



# MODELO DE INTERVENCIÓN PARA EL ABATIMIENTO DE ARSÉNICO EN AGUAS DE CONSUMO

Desarrollo Tecnológico e Innovación  
Industrias y Servicios

**MODELO DE INTERVENCIÓN  
PARA EL ABATIMIENTO  
DE ARSÉNICO EN AGUAS  
DE CONSUMO**



**Autores:** Liliana Valiente, Ana Hernández, Sergio Cortés, Estela Planes, Sofía Frangie, Gonzalo Difeo.

**Colaboradores:** Alejandra Storino, Diego Lelli, Ariel Galli, María del Pilar Orsini, Nancy Ortiz, Laura Reñones.

**Agradecimientos:** Gabriel Queipo y equipo de Economía Industrial, Fabio Luna, Claudia Mazzeo.

**Edición y diagramación**

Gerencia de Relaciones Institucionales y Comunicación.

Modelo de intervención para el abatimiento de arsénico en aguas de consumo / Liliana Valiente ... [et al.]; contribuciones de Alejandra Storino ... [et al.]- 1a ed. - General San Martín : Instituto Nacional de Tecnología Industrial - INTI, 2020.  
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online  
ISBN 978-950-532-437-8

1. Potabilización. 2. Arsénico. I. Valiente, Liliana II. Storino, Alejandra, colab.  
CDD 663.6

Esta publicación no podrá ser reproducida o transmitida en forma alguna por ningún medio sin permiso previo del Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

Hecho el depósito que establece la ley 11 723. Derechos reservados.

# ÍNDICE



Resumen Ejecutivo .....	5
Introducción .....	7
1. Legislación .....	10
2. Efectos del arsénico en la salud .....	12
3. Poblaciones con sistema de distribución de agua por red .....	15
4. Poblaciones sin sistema de distribución de agua por red .....	26
5. Modelo de intervención .....	29
6. Caso de Estudio .....	37
7. Cosecha de agua de lluvia .....	38
8. Desinfección de agua para consumo humano en pequeñas comunidades rurales .....	40
Anexo .....	41
Glosario y abreviaturas .....	47
Bibliografía .....	48

## RESUMEN EJECUTIVO

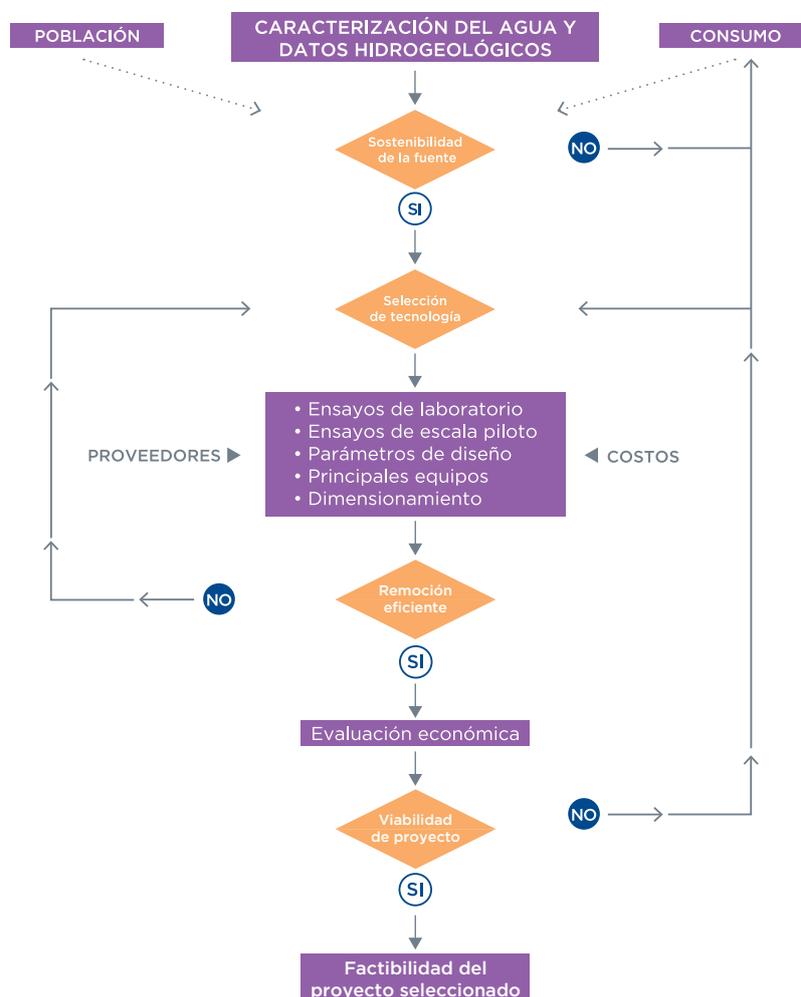
Remover el arsénico de las aguas subterráneas que se emplean para bebida, de modo que cumplan con la regulación del Código Alimentario Argentino (CAA), es un gran desafío para los sistemas de tratamiento de agua, debido a las implicancias toxicológicas, técnico-económicas, socio-culturales, de infraestructura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

**En este escenario, el INTI desarrolla un modelo de intervención que contempla dos situaciones:**

1. Fuentes de agua contaminadas con arsénico que son usadas para el aprovisionamiento de poblaciones a través de redes de distribución.

Propuesta para ser presentada a gobiernos provinciales y municipales, localidades, grupos poblacionales, ONG, entre otros, 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:

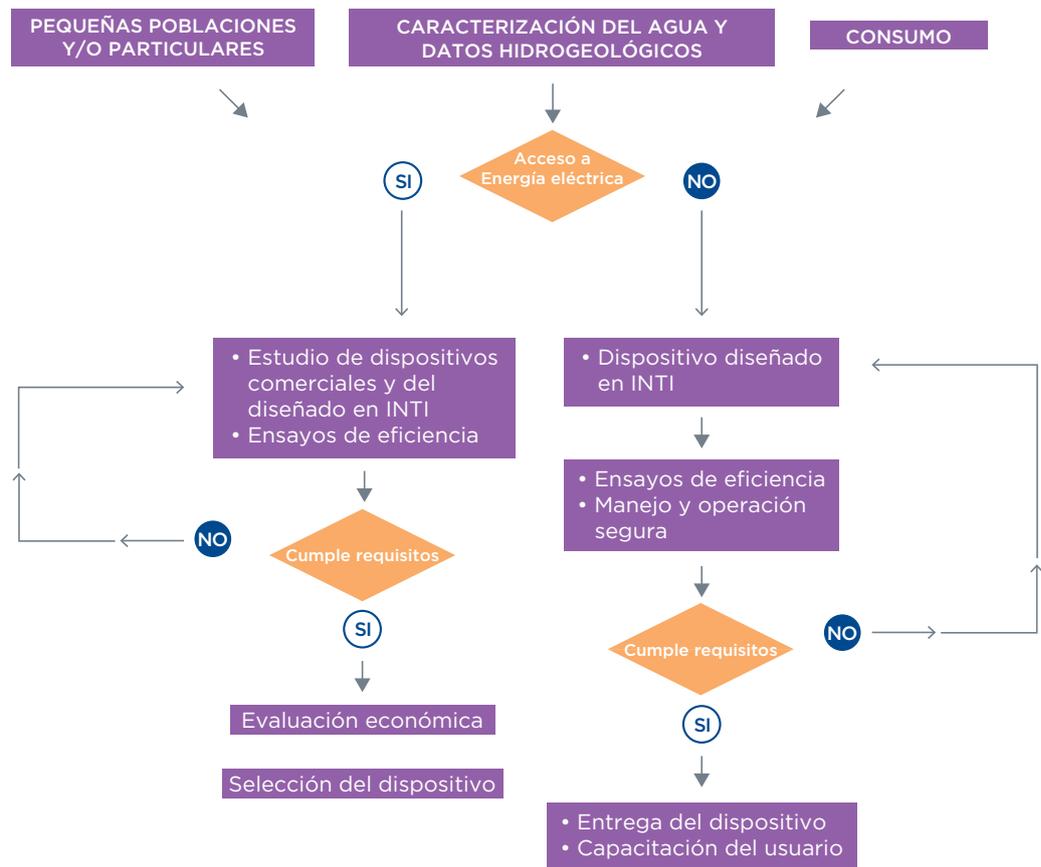


2. Poblaciones que se abastecen con pozos particulares, cuando la provisión de agua no se realiza a través de un sistema público de distribución. Este puede ser el caso, por ejemplo, de poblaciones ubicadas en la periferia de zonas urbanas donde no ha llegado el tendido de la red, poblaciones aisladas, o poblaciones rurales. Dentro de este grupo diferenciaremos en:

- Poblaciones con suministro de electricidad.
- Poblaciones que carecen de suministro eléctrico.

Propuesta para ser presentada a grupos poblacionales, pobladores, ONG que no tengan 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 el INTI, adecuados a la problemática de la región.

Diagrama de flujo de la propuesta para perforaciones particulares:



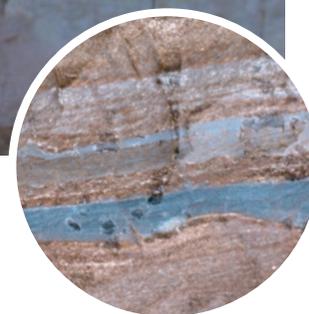
## INTRODUCCIÓN

### La situación en Argentina

La región afectada por el consumo de agua con arsénico (As) es una de las más extensas del mundo y comprende parte de las provincias de Salta, Jujuy, Tucumán, La Rioja, Catamarca, San Juan, Chaco, Santiago del Estero, San Luis, Mendoza, Córdoba, Santa Fe, La Pampa, Río Negro, Neuquén y Buenos Aires.

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 (depósitos sedimentarios arcillosos de origen eólico) de edad cuaternaria. Parte del arsénico en las aguas puede derivar de la disolución de vidrio volcánico.



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

---

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, que se tratan de soluciones de corto o mediano plazo, dado que el acuífero es común a todas las perforaciones y por lo tanto, a largo plazo, puede incrementarse la concentración de arsénico en toda la zona abastecida.

En cada una de las provincias afectadas pueden encontrarse diferentes situaciones. Hay localidades que tienen provisión de agua a través de una red de distribución, pero si éstas no cuentan con una planta de remoción de arsénico, el agua distribuida probablemente contenga niveles de arsénico superiores a 0,010 mg/l (10 ppb).

También existen poblaciones aisladas o rurales que a través de pozos particulares abastecen agua con elevados niveles de arsénico. Algunas de estas poblaciones no cuentan con energía eléctrica. El modelo de intervención propuesto debe contemplar también esa situación, que limita las posibilidades de uso de ciertas tecnologías para la remoción del arsénico.

La existencia de altos niveles de arsénico en suelos no implica que las aguas de pozo contengan arsénico. Su presencia en el agua depende de los siguientes parámetros:

- Estado de oxidación del arsénico en el suelo
- Alcalinidad
- Dureza del agua

En general, a mayor alcalinidad y menor dureza, es mayor el contenido de arsénico en el agua.

---

No es frecuente encontrar arsénico en aguas superficiales, sin embargo, en San Antonio de los Cobres (Salta), existen ríos de deshielo, como el San Antonio, con contenido de arsénico de aproximadamente 1 mg/l.

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

En napas más profundas el contenido de arsénico 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: óxidos arsenioso y arsénico, arseniatos de calcio y plomo, arsenicales orgánicos, arsénico elemental.

Se emplean en diferentes productos entre ellos:

- Insecticidas o herbicidas para cultivos (vid, tomate, algodón, café).
- Antiparasitarios de animales (ovejas, cabras).
- Tratamientos de maderas (preservante por su acción fungicida).
- Subproductos de fundición de metales (cobre, estaño, cobalto y plomo).
- En la combustión del arsénico en beneficio de los minerales de plata.
- En la industria de semiconductores (arseniuro de galio).
- Terapéutica humana y veterinaria. En medicina humana ya no son tan usados, pero aún se emplean en veterinaria como soluciones de arsenito de potasio (Solución de Fowler) hasta arsenicales orgánicos. A pesar de que en muchos países el uso en humanos de la solución de Fowler está prohibido, aún se prescriben soluciones conteniendo arsenicales orgánicos, principalmente como antiparasitarios.

# 01. LEGISLACIÓN

La OMS establece guías para la calidad del agua potable que son la pauta de referencia internacional para el establecimiento de estándares y seguridad.

En 1958, las normas internacionales para el agua potable de la OMS recomendaron una concentración máxima admisible de arsénico de 0,2 mg/l, basándose en sus posibles efectos perjudiciales para la salud.

En las normas internacionales de 1963 se redujo este valor a 0,05 mg/l, el cual se mantuvo como límite superior provisional de concentración en las normas internacionales de 1971. El valor de referencia de 0,05 mg/l también se mantuvo en la primera edición de las guías para la calidad del agua potable, publicada en 1984.

En las guías de 1993, en cambio, se fijó un valor de referencia provisional para el arsénico en el límite práctico de cuantificación de 0,01 mg/l, tomando en consideración el potencial carcinogénico del arsénico.

En referencia a la situación en nuestro país, en 2007 se incorporó al Código Alimentario Argentino, en su artículo 982, capítulo XII, el estándar de As para agua de bebida de 0,01 mg/l, recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

*“La autoridad sanitaria competente podrá admitir valores distintos si la composición normal del agua de la zona y la imposibilidad de aplicar tecnologías de corrección lo hicieran necesario. Para aquellas regiones del país con suelos de alto contenido de arsénico, se establece un plazo de hasta 5 años para adecuarse al valor de 0,01 mg/l.”*

Mediante la Resolución Conjunta SPReI N° 34/2012 y SAGyP N° 50/2012:

*“Prorrógase el plazo de cinco (5) años previsto para alcanzar el valor de 0,01 mg/l de arsénico hasta contar con los resultados del estudio “Hidroarsenicismo y Saneamiento Básico en la República Argentina – Estudios básicos para el establecimiento de criterios y prioridades sanitarias en cobertura y calidad de aguas” cuyos términos fueron elaborados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos del Ministerio de Planificación Federal”.*

---

En el marco de la legislación vigente para la República Argentina se pueden observar en el siguiente cuadro valores guía de los límites permisibles para la concentración de arsénico.

**Código Alimentario Argentino (CAA, año 2007):**

Máximo de 0,01 mg/l (0,01 ppm ó 10 ppb)

**Organización Mundial de la salud (OMS)**

Máximo de 0,01 mg/l (0,01 ppm ó 10 ppb)

**US-EPA (Agencia de protección Ambiental, a partir de enero 2006):**

Máximo de 0,01 mg/l (0,01 ppm ó 10 ppb)

En el año 2019 la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica del Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda adjudicó a “HYTSA Estudios y Proyectos S.A” la consultoría sobre los “Estudios básicos para el establecimiento de criterios y prioridades sanitarias en la Argentina relacionadas con el Hidroarsenicismo”, enmarcada en el Plan Nacional del Agua.

A principios de mayo del 2019, la empresa HYTSA firmó un acta de inicio de estudio. La consultoría tendrá una duración de 540 días.

**Objetivo del estudio**

*“El objetivo principal es la realización de una evaluación epidemiológica del impacto sanitario del consumo de aguas arsenicales en poblaciones de la Argentina, con el objetivo de otorgar un mejor fundamento a la definición de los tenores aceptables de As en agua de bebida prescriptos por el Código Alimentario Argentino. Las provincias que participarán del estudio son las siguientes: Jujuy, Salta Tucumán, Catamarca, Chaco, Santiago del Estero, Formosa y La Rioja. Córdoba, Santa Fe, San Juan, San Luis, Mendoza, Neuquén, Chubut, Santa Cruz y La Pampa y Buenos Aires”*

## 02. EFECTOS DEL ARSÉNICO EN LA SALUD

Se ha identificado al arsénico asociado con las aguas subterráneas como el segundo factor en importancia que incide sobre la salud, luego de la contaminación con organismos patógenos.

El arsénico es un elemento tóxico. Los compuestos inorgánicos del arsénico pueden provocar una intoxicación aguda cuando el individuo está expuesto a una dosis elevada de arsénico; puede ser una única dosis o dosis repetidas durante un corto plazo. Estos efectos se manifiestan poco tiempo después de que se produzca la ingestión (o inhalación) del arsénico.

La intoxicación aguda por arsenicales inorgánicos puede causar náuseas, vómitos, diarrea, efectos cardiovasculares y encefalopatía.

Las concentraciones de arsénico que se encuentran naturalmente en las aguas subterráneas no producen casos de intoxicación aguda; sus efectos suelen ser crónicos, derivados de la ingesta de pequeñas cantidades de arsénico en el agua y otros alimentos contaminados por el agua durante períodos de tiempo prolongados.

Se ha demostrado que la exposición crónica a esas concentraciones naturales de arsénico puede tener consecuencias muy serias sobre la salud: enfermedades dermatológicas, distintos tipos de cáncer (de piel, de pulmón y de vejiga), enfermedades cardiovasculares y pulmonares, diabetes y neuropatías.

Los niños son más susceptibles que los adultos a padecer los efectos adversos del arsénico y otros tóxicos. En ellos, se ha observado que las enfermedades dermatológicas aparecen más rápidamente.

Asimismo, estudios recientes han demostrado que los niños expuestos durante el período prenatal y posnatal pueden tener un menor desempeño neurológico que los niños no expuestos.

Existen evidencias de que el arsénico atraviesa la barrera placentaria y puede encontrarse en bajos niveles en la leche materna; así los niños pueden haber estado expuestos a arsénico durante el embarazo y la infancia temprana.

Los efectos potenciales sobre los niños expuestos, que no habían sido documentados hasta los últimos años, son motivo de gran preocupación e incluyen un aumento en el riesgo de presentar efectos tanto en el momento del nacimiento como durante la vida adulta.

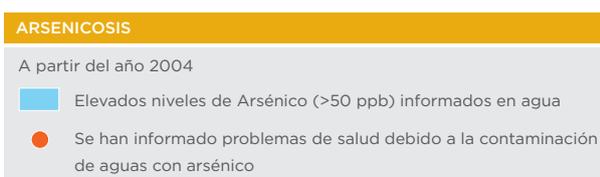
Se han informado casos de nacimiento de niños con bajo peso y daño en las funciones cognitivas y en la etapa adulta un mayor riesgo de presentar cáncer

de pulmón, enfermedades pulmonares e infarto del miocardio. Por este motivo, las mujeres embarazadas y los niños pequeños constituirían el grupo de mayor riesgo. Es necesario reducir la exposición para mitigar los efectos dañinos que causa el arsénico sobre la salud.

El arsénico está clasificado por la IARC (siglas que corresponden a Centro Internacional de Investigaciones sobre el cáncer) como carcinógeno categoría 1, la que corresponde a la identificación de evidencia suficiente en humanos.

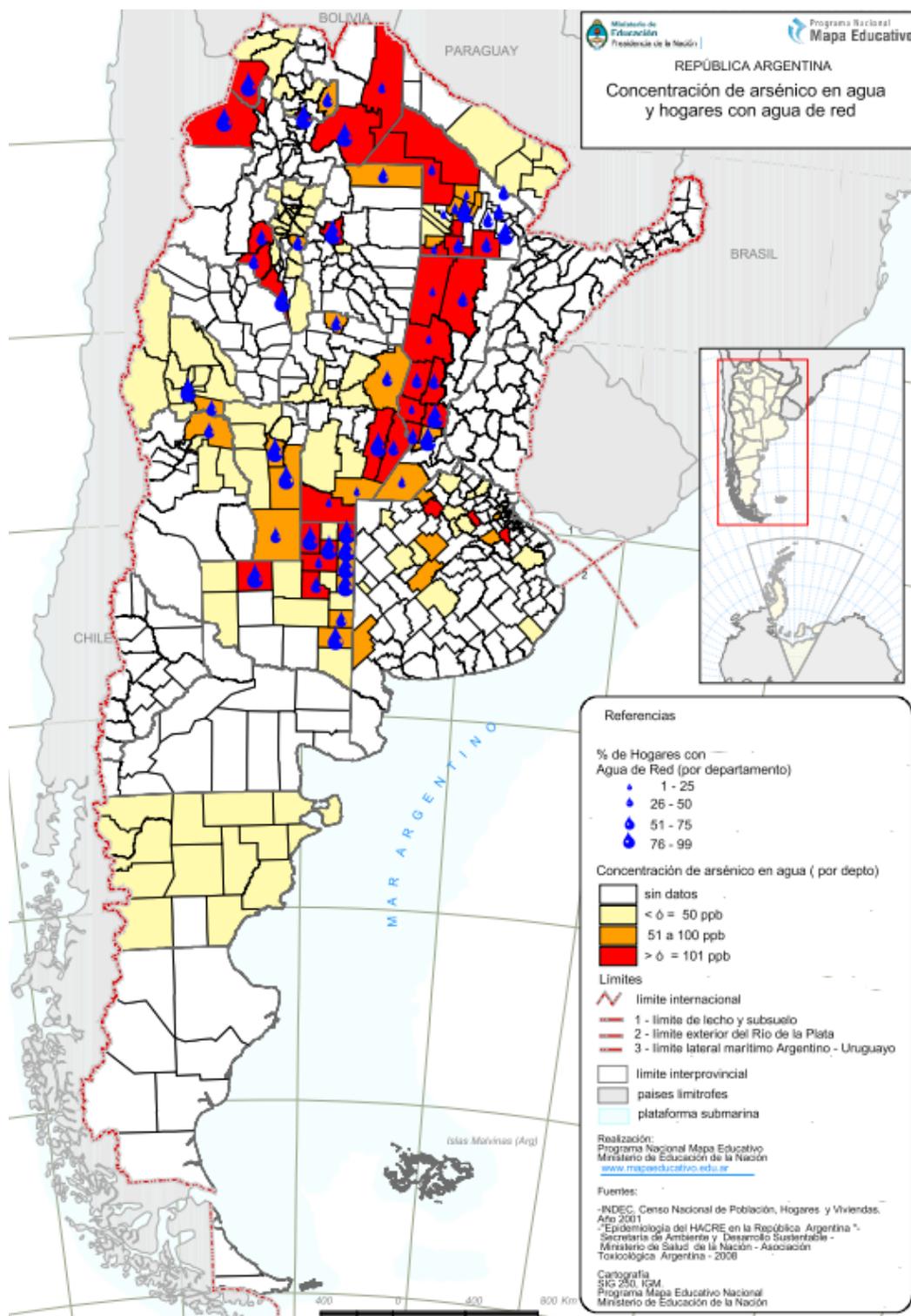
El hidroarsenicismo es la enfermedad ambiental crónica causada por el consumo de aguas contaminadas con arsénico y que en algunas regiones es de carácter endémico. En algunos estudios se la llama HACRE, sigla que se corresponde con Hidroarsenicismo Crónico Regional y Endémico.

Países que presentan el problema:



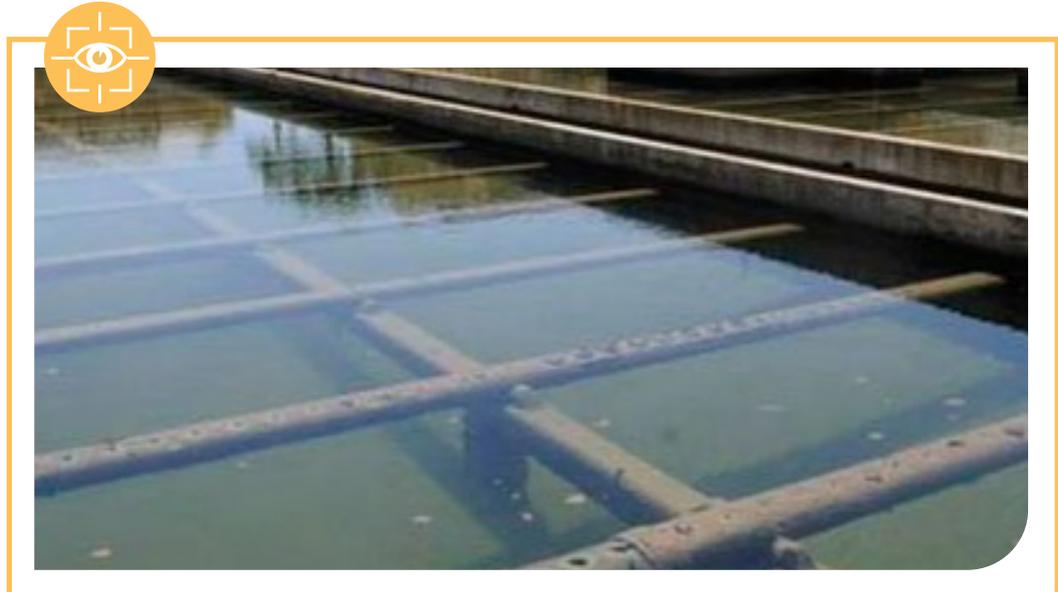
Fuente: Elaboración propia/ OMS  
[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/en/poster8.pdf?ua=1](http://www.who.int/water_sanitation_health/en/poster8.pdf?ua=1)

Del estudio realizado en 2001 sobre la epidemiología del HACRE, se presenta el siguiente gráfico donde se aprecia la magnitud de la problemática en la Argentina.



## 03. POBLACIONES CON SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POR RED

### Modelo de intervención



Planta de potabilización de agua. Foto: AySA. Fuente: [www.prensariotila.com](http://www.prensariotila.com)

### 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 modificar el color o turbidez (aspectos estéticos).

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 cada 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.

En el **Anexo** se presentan los diagramas de árbol que permiten visualizar distintas situaciones para el abatimiento de arsénico, considerando:

- Número de habitantes a abastecer
- Calidad de agua y usos
- Dotación (l/hab día)

## Análisis *in situ* de la situación

Éste contempla:

- Identificar los sitios más aptos para ubicar sanitariamente los pozos y captaciones.
- Releva la cantidad y ubicación de los pozos usados como fuente primaria, o tomas de aguas superficiales, si así correspondiera.
- Muestrear para su posterior análisis en laboratorios del INTI.
- Visitar la planta de tratamiento, si la hubiera.
- Solicitar registros, censos poblacionales, antecedentes empleados en la resolución o identificación del problema, al municipio o la autoridad que compete según el caso.
- Evaluar los sistemas de riego, escurrimientos pluviales, regímenes de los ríos principales.
- Conocer el sistema de gestión integral del agua, si existiera.
- Analizar los consumos y demandas de las diferentes fuentes de agua.

## Caracterización del agua

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

### Parámetros básicos a determinar:

- Conductividad (20°C)
- Sodio (Na<sup>+</sup>)
- Residuo conductimétrico
- Potasio (K<sup>+</sup>)
- pH
- Flúor (F<sup>-</sup>)
- Alcalinidad
- Nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)
- Cloruro (Cl<sup>-</sup>)
- Dureza total
- Sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)
- Calcio (Ca<sup>2+</sup>)
- Arsénico (As)
- Magnesio (Mg<sup>2+</sup>)

## Estudio hidrogeológico

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

Se deben evitar lugares inundables y/o cercanos a posibles puntos de contaminación.

Se evalúa la posibilidad y conveniencia de realizar otras perforaciones, ya sea para la búsqueda de pozos de captación en 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.

Se debe estudiar el uso de fuentes de agua superficiales, si existieran.

## ● ..... **Análisis poblacional**

Todas las prospecciones se realizan considerando un período de diseño de 20 años para el funcionamiento eficiente de la planta, estipulado por los lineamientos del ENOHSA. Se emplean datos y estadísticas existentes, por ejemplo censos.

VARIABLES A CONSIDERAR:

- Proyección de la población según la aplicación de diferentes métodos y selección de los más apropiados al caso problema.
- Cálculo de consumo y caudales de diseño. Se consideran 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 tecnologías más empleadas son:

- 1. Coagulación-filtración**
- 2. Membranas (ósmosis inversa, nanofiltración y electrodiálisis)**
- 3. Adsorción**
- 4. Intercambio iónico**

Además existen otras tecnologías, como los procesos biológicos, tecnologías solares, técnicas electroquímicas, entre otras.

## 1. Tecnología de coagulación/filtración



Fuente: [www.wasa.gov.tt](http://www.wasa.gov.tt)

La tecnología de coagulación/filtración involucra procesos en los cuales las propiedades físicas o químicas de la materia suspendida, o de los coloides presentes, son alteradas de forma tal que se logra mejorar su aglomeración permitiendo la simple filtración o la sedimentación por gravedad.

Los coagulantes son los productos químicos que cambian la superficie cargada de los sólidos permitiendo la aglomeración de las partículas, formando flóculos que son sedimentados o filtrados más fácilmente.

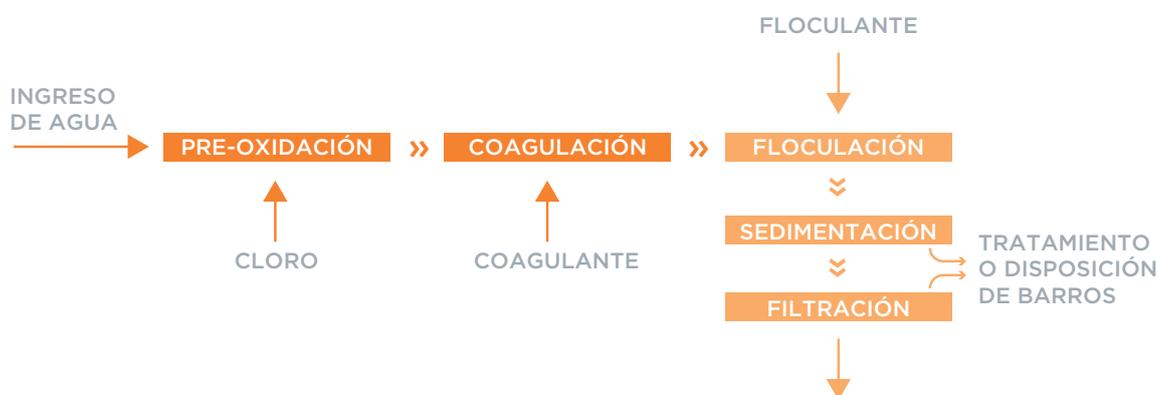
Este proceso no se restringe solo a la remoción de partículas en el agua ya que los coagulantes empleados, compuestos de aluminio o hierro, forman hidróxidos coloidales a determinados pH, que pueden adsorber otros contaminantes, como en el caso del arsénico.

Dado que la remoción del As (III) es menos eficiente que la 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 de coagulación/filtración



## 2. Tecnología de membranas

(Ósmosis inversa-nanofiltración-electrodialisis)

Una membrana semipermeable puede definirse como una película delgada que separa dos fases y actúa como una barrera selectiva para el transporte de materia, permitiendo a través de ella el pasaje de agua, iones o moléculas pequeñas.

Los procesos de separación que se basan en la utilización de membranas no operan como una filtración convencional. Estos procesos pueden clasificarse, en parte, por la energía requerida para realizar la separación y por la calidad del agua producida.

En la mayoría de las aplicaciones, el agua fluye a través de la membrana mediante una fuerza impulsora, como por ejemplo una corriente eléctrica continua (electrodialisis) o presiones elevadas (ósmosis inversa y nanofiltración).

En el siguiente cuadro se observa una clasificación general de las operaciones de membrana considerando algunos parámetros característicos:

Membrana	Rechaza monovalentes	Rechaza multivalentes	Rechaza orgánicos	Sólidos suspendidos	Diámetro de partículas separadas	Tamaño del poro	Presión de operación promedio
Nanofiltración	Poco	Si	Si	Si	0,001µm	<2nm	3 a 10 bars
Ósmosis inversa	Si	Si	Si	Si	0,0001µm		10 a 20 bars

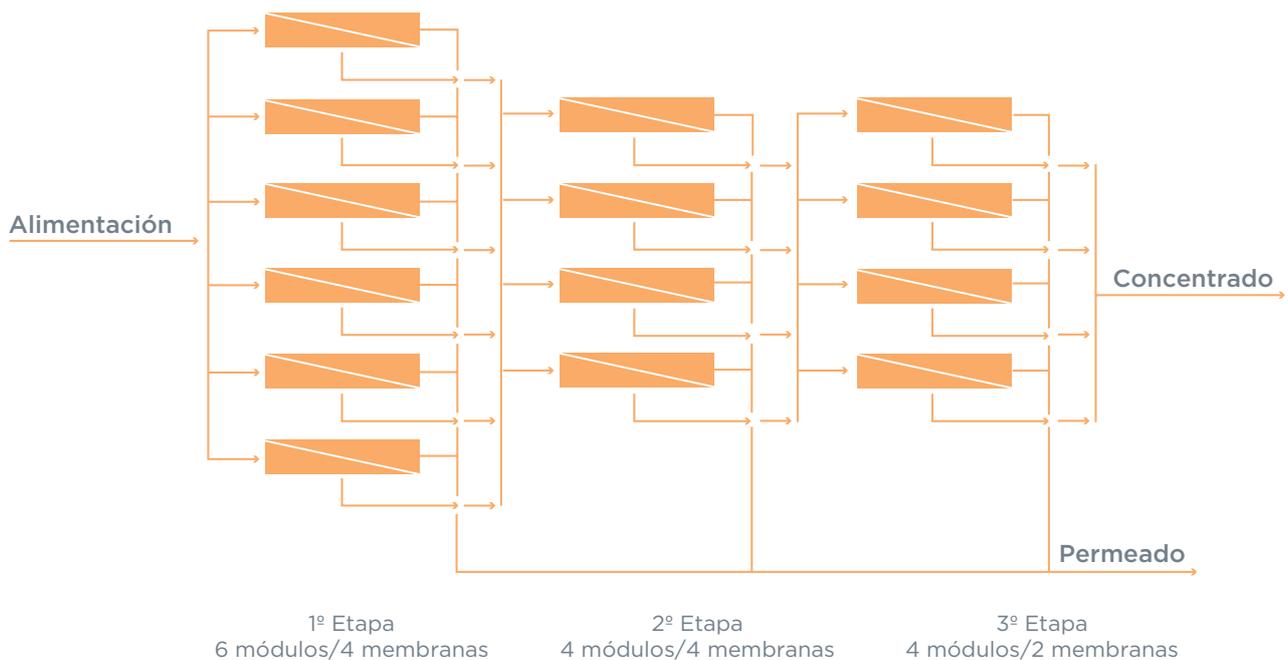
En Argentina, la ósmosis inversa es uno de los métodos más utilizados a partir de fines de la década de los 70. La operación, que permite eliminar sales disueltas presentes en el agua, consiste en forzar el paso del agua a través de una membrana semipermeable sometida a una presión superior a la presión osmótica.



*Modelo de planta de ósmosis inversa*

Las membranas comúnmente utilizadas para el tratamiento de agua poseen forma de espiral y están 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 en más de una etapa para lograr una mayor conversión.

### Esquema planta de ósmosis inversa



---

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 se requiere un pre-tratamiento del agua que ingresa al equipo de ósmosis para evitar el deterioro de las membranas. Por lo general se colocan filtros para la remoción de partículas y ablandadores para eliminar la dureza del agua.

### 3. Tecnología de adsorción

La adsorción es un proceso de transferencia de masa donde una sustancia pasa de 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, resulta mayor la capacidad de acumular material.

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

- Medios especiales basados en alúmina activada.
- Medios especiales basados en adsorbentes con hierro y otros óxidos.
- Otros medios: bauxita, hematita, feldespatos, laterita, minerales arcillosos (bentonita, caolinita), carbón de hueso, material celulósico, entre otros.

**En el diseño de los adsorbedores deben considerarse los siguientes factores:**

- Capacidad del adsorbente.
- Influencia de la temperatura.
- Otros compuestos en el agua a tratar (en particular hierro, nitratos, fosfatos, sulfatos y sílice), la cantidad total de sólidos disueltos y el pH.
- Toxicidad del medio para disposición.
- Posibilidad de regeneración.
- Requerimientos de pre-oxidación.
- Tiempo de contacto de lecho.
- Tasa de filtración.
- Competencia de iones.

**En función de estos parámetros se evalúa la vida útil del adsorbente:**

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

---

**Los sistemas de adsorción incluyen además del correspondiente filtro con cuadro de válvulas de maniobra:**

- sistemas de pretratamiento (oxidación, ajuste de pH).
- sistemas de postratamiento (desinfección, ajuste final de pH).

En los casos que sean necesarios se agrega el sistema de regeneración y tratamiento de efluentes de retrolavado.

#### **4. Tecnología de intercambio iónico**

El intercambio iónico es el proceso fisicoquímico de intercambio reversible de iones entre fase líquida y 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 de bases fuertes para remoción de arsénico en forma ionizada. Las resinas sulfato selectivas convencionales son las más utilizadas para remoción de arseniatos. 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).
- Capacidad de intercambio (g As/ l de resina).
- Tipo y concentración de regenerante.
- Tipo de inyección de regenerante.
- Cantidad de regenerante por ciclo.
- Ensuciamiento de resinas por materia orgánica o particulada.
- Posibilidad de reuso del 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.
- Sistema de tratamiento de efluentes.

Estos sistemas pueden ser automatizados mediante un Controlador Lógico Programable (PLC).

### Evaluación económica

Se realiza una estimación de costos de inversión, de operación y de 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 potable.

Tipo de modelo de estimación de costos	Caudal (rango de aplicación [m <sup>3</sup> /h])
VSS (Very Small System)	2 a 16
Water model	40 a 160
W / W Cost Model	1.600 a 31.500

Estos tres modelos se basaron en datos de plantas existentes y se les asignó un coeficiente a cada elemento, para luego estimar el costo de una nueva planta de tratamiento de agua potable con diferentes dimensiones.

Al costo estimado se lo actualiza mediante la utilización de índices de costos, como los siguientes:

- Marshall & Swift index.
- CEPCI.
- BLS index.
- Índice del Costo de la Construcción (INDEC).

## Comparación entre tecnologías y recomendaciones

En esta etapa se comparan dos de las tecnologías posibles a aplicar para un caso problema.

El abatimiento de arsénico relacionado con la calidad de agua brindada por un sistema de abastecimiento público, no es sólo una cuestión técnica sino que hay que considerar múltiples aspectos relacionados con el 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 ambiente, ya sea porque se utiliza un recurso que puede ser –o no– renovable sino también debido a los residuos producidos.

Finalmente también debe tenerse en cuenta la inversión a realizar, los costos operativos, y el precio final a pagar por los vecinos que se encuentran conectados a la red, así como la manera de dar el servicio a aquellas poblaciones de bajos recursos y sin acceso a los sistemas centralizados.

Todo proceso de tratamiento de agua no sólo 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 y mano de obra, entre otros; también debe considerarse la distribución del agua potable producida (desde la red de distribución domiciliaria, abastecimientos por grifos públicos, hasta el agua provista en bidones o por camiones cisternas).

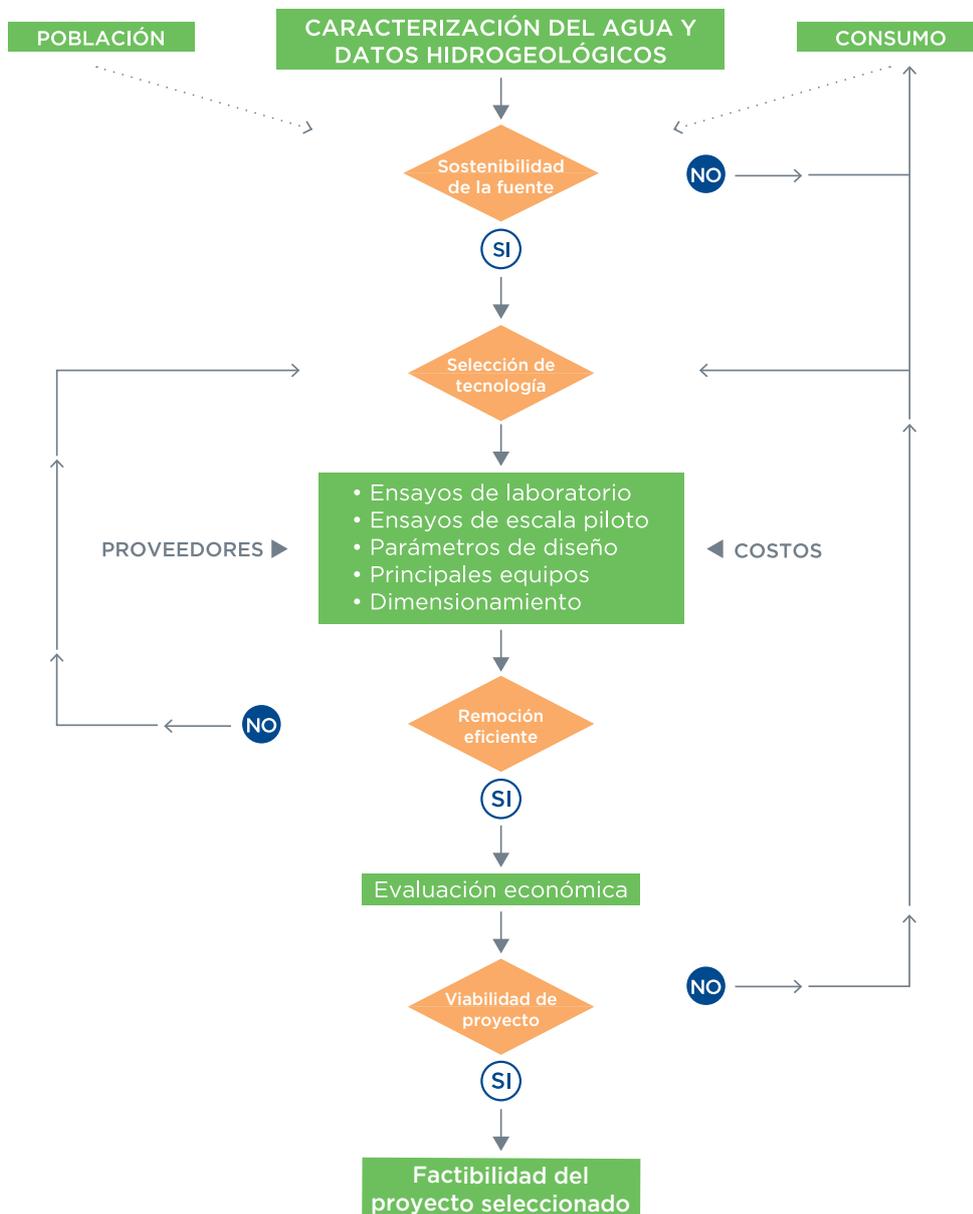
La distribