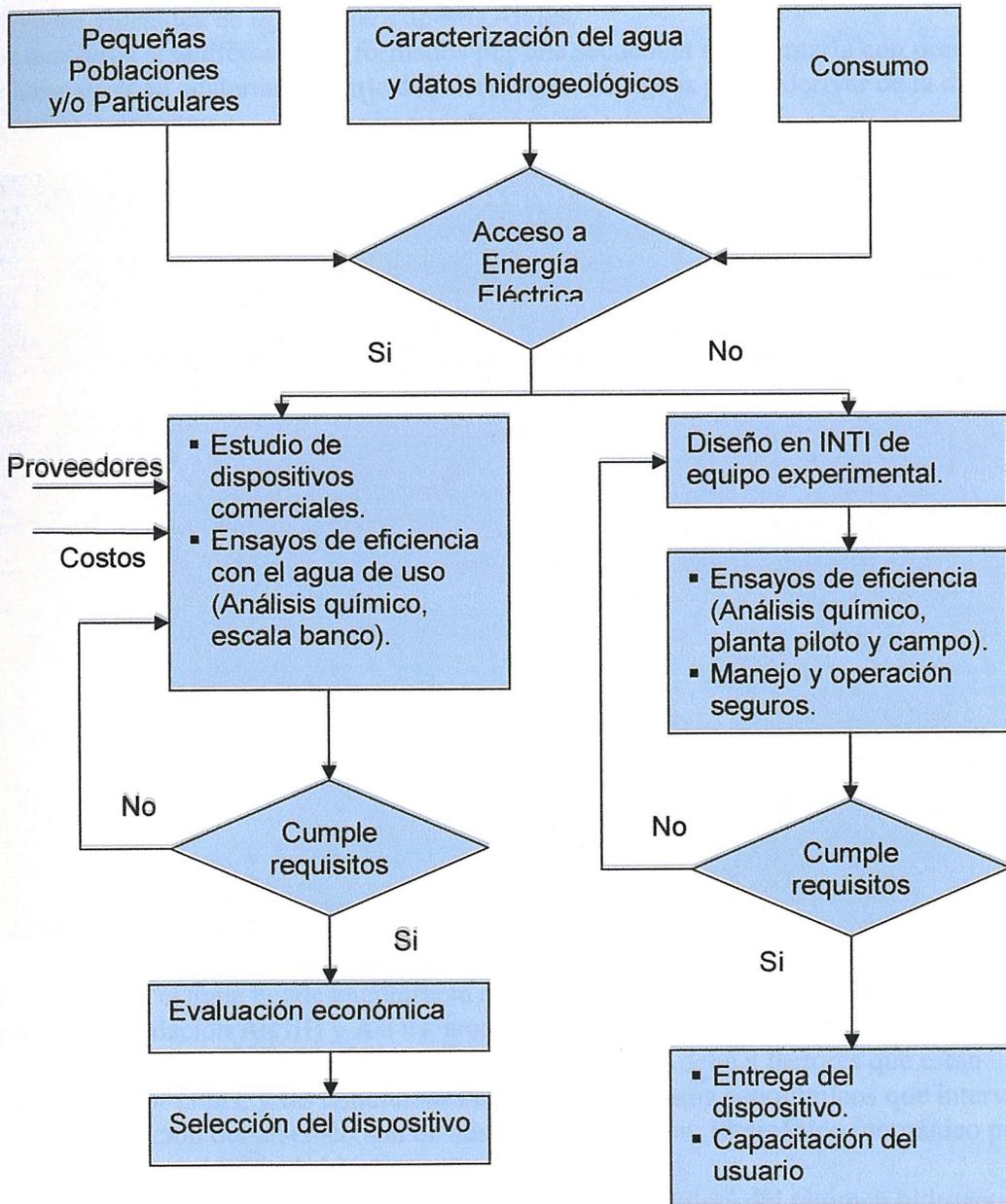
- Propuesta para ser presentada a Municipios, Provincias, Localidades, Grupos Poblacionales, ONGs, etc. que disponen o quieren implementar un servicio de distribución por red, sobre las diferentes alternativas posibles de plantas de abatimiento de arsénico adecuadas a la problemática de la región.

Diagrama de flujo de la propuesta para distribución por red



- Propuesta para ser presentada a Grupos Poblacionales, Pobladores, ONGs, etc. que no tienen distribución por red, sobre las diferentes alternativas de dispositivos de uso domiciliario, ya sean los que se están comercializando o aquellos que puedan desarrollarse en INTI, adecuados a la problemática de la región.

Diagrama de flujo de la propuesta para perforaciones particulares



INTRODUCCIÓN

La situación en Argentina

La región afectada es una de las más extensas del mundo y comprende parte de las provincias de Córdoba, La Pampa, Santiago del Estero, San Luis, Santa Fe, Buenos Aires, Chaco, Formosa, Salta, Jujuy, Tucumán, La Rioja, San Juan y Mendoza.

El origen de la contaminación natural con arsénico en las aguas subterráneas se debe a la actividad volcánica de la cordillera de Los Andes.

Los acuíferos arseníferos están formados por una secuencia sedimentaria con predominio de loess de edad cuaternaria. Parte del arsénico en las aguas puede derivar de la disolución de vidrio volcánico.

Origen del As en Argentina



La presencia de elevados niveles de As en agua subterránea, tiene su origen en la actividad volcánica en la Cordillera de Los Andes, que tuvo como consecuencia la aparición de terrenos arseníferos.



A. Pérez Carrera

El arsénico en el agua puede encontrarse en la forma química de oxoanión en sus dos estados de oxidación As(III) y As(V) , arsenito y arseniato respectivamente.

La movilidad del arsénico entre el sedimento y el agua se debe a factores que están controlados por el pH, y las condiciones redox. Los procesos geoquímicos que intervienen en la movilización del arsénico son de adsorción-desorción. El arsénico inorgánico puede ser adsorbido por óxidos de hierro, manganeso y aluminio.

El aumento de la concentración de arsénico en agua dependerá del régimen hidrogeológico y paleohidrogeológico del acuífero. Es decir, que el problema tiene una dimensión

temporal. Un factor crítico es el tiempo de residencia del agua en el acuífero. Una consecuencia de esto, es que en acuíferos profundos y antiguos la concentración de arsénico es baja.

El aumento en el caudal de agua extraído, (es decir una mayor explotación), de un pozo realizado en un acuífero arsenífero, producirá en el tiempo agua con mayor contenido de arsénico. Por este motivo, suelen realizarse nuevas perforaciones, en aquellas zonas afectadas por la presencia de arsénico. Pero estas son soluciones de corto o mediano plazo, ya que el acuífero es el mismo, y por lo tanto a largo plazo puede incrementarse la concentración de arsénico en toda la zona abastecida por él.

En cada una de las provincias afectadas, pueden encontrarse diferentes situaciones poblacionales. Hay localidades que tienen provisión de agua a través de una red de distribución, pero si estas no cuentan con una planta de remoción de arsénico, el agua distribuida probablemente contenga niveles de arsénico superiores a $10\mu\text{g/L}$. También existen poblaciones aisladas o rurales en las cuales el abastecimiento de agua se hace con pozos particulares cuya agua contiene arsénico, algunas de estas poblaciones no cuentan con energía eléctrica. En este último caso el modelo de intervención propuesto debe contemplar también esa situación, que limita las posibilidades de remoción del arsénico.

HACRE

•Valores guía de la OMS (1995) y del Código Alimentario Argentino (2007):

0,01 mg/L

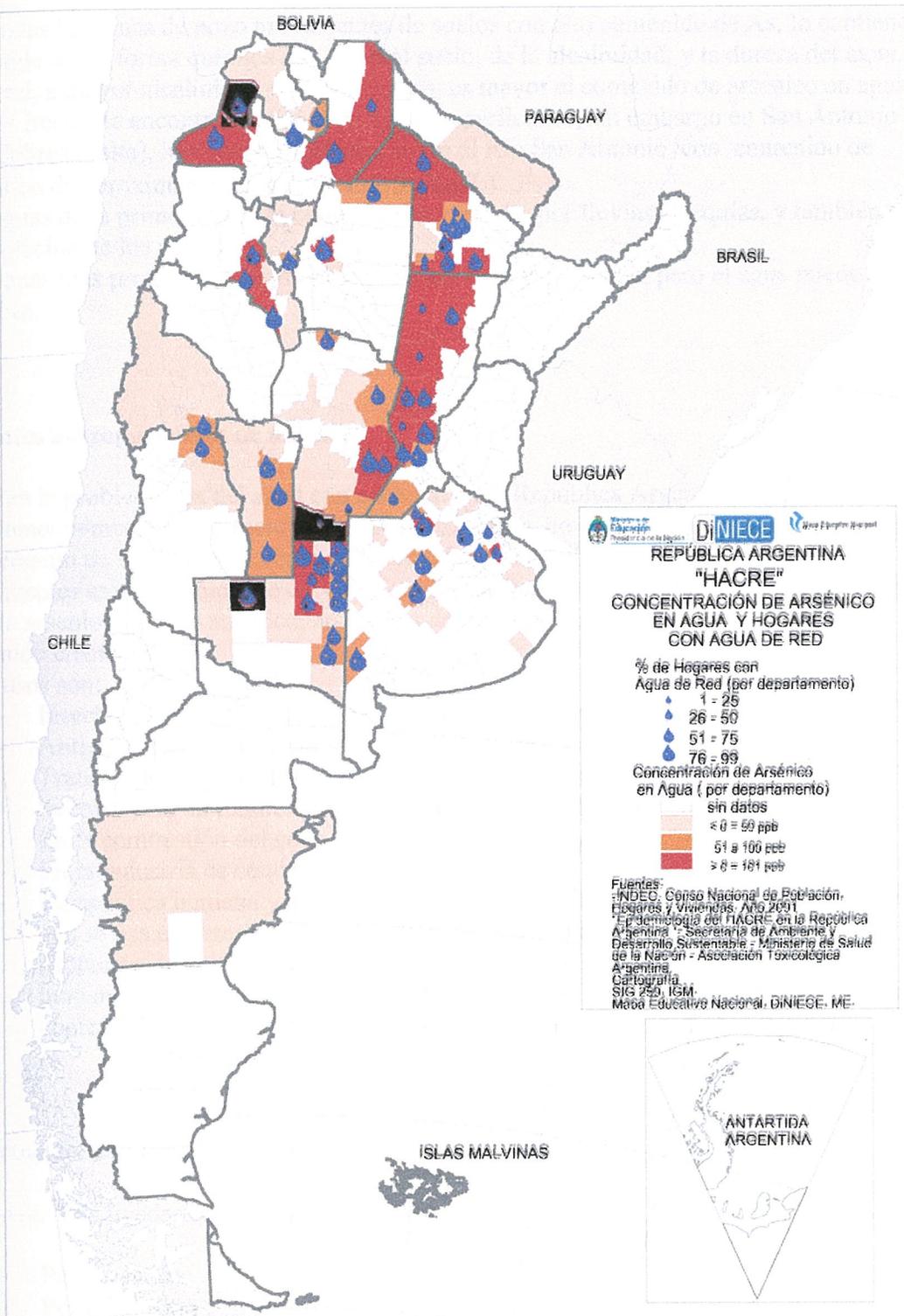
•Valores máximos tolerados por Argentina,

•Código Alimentario (1994 hasta 2007):

0,05 mg/L

•Valores hallados en La Francia, Pcia. de Córdoba:

de 2 a 12 mg/L



No todas las aguas de pozo provenientes de suelos con alto contenido de As, lo contienen, depende de: la forma química del As en el suelo, de la alcalinidad, y la dureza del agua. En general, a mayor alcalinidad y menor dureza, es mayor el contenido de arsénico en agua. No es frecuente encontrar arsénico en aguas superficiales, sin embargo en San Antonio de los Cobres (Salta), hay ríos de deshielo, como el Río San Antonio, con contenido de arsénico de aproximadamente 1 mg/L (1000µg/L).

En aguas de la primera napa el contenido es variable, por lluvias y sequías, y también por la explotación de los pozos.

En napas más profundas el contenido suele ser bajo y constante, pero el agua puede ser salobre.

Fuentes antropogénicas de arsénico

Si bien la problemática del agua con arsénico en la República Argentina, se debe fundamentalmente a la presencia natural del arsénico, no es conveniente ignorar el aporte al incremento de su concentración que la actividad del hombre puede ocasionar.

Las fuentes antropogénicas se deben al uso de compuestos de arsénico, como por ejemplo: óxido arsenioso, óxido arsénico, arseniatos de calcio y plomo, arsénicales orgánicos, arsénico elemental.

Sus usos son:

- Insecticidas o herbicidas para cultivos (vid, tomate, algodón, café, etc).
- Antiparasitario de animales (ovejas, cabras etc).
- Tratamiento de maderas (preservante por su acción fungicida).
- Subproducto de fundición de metales: cobre, estaño, cobalto y plomo.
- En la combustión del coque.
- En la industria de semiconductores.
- Terapéutica humana y veterinaria. En medicina humana ya no es tan usado, pero aún se usa en veterinaria. Se emplean desde soluciones de arsenito de potasio (Solución de Fowler) hasta arsénicales orgánicos. En muchos países el uso en humanos de la solución de Fowler está prohibido, pero aún se prescriben soluciones conteniendo arsénicales orgánicos, principalmente como antiparasitarios.

Efectos del arsénico en la salud

Las vías más ligadas con los modos de exposición son:

- Por ingestión
- Por inhalación
- Dérmica

La absorción del arsénico es altamente dependiente de su forma química y física:

- Arsenicales orgánicos, por ejemplo: Lewisita, fenilarsenóxidos, son liposubles y penetran rápidamente. Fácil absorción por piel.
- Arsenicales inorgánicos, se absorben poco por vía dérmica. Sus principales vías de absorción son por inhalación y ingestión.
- La absorción de As por inhalación y digestión excede el 50%.
- En humanos y animales se vio que el 80% de la dosis de As(III) se absorbe por el tracto gastrointestinal.
- En animales se observaron valores similares para la absorción de As(V), no hay datos en humanos.
- Compuestos orgánicos de arsénico (como los que se han encontrado en los mariscos) se absorben en el 99% en el intestino, tanto en modelos humanos como animales.



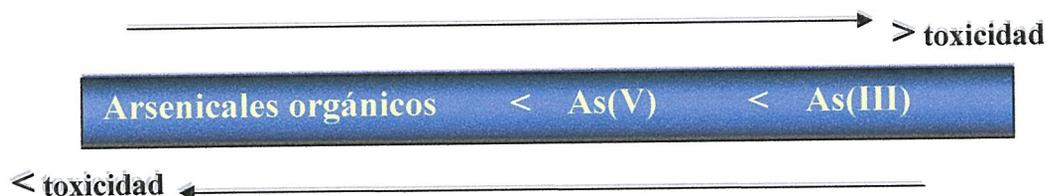
Efectos tóxicos agudos

Los efectos más destacados de la intoxicación aguda por arsenicales inorgánicos son:

- Daño severo gastrointestinal con dolores, vómitos y diarrea.
- Vasodilatación, caída de la presión sanguínea, shock.
- Daño renal glomerular y tubular con reducción de volumen urinario y anuria final.
- Depresión y parálisis de la respiración. Esta es frecuentemente la causa de muerte.
- Pérdida de movimientos voluntarios y parálisis de origen central.
- Hipotermia.
- Contracciones musculares.
- Anormalidades cardíacas.

Efectos tóxicos crónicos del As y sus derivados

La toxicidad de los compuestos de arsénico es altamente dependiente de su forma química:



Los efectos crónicos son:

- *de tipo general;*
- *teratogénesis;*
- *mutagénesis;*
- *carcinogénesis.*

De tipo general:

1. Desbalance electrolítico, pérdidas excesivas desde sangre a tejidos y tracto intestinal.
2. Depresión hematopoyética, disminución de leucocitos y ocasionalmente anemia aplásica.
3. Inflamación de ojos y tracto respiratorio.
4. Pérdida de apetito y peso.
5. Daño hepático de distinto grado: ictericia, cirrosis, etc.
6. Alteraciones sensoriales.
7. Dermatitis: hiperpigmentación, hiperqueratosis palmo-plantar, descamación y caída del cabello. (Indicadores de intoxicación crónica).
8. Estrías blancas en uñas.
9. Isquemia de miocardio.
10. Enfermedades vasculares periféricas (enfermedad del "pie negro").

Teratogénesis:

Alteración estructural y funcional del desarrollo que impide la formación armónica del individuo. En casos extremos puede conducir a la muerte del embrión. El As y algunos de sus compuestos han demostrado tener propiedades teratogénicas.

Se ha demostrado tanto en humanos como en animales, aunque en humanos los datos son escasos.

Por ejemplo se observó mayor incidencia de malformaciones múltiples en hijos de empleadas de fundiciones de metales expuestas a As, que en niños nacidos en el vecindario.

Mutagénesis:

Consiste en una modificación de las bases que constituyen el ADN.

El arsénico ha demostrado ser mutágeno en humanos y en animales de experimentación.

Las evidencias en el hombre incluyen tanto:

- observaciones de frecuencia aumentada de algunas consecuencias clínicas de las mutaciones (vejez prematura, cáncer, anomalías congénitas transmisibles, mortalidad del feto, esterilidad, etc.),
- como observaciones directas de anomalías a nivel del material genético.

Carcinogénesis:

Desde fines del siglo XIX, el As fue una de las primeras sustancias reconocida como carcinógeno humano.

En poblaciones humanas expuestas, el arsénico está asociado a tumores de piel y pulmones, pero también puede asociarse con tumores de vejiga, riñón e hígado.

A pesar de ser claramente un carcinógeno humano, su carcinogenicidad continúa siendo un enigma.

De hecho, es el **único** agente que la IARC (International Agency of Research of Cancer) considera un carcinógeno humano, a pesar de que son “inadecuadas” las evidencias de su potencial carcinogénico en animales.

Los datos de su carcinogenicidad en animales son negativos o dudosos para la IARC.

Monografía de 1980:

Datos en animales: Muchos estudios dieron negativos.

Datos en humanos: Gran número de casos de cáncer de piel en personas expuestas a As inorgánico a través de drogas, agua o pesticidas. Dos estudios epidemiológicos diferentes muestran resultados opuestos con respecto a la correlación entre exposición a As por agua de bebida y cáncer de piel. Varios casos de cáncer ocupacional de pulmón, hígado. El arsenito atraviesa la placenta y produce abortos y malformaciones.

Evaluación: *Inadecuada evidencia en animales, suficiente evidencia de cáncer de piel y pulmón en humanos.*

Monografía de 1987:

Datos en animales: Evidencias limitadas para carcinogenicidad en animales.

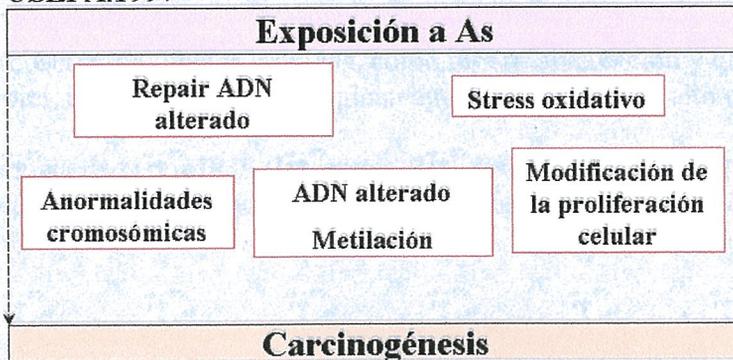
Datos en humanos: Evidencias suficientes para carcinogenicidad en humanos. Se observaron cáncer de: piel, pulmón, hígado, riñón, vejiga, estómago. Resultados discordantes de efectos teratogénicos, su interpretación es dudosa debido a problemas en la metodología de trabajo.

Evaluación: *El arsénico y sus compuestos son carcinógenos humanos (Grupo 1: Suficiente evidencia de carcinogenicidad)*

Carcinogénesis

Potenciales modos de acción para la carcinogénesis por As. Elucidar el mecanismo celular/molecular, mejorará la evaluación del riesgo debido a su exposición.

USEPA.1997

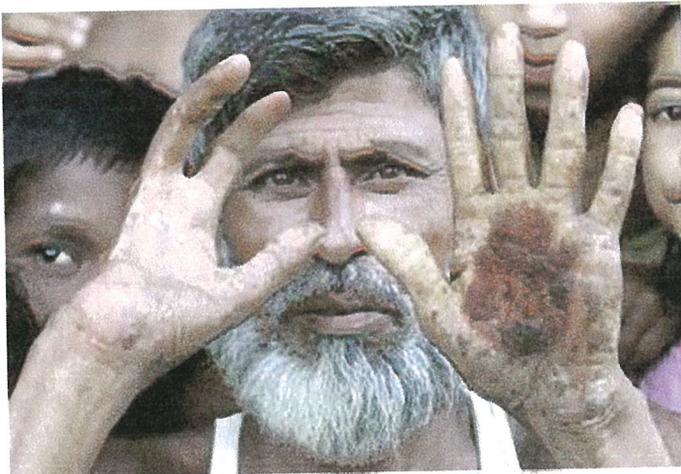
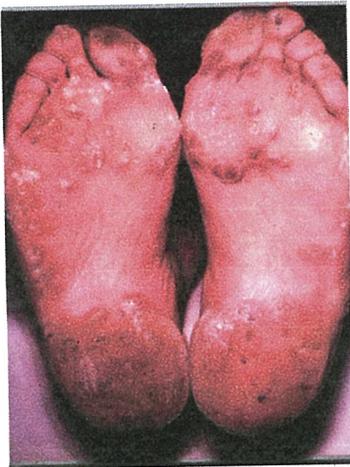


Problema del Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE) por presencia de arsénico en aguas de bebida

Países que presentan el problema:

Argentina
Chile
India
China
Reino Unido
Alemania
México
Taiwan
Estados Unidos

Casos de HACRE en Bangladesh



En Argentina se observaron efectos crónicos, como hiperpigmentación y queratosis así como cáncer de piel, en zonas donde se emplean aguas de bebida con alto contenido de arsénico.

La dosis de referencia dada por IRIS (Integrated Risk Information System) es $3 \cdot 10^{-4}$ mg/kg/día. En Máximo Paz, Provincia de Santa Fe, la dosis de exposición excede tres veces la de referencia.

Conclusiones acerca de la exposición ambiental a arsénico y sus compuestos.

Según IARC: Grupo 1
Carcinógeno en humanos

La toxicidad es
dependiente
de forma química

HACRE: Dermatitis
Cáncer de piel

Dificultad
para evaluar
el riesgo, mecanismo
desconocido

MODELO DE INTERVENCIÓN

PARA POBLACIONES CON SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN POR RED

PLANTA DE TRATAMIENTO PARA ABATIMIENTO DE ARSÉNICO



Generalidades

Según la legislación Argentina, cuando existe un sistema de distribución de agua por red, es responsabilidad del operador de la red, proveer a la población de agua potable. No está permitida la libre comercialización de dispositivos domiciliarios para tratamiento de agua, excepto los autorizados por Salud Pública y que se emplean para disminuir la concentración de cloro y color o turbidez (aspectos estéticos). Por consiguiente el modelo de intervención presentado se basa en la definición de la tecnología y el control de la calidad de producción de una planta de tratamiento para el abatimiento de arsénico del agua.

Por las razones mencionadas en la INTRODUCCIÓN, es importante tener en cuenta que no existe una solución aplicable a todas las poblaciones por igual. Varios son los factores que habrán de conocerse o medirse para poder presentar una o más alternativas que sean válidas para el caso estudiado en forma particular.

Sin embargo, existe una secuencia lógica, que permite diseñar un modelo de intervención que se adaptará luego al caso problema.

Análisis in situ de la situación

INTI se hará presente en el sitio en cuestión, de manera de poder realizar un diagnóstico in situ lo más completo posible.

Este contemplará:

- Cantidad y ubicación de los pozos usados como fuente primaria o tomas de agua superficiales si así correspondiera,
- Muestreo para su posterior análisis en laboratorios de INTI.
- Visita a planta de tratamiento si la hubiera.
- Solicitud de registros, censos poblacionales, antecedentes empleados en la resolución o identificación del problema, al Municipio o la autoridad que compete según el caso.
- Sistema de riego, sistema de escurrimiento pluviales, regímenes de los ríos principales.
- Sistema de gestión integral del agua, si existe.

Caracterización del agua

Las muestras obtenidas en la etapa anterior serán analizadas para determinar su composición. Los parámetros determinados, además del arsénico, serán aquellos que sean de interés para el diseño del sistema de tratamiento.

Parámetros básicos a determinar:

- Conductividad (20°C)
- Residuo conductimétrico
- pH
- Alcalinidad
- Cloruro (Cl⁻)
- Sulfato (SO₄²⁻)
- Nitrato (NO₃⁻)
- Dureza total
- Calcio (Ca²⁺)
- Magnesio (Mg²⁺)
- Sodio + Potasio (Na⁺ + K⁺), expresados como Na⁺
- Flúor (F⁻)
- Hierro (Fe)
- Manganeseo (Mn)

- Cromo VI (Cr(VI))
- Cobre (Cu²⁺)
- Boro (B)
- Arsénico (As)
- Mercurio (Hg)
- Plomo (Pb)

Estudio hidrogeológico

Se realiza un estudio hidrogeológico de la zona, ya sea a través de recopilación de información existente o en campo.

Mediante este estudio se evaluará la posibilidad y conveniencia de realizar otras perforaciones, ya sea para la búsqueda de pozos de captación de la misma napa usada como fuente primaria pero con menor contenido de arsénico, o de pozos de captación realizados en otros acuíferos.

Entre los parámetros a medir, además de las características del agua, se encuentra la recarga del acuífero y su caudal

Así mismo se estudiará el uso de fuentes de agua superficiales si existieran.

Análisis poblacionales

Todas las prospecciones se realizan considerando un *período de diseño* para el funcionamiento eficiente de la planta de 20 años. Este período de diseño está estipulado por los lineamientos del Ente Nacional de Obras Hídricas y Saneamiento (ENOHSA). Se emplean datos y estadísticas existentes, por ejemplo censos.

Variables a considerar:

- Proyección de la población según la aplicación de diferentes modelos y selección de los más apropiados al caso problema.
- Cálculo de consumo y caudales de diseño. Se deben tener en cuenta los consumos residenciales, no residenciales (escuelas, hospitales, hoteles, servicio municipal, comercios y pequeñas industrias), grandes industrias y consumos temporarios por actividad turística.

Posibles tecnologías a emplear

Varias son las tecnologías desarrolladas y aprobadas para plantas de abatimiento de arsénico en agua. Las más empleadas son la de coagulación/filtración y la de ósmosis inversa.

Tecnología de coagulación/filtración



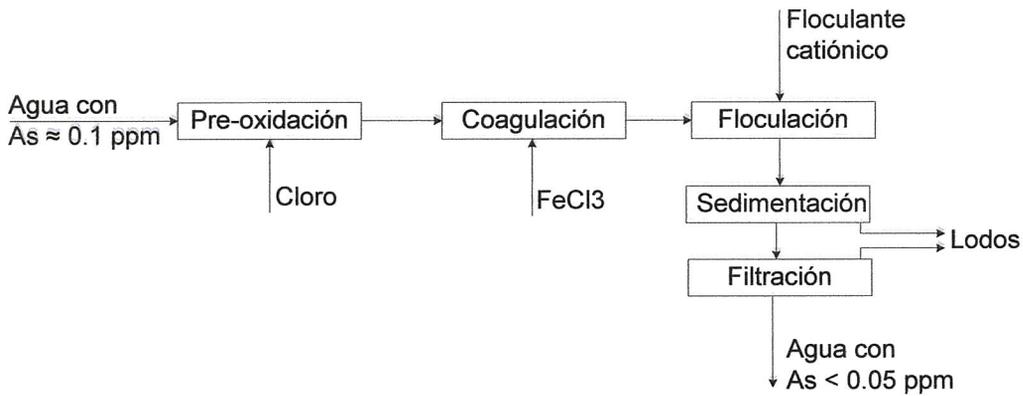
En los procesos involucrados, las propiedades físicas o químicas de la materia suspendida o de los coloides presentes, son alteradas de forma tal que se logre una mejor aglomeración de las mismas permitiendo la simple filtración o la sedimentación por gravedad. Los coagulantes cambian la superficie cargada de los sólidos permitiendo la aglomeración o entrapamiento de las partículas en un flóculo precipitado. Estos flóculos formados son sedimentados o filtrados más fácilmente. Este proceso no se restringe solo a la remoción de partículas en el agua, ya que los coagulantes empleados, compuestos de aluminio o hierro, forman hidróxidos coloidales a pH adecuado, que pueden adsorber otras especies. Este es el caso de arsénico. Dado que la remoción del As(III) es menos eficiente que las del As(V), y que el agua puede contener relaciones de ambas especies diferentes de acuerdo a ciertos parámetros físicos y químicos, se aconseja siempre incluir una etapa previa de oxidación.

El tratamiento convencional incluye las siguientes etapas:

- Pre-oxidación

- Coagulación
- Floculación
- Sedimentación
- Filtración

Esquema planta coagulación/filtración



Tecnología de Ósmosis Inversa

La ósmosis inversa permite eliminar sales disueltas presentes en el agua. La operación consiste en forzar al agua a pasar a través de una membrana semipermeable sometida a una presión superior a la presión osmótica.

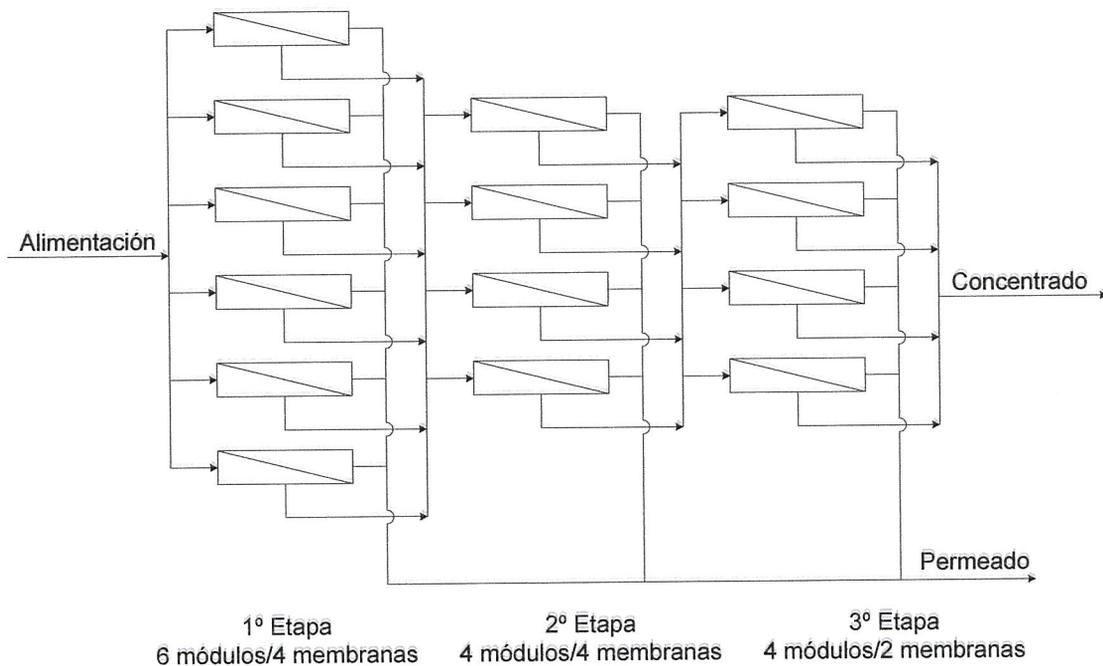


Las membranas comúnmente utilizadas para el tratamiento de agua son membranas en espiral dispuestas en una configuración que permita alcanzar la conversión y el caudal de permeado requerido. Generalmente se colocan de 2 a 6 membranas por módulo y pueden utilizarse más de una etapa para lograr una mayor conversión.

La ósmosis inversa es una tecnología desalinizadora no específica que permite una remoción de arsénico con más de un 95 % de eficiencia.

En la mayoría de los casos es necesario un pre-tratamiento del agua que ingresa al equipo de ósmosis para evitar el deterioro de las membranas. Generalmente se colocan filtros para la remoción de partículas y ablandadores para eliminar la dureza del agua.

Esquema ósmosis inversa



Evaluación económica

Se realiza una estimación de costos de inversión y costos de operación y mantenimiento para las diferentes tecnologías propuestas. Este aspecto es de suma importancia al momento de la selección de la planta a instalar.

Los costos son estimados de acuerdo a distintos modelos en función del caudal a procesar o a costos de plantas existentes. Uno de los modelos utilizados son los publicados por la EPA para la estimación de costos de tecnologías en tratamientos de agua potable¹.

Tipo de modelo	Rango de aplicabilidad [m ³ /h]
VSS (Very Small System)	2 a 16
Water Model	40 a 160
W / W Cost Model	1600 a 31500

*Para la transición entre cada modelo se realiza una interpolación lineal.

Estos 3 modelos están basados en datos de plantas existentes y donde se les asignó un porcentaje a cada elemento que conforma el costo, para luego aplicar dichos porcentajes a la estimación de una nueva planta de tratamiento de agua potable.

Luego, al costo estimado se lo actualiza mediante la utilización de algún índice de costos, estos pueden ser:

- Marshall & Swift index
- New Records index

Comparación entre tecnologías y recomendaciones

En esta etapa se comparan las distintas tecnologías posibles a aplicar para el caso problema y que fueron analizadas de acuerdo a las etapas anteriores.

El abatimiento de arsénico relacionado a la calidad de agua brindado por un sistema de abastecimiento público, no es sólo una cuestión técnica de aplicar una metodología de tratamiento de agua sino que hay que considerar múltiples aspectos relacionados al consumo y el hábito de la población, la fuente de agua y su constancia en el tiempo, el impacto que el emprendimiento produce en el medio ambiente ya sea porque se utiliza un recurso que puede ser o no renovable sino también por los residuos producidos.

Finalmente también se debe considerar la inversión a realizar, los costos operativos y el precio final a pagar por los vecinos que se encuentran conectados a la red y la manera de dar el servicio a aquella población de bajos recursos y sin acceso a los sistemas centralizados.

Considerando que cualquier proceso de tratamiento de agua no solo produce el bien deseado, en este caso agua potable, sino también residuos que hay que tratar y disponer, consumo del recurso natural primario, la fuente de agua, insumos, energía, mano de obra

¹ Technologies and costs for removal of arsenic from drinking water. Environmental Protection Agency. EPA (2000).

etc.; también debe considerarse que el agua potable producida debe ser distribuida de alguna manera (desde la red de distribución domiciliaria, abastecimientos por grifos públicos, hasta el agua provista en bidones o por camiones cisternas).

La distribución del agua potable no es objeto del presente modelo pero no es un tema menor ya que de él depende que un emprendimiento de estas características sea exitoso y logre los objetivos sanitarios y de salud poblacional.



Canilla pública de agua no segura



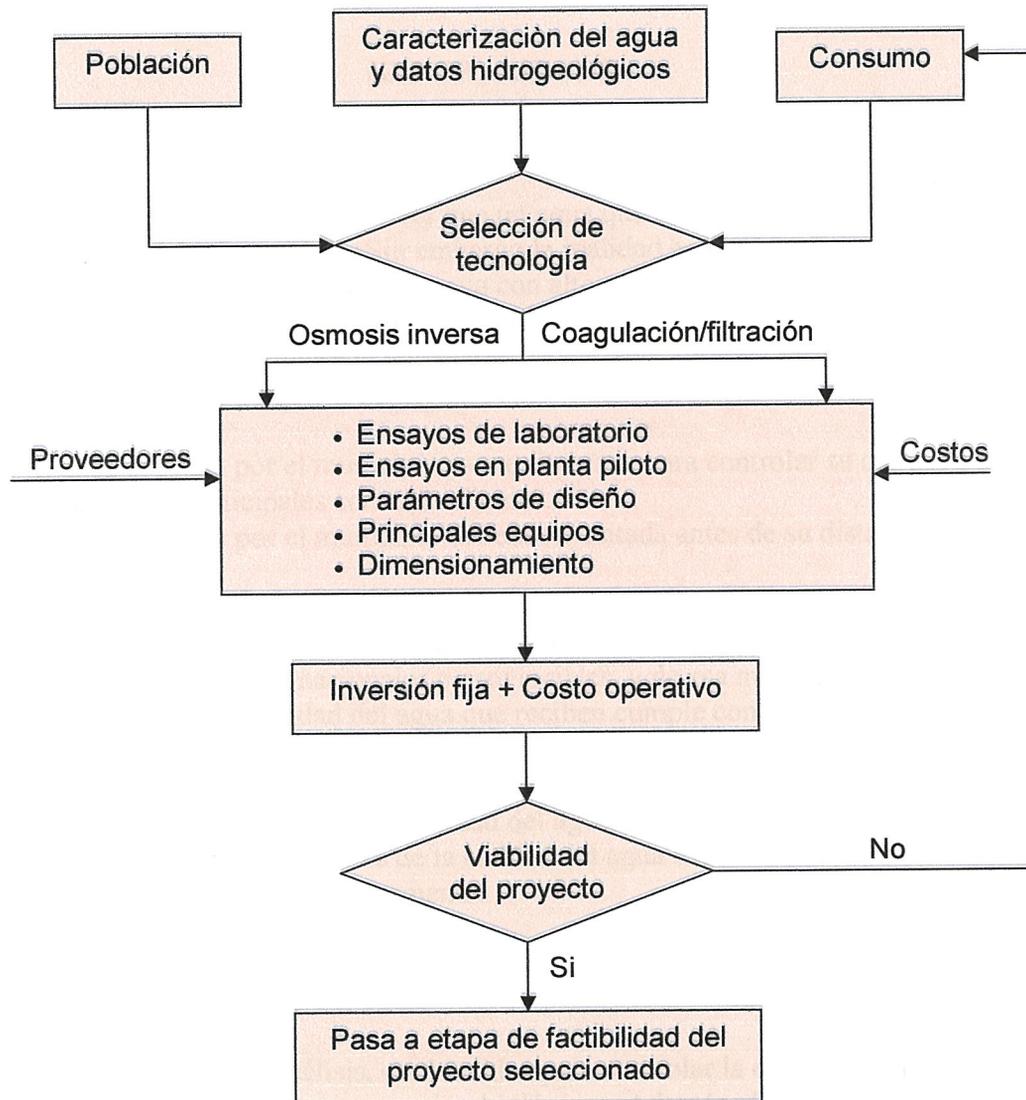
Canilla pública de agua segura

Las siguientes tablas resumen los principales aspectos de las evaluaciones realizadas para un caso problema considerando el consumo de agua potable para todo uso y el consumo de agua potable sólo para bebida, cocción de alimentos y limpieza de utensilios; mientras se mantiene el abastecimiento de agua para otros usos.

Planta potabilizadora por coagulación filtración	Producción de agua 1000 [m ³ /h]	Producción de agua 65 [m ³ /h]
Uso del recurso, fte. de agua [m ³ /año]	5.600.000	5.600.000
Recarga del acuífero [m ³ /año]	5.440.000	5.440.000
Capacidad instalada al inicio (2010) [m ³ /h]	750	65
Residuos a procesar y disponer [kg/año]	314.000	20400
Inversión total [U\$S]	1.000.000	400.000
Sistema de distribución	el actual reparado y extendido	el actual reparado y extendido + una distribución a diseñar

Planta potabilizadora por ósmosis inversa	Producción de agua 1000 m ³ /h	Producción de agua 50 m ³ /h
Uso del recurso, fte. de agua [m ³ /año]	7.448.000	5.700.000
Recarga del acuífero m ³ /año	5.440.000	5.440.000
Capacidad instalada al inicio (2010) [m ³ /h]	750	50
Residuos a procesar y disponer [m ³ /año]	1.840.000	119.000
Inversión total [U\$S]	4.700.000	480.000
Sistema de distribución	el actual reparado y extendido	el actual reparado y extendido + una distribución a diseñar

Diagrama de flujo de la metodología empleada



POBLACIONES SIN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN POR RED

GENERALIDADES

A veces para la población es difícil creer que un agua que tiene aspecto cristalino, sabor y olor correcto, puede no ser segura. Sin embargo la realidad es que muchos pozos privados de ciertas regiones de Argentina, tienen agua con alto contenido de arsénico.

Aún cuando hay sistemas de abastecimiento público, por ejemplo municipios, que utilizan agua subterránea para distribuir a la población, existen dos diferencias importantes entre las perforaciones municipales y los privados:

- El agua provista por el municipio es monitoreada para controlar su calidad por las autoridades municipales correspondientes.
- El agua provista por el municipio deberá ser tratada antes de su distribución y consumo.

El agua provista por el operador de la red en general (estatales y/o concesionarios) deberá cumplir con las regulaciones nacionales o provinciales, y de esa manera, los consumidores estarán seguros de que la calidad del agua que reciben cumple con los requisitos de agua potable y segura.

Existen regulaciones para la explotación del recurso pero no para la calidad del agua cuando se trata de pozos privados. La calidad del agua limita su posibilidad de uso. Por ello el propietario tendría que asegurarse de la calidad del agua extraída, no sólo cuando se instala el pozo de agua sino periódicamente.

Control básico de la calidad del agua

Hay protocolos básicos de análisis, establecidos para controlar la calidad del agua tanto en sus parámetros físico-químicos como microbiológicos. Además, dependiendo de la zona donde se encuentra el pozo hay determinaciones que es imprescindible realizar.

INTI asesora y realiza estos análisis.

Entre los factores locales que pueden alterar la calidad del agua, hay algunos que son de origen natural y otros provocados por la actividad humana.

- Dureza: si el agua es dura puede producir depósitos sobre las cañerías además de afectar el lavado.
- pH: si es bajo (< 7), puede haber problemas por el lixiviado de cobre y plomo de las cañerías.
- Arsénico: con mayor razón si se sabe que en la región hay aguas con alto contenido de arsénico. La determinación de arsénico en el agua debe realizarse al menos una vez al año.
- Compuestos orgánicos volátiles: importante analizarlos si existen tanques de combustibles o explotación de hidrocarburos en la zona.
- Radón: si se vive en zonas de alta emisión de radón.
- Pesticidas: con mayor razón si en la región hay actividades agrícolas.
- Nitratos: con mayor razón si en la región se emplean fertilizantes o no se realiza tratamiento de los efluentes cloacales, y hay pozos negros próximos al pozo de agua.

Los resultados de los análisis deben ser comparados con las regulaciones vigentes. Si existe algún contaminante o algún otro parámetro está en niveles superiores a los tolerados, el agua debe ser tratada antes de su uso para consumo humano. Este tratamiento debe ser específico para los contaminantes hallados.

Tratamiento del agua

La tecnología del tratamiento así como el lugar de aplicación del mismo, depende fundamentalmente del resultado del análisis del agua.

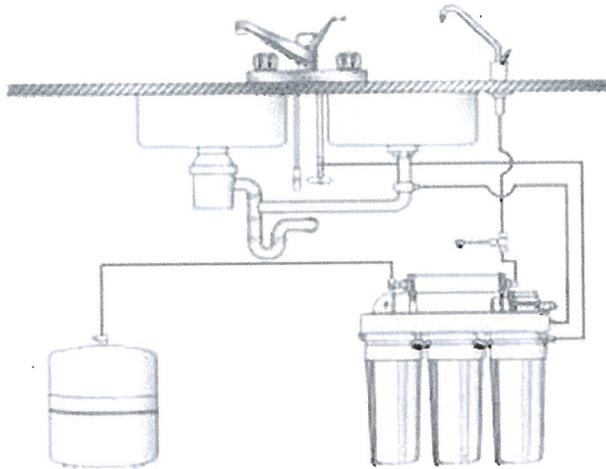
Puede ocurrir que para aplicar una tecnología que permite reducir un contaminante, por ejemplo nitrato, sea conveniente realizar previamente otro proceso, como por ejemplo disminuir la dureza del agua empleando un ablandador.

Existen dos modos de operación dependiendo del lugar donde se ubique el dispositivo:

Sistema de Punto de Entrada (POE, siglas de Point-of-Entry): Tratan el agua a la entrada de la vivienda, lo que implica que toda el agua que allí se utiliza, (cualquiera sea su uso), está tratada. En aquellos lugares con medidor de agua, el dispositivo suele instalarse justo después del medidor. Ejemplo de este sistema son los dispositivos ablandadores de agua.

Sistema de Punto de Uso (POU, siglas de Point-of-Use): estos sistemas típicamente tratan el agua en batch y la sirven por una única canilla auxiliar que es ubicada sobre la piletta de la cocina. Otras veces consiste en un dispositivo que incluye el dispensador de agua. Este tipo es el más usado en domicilio particulares, cuando se quiere eliminar contaminantes, por ejemplo: arsénico, nitratos, y otros.

Esquema de instalación de un dispositivo tipo POU:



Seguimiento y control del sistema de tratamiento

Es importante asegurar que el sistema esté instalado y sea operado de acuerdo con las instrucciones del fabricante del dispositivo y esto es responsabilidad individual de cada uno de los usuarios. Es también importante realizar periódicamente los análisis para controlar la calidad del agua, de manera de asegurar su correcto funcionamiento. Es factible que el sistema deba ser ajustado de acuerdo a su desempeño. Los ensayos de seguimiento deben ser realizados varias veces durante el primer año de funcionamiento y siempre después de que se le haya realizado algún ajuste.

Luego del primer año de uso, es conveniente realizar los controles al menos una vez al año, esto permitirá conocer cuan bien está funcionando el sistema y cuando hay que realizar el mantenimiento o reemplazo de los componentes, por ejemplo filtros, membranas, etc.

MODELO DE INTERVENCIÓN

PARA POBLACIONES SIN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN POR RED

DISPOSITIVOS DOMICILIARIOS O PARA POBLACIONES PEQUEÑAS,
APTOS PARA EL ABATIMIENTO DE ARSÉNICO

El modelo de intervención incluye las etapas que se describen a continuación.

Caracterización del agua

Las muestras obtenidas en la etapa anterior serán analizadas para determinar su composición. Los parámetros determinados, además del arsénico, serán aquellos que sean de interés para el diseño del sistema de tratamiento.

Parámetros básicos a determinar:

- Conductividad (20°C)
- Residuo conductimétrico
- pH
- Alcalinidad
- Cloruro (Cl^-)
- Sulfato (SO_4^{2-})
- Nitrato (NO_3^-)
- Dureza total
- Calcio (Ca^{2+})
- Magnesio (Mg^{2+})
- Sodio + Potasio ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$), expresados como Na^+
- Flúor (F^-)
- Hierro (Fe)
- Manganeso (Mn)

- Cromo VI (Cr(VI))
- Cobre (Cu²⁺)
- Boro (B)
- Arsénico (As)
- Mercurio (Hg)
- Plomo (Pb)

Estudio hidrogeológico

Se realiza un estudio hidrogeológico de la zona, ya sea a través de recopilación de información existente o en campo.

Mediante este estudio se evaluará la posibilidad y conveniencia de realizar otras perforaciones, ya sea para la búsqueda de pozos de captación de la misma napa usada como fuente primaria pero con menor contenido de arsénico, o de pozos de captación realizados en otros acuíferos.

Posibles tecnologías a emplear cuando la vivienda tiene energía eléctrica

Los dispositivos comerciales existentes, y que son aptos para la eliminación de muchas especies químicas contaminantes, emplean mayoritariamente ósmosis inversa, destilación, columnas de adsorción y resinas de intercambio iónico.

Dependiendo de las características del agua a tratar y la cantidad, será el diseño y tipo de dispositivo que deberá instalarse.

El propietario de la perforación deberá seleccionar fabricantes de dispositivos que puedan demostrar su correcto desempeño. La tecnología sobre la cual se diseñan estos equipos deberá estar aprobada por el Ministerio de Salud.

INTI presentará la propuesta para la selección del dispositivo más conveniente, después de haber realizado la evaluación técnico-económica correspondiente y también realizará el control del agua.

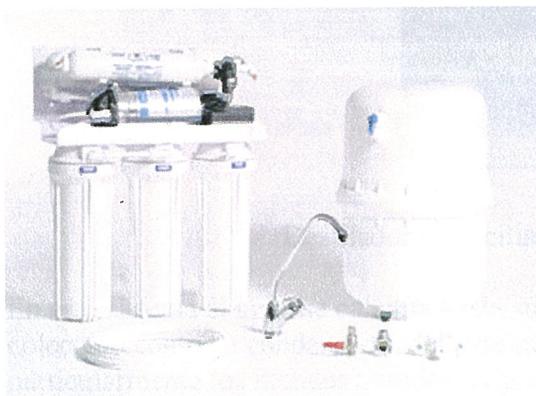
Después de su instalación, el propietario deberá analizar periódicamente el agua obtenida para asegurarse que el arsénico está siendo removido.

Ósmosis Inversa

Es un proceso que revierte, por la aplicación de presión, el flujo de agua en un proceso natural de ósmosis, tal que el agua pasa desde una solución más concentrada a una solución más diluida a través de una membrana semipermeable.



Sistemas
 comerciales
 domiciliarios
 colocados en
 bajo mesada de
 cocina (POU).
 El agua tratada
 es dispensada
 por una canilla
 auxiliar.



Dispositivos domiciliarios de ósmosis inversa

Muchos sistemas de ósmosis inversa incorporan pre- y post- filtros a lo largo de la misma membrana. Los principios del tratamiento empleando ósmosis inversa en los dispositivos domiciliarios son los mismos que para plantas de tratamiento. (Ver pág. 18)

Ventajas:

- ☺ Puede remover más del 95% del arsénico.
- ☺ Si hay otros contaminantes también puede removerlos, ejemplo: nitratos y sólidos totales disueltos.
- ☺ Hay fabricantes que los producen con gran calidad.
- ☺ Son equipos compactos y automatizados.

Desventajas:

- ☹ Se debe operar con caudales grandes de agua cruda debido a la baja recuperación de agua.

- ☹ Queda un residuo de agua concentrada en sales y contaminantes.
- ☹ Tiene eficiencia menor para remover As (III) con respecto al As (V).
- ☹ Mayor costo de capital y mantenimiento.

Destilación



Destilador domiciliario comercial de los EEUU

En este sistema el agua se calienta hasta su punto de ebullición y luego el vapor de agua es colectado como su condensado, dejando muchos de sus contaminantes atrás, particularmente los metales pesados. Algunos contaminantes que se convierten fácilmente en gases, como los compuestos orgánicos volátiles, pueden ser llevados junto con el vapor de agua.

Ventajas:

- ☺ Equipo automatizado y fácil de usar.
- ☺ No requiere mantenimiento complejo.

Desventajas:

- ☹ Consume energía eléctrica. (Se están desarrollando equipos solares).
- ☹ Su uso está limitado para el tratamiento de grandes volúmenes de agua.

Adsorción e intercambio iónico

Los adsorbentes más usados son alúmina activada y adsorbentes con base hierro. Las ventajas de estos dispositivos son: simple operación, poco mantenimiento, menor costo (dependiendo de frecuencia de cambio del cartucho adsorbente) que otras tecnologías.

Algunos equipos comerciales cuentan con un medidor de flujo que corta automáticamente la entrada de agua cuando se llega al volumen máximo permitido para el cartucho.

Las columnas de intercambio iónico que se emplean para remover arsénico son típicamente resinas base-fuerte, en forma cloruro o hidróxido. El anión arseniato presente en el agua es intercambiado por el cloruro o grupo hidroxilo de la resina, pues se retiene más fuertemente. Si el agua contiene hierro, más de 500mg/L de sólidos totales disueltos, más de 50mg/L de sulfato o altos niveles de nitrato, el intercambio iónico no es el mejor tratamiento para eliminar el arsénico. El arsénico combinado con hierro puede pasar a través de la columna, tanto los sulfatos como los nitratos compiten con el arsénico y pueden desplazarlo de la resina, con lo que el arsénico pasaría sin tratamiento a través de ésta.

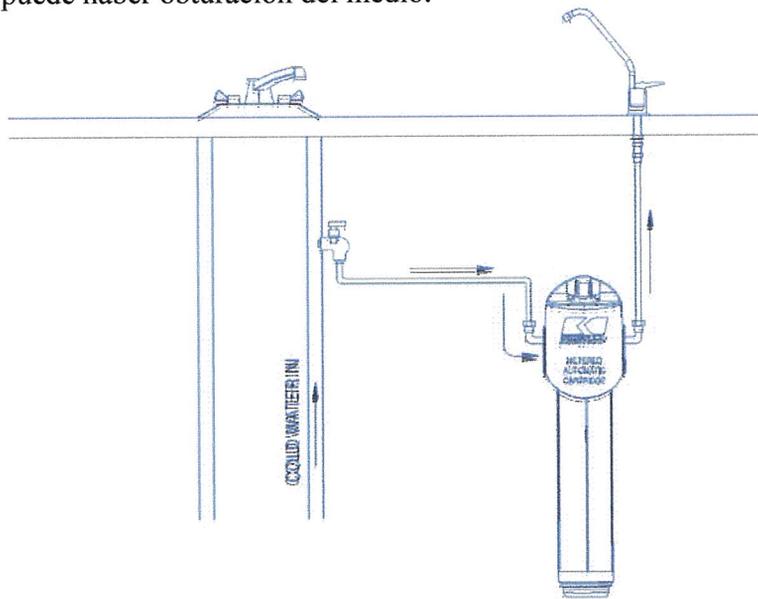
El costo de estos dispositivos que emplean columnas de intercambio iónico, calculados por su precio en el mercado más el mantenimiento, cambio de cartucho, y costos de análisis para su control; es aproximadamente de 4 a 5 veces superior a los de columnas adsorbentes.

Ventajas:

- ☺ Eficiencias del 95% para As (V).

Desventajas:

- ☹ En alúmina activada compiten con la remoción de arsénico los sulfatos y cloruros.
- ☹ Con alúmina activada se requiere ajuste de pH.
- ☹ Con alúmina activada hay problemas de regeneración.
- ☹ En resina de intercambio iónico compiten con el arsénico los sulfatos, sólidos totales disueltos, selenio, fluoruros y nitratos.
- ☹ Sólidos suspendidos y precipitados de hierro alteran el pasaje del agua, puede haber obturación del medio.



Esquema dispositivo con columna de adsorción. USEPA. 2003

Posibles tecnologías a emplear cuando la vivienda carece de energía eléctrica

Todos los dispositivos comerciales requieren de energía eléctrica para su operación. La falta de este suministro complica la resolución del problema del tratamiento de agua con arsénico en sistemas de flujo. Las posibles tecnologías a aplicar se reducen ampliamente. Sin embargo, también hay que tener en cuenta, que esta carencia está relacionada con la situación sociocultural de las poblaciones.



Existen prototipos realizados por universidades o instituciones públicas que pueden emplearse aún con ausencia de electricidad.

INTI está desarrollando un dispositivo económico que puede funcionar con y sin electricidad. Emplea la tecnología de coagulación/filtración, con una etapa previa de oxidación. (Ver descripción del fundamento de la tecnología en la pág.17).

INTI brindará la capacitación y asistencia necesaria para su correcto uso y funcionamiento, y el monitoreo periódico de la calidad de agua obtenida.



Prototipo del dispositivo realizado en INTI-Química

Evaluación económica

La evaluación económica tiene cuenta el costo de capital y los costos operativos que incluyen el mantenimiento del sistema.

Entre los costos operativos se consideran:

- Costo de productos químicos (en caso de un sistema para un grupo de habitantes), o de recambio de componentes del dispositivo (caso de equipos domiciliarios), por ejemplo, membrana, cartuchos adsorbentes, el costo de productos para lavado de filtros, regeneración de adsorbente o resina, oxidante, ablandadores, reactivos para llevar a pH.
- Costo de energía
- Costo de agua no tratada: es importante sobre todo en aquellos procesos como la ósmosis inversa donde entre un 25 y 30% se pierde.
- Costo de tratamiento de efluentes o disposición final.

Presentación de la propuesta

La propuesta del INTI presentará la tecnología más adecuada para resolver el caso problema, teniendo en consideración los siguientes parámetros:

- Características del agua a tratar
- Caudales o volúmenes a producir de agua
- Efectividad del sistema
- Simplicidad de la operación
- Simplicidad de los procedimientos para realizar el mantenimiento
- Tiempo de vida útil
- Evaluación económica
- Cuidado del medioambiente

Recomendaciones

Es importante que los usuarios del sistema comprendan que independientemente de cuál tecnología de tratamiento se use, siempre es imprescindible mantener el sistema operando en la forma apropiada.

En un primer lugar, se requiere de una instalación adecuada, y es el proveedor del sistema el que la realizará. Es importante conocer los antecedentes del fabricante.

El servicio post-venta que brinde también debe ser considerado, puesto que deberá aceptar la responsabilidad para realizar pequeños ajustes luego de la instalación.

Todos los sistemas deben ser operados de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

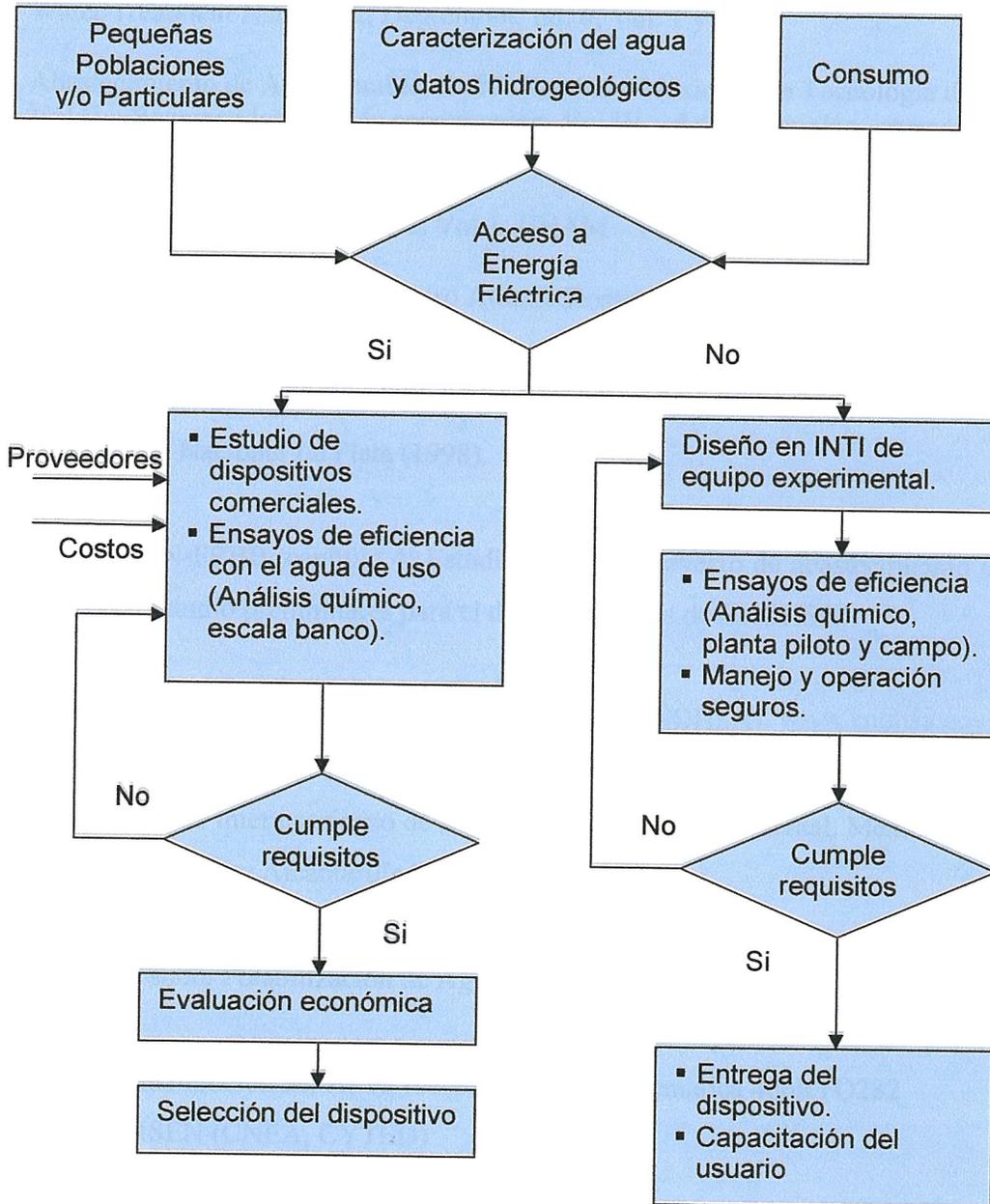
El sistema está diseñado para tratar una dada cantidad y calidad de agua en un dado tiempo. Si se lo opera tratando más cantidad de agua que la indicada o con diferentes

características, puede llevar a que funcione en forma deficiente. Se debe recordar siempre que los sistemas están diseñados en forma selectiva para resolver el caso problema. Es necesario medir regularmente la cantidad de agua obtenida y sus parámetros de calidad, para asegurar el correcto funcionamiento del equipo.

Los tratamientos de agua de pozos domiciliarios o de poblaciones sin red de distribución pública, no están regulados por leyes nacionales ni provinciales, pero existe la responsabilidad del ejercicio profesional. De ahí la importancia de que el proveedor pueda demostrar la validación de su sistema.

La población que emplea esta clase de dispositivos para tratar el agua de los pozos privados, debe estar concientizada de su propia responsabilidad por lo cual siempre debe cumplir con las buenas prácticas de operación de los sistemas de acuerdo a lo estipulado por el fabricante, así como a realizar análisis periódicos del agua para comprobar su calidad.

Diagrama de flujo de la melodía empleada



BIBLIOGRAFÍA

- Water Treatment Handbook, Degremont, Ed. 6, Vol. 1 y 2
- Abastecimiento de Agua potable, IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua), Vol II – Recomendaciones de construcción, Vol III – Administración, operación, mantenimiento y financiamiento de los sistemas.
- Abastecimiento de Agua potable, Vol 1, UNAM – Facultad de Ingeniería
- Potabilización del Agua, Ed. 3 Jairo Alberto Romero Rojas (Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería)
- Plan director de agua potable y saneamiento cloacal. Municipalidad de Lobos- Universidad Nacional La Plata (1998).
- Apunte UTN-FRBB, capítulo 4: Estudios para un proyecto de abastecimiento de agua, basado en estudio preliminares para el diseño de obras de ENOHSA.
- Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA). www.enohsa.gov.ar
- XXV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Memorias, Tomo II – Agua Potable y Alcantarillado
- Seminario sobre Potabilización de Aguas con arsénico y flúor.
- Taller de distribución del As en Iberoamérica, Red Temática 406RTO282 IBEROARSEN (CNEA, CYTED)
- Instituto Nacional de Estadística y Censo (INDEC), www.indec.mecon.ar
- Gobierno de la provincia de Buenos Aires, www.gba.gov.ar

- Municipalidad de Lobos, www.lobos.gov.ar
- Environmental Protection Agency (EPA), www.epa.gov
- Publicación EPA: Technologies and Cost for Removal of Arsenic from Drinking Water. (2000).
- Publicación EPA: Arsenic Treatment Technology Evaluation Handbok for Small Systems. (2003)
- Drinking Water Problems: Arsenic. Agrilife Extension. Bruce Lesikar, Michael Hare, Janie Hopkins, Montie Dozier. (11-05)
- Evaluación y Selección de Tecnologías Disponibles para Remoción de Arsénico. www.produccionbovina.com. María Cristina D'Ambrosio. (2005)
- Arsenic Fact Sheet. www.nsf.org
- Well Water. www.nsf.org
- Home Water Treatment. www.nsf.org
- www.iarc.fr. International Agency for Research on Cancer.
- <http://toxnet.nlm.nih.gov>. IRIS. Integrated Risk Information System.

- Niveles de exposición a arsénico en agua de bebida y riesgo relativo de cáncer de piel, en Máximo Paz, Santa Fe, Argentina. Período 2001-2005. Piola J.C., Navone H.D., Prada D.B., Evangelista M., Walkman J.C. www.sertox.com.ar
- Efectos carcinogénicos, mutagénicos y teratogénicos del arsénico. Un problema toxicológico de interés nacional. José Alberto Castro. Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana, Vol. XVI, N° 1 (1982)
- The Enigma of Arsenic Carcinogenesis: Role of Metabolism. Peter Goering, Vasken Aposhian, Marc Mass, Mariano Cebrian, Barnara Beck, Michael Waalkes. Toxicological Science 49. (1999)
- Heavy Metals in Soils. Blackie Academic & Professional. Edited by B.J. Alloway. 2° Ed. (1995)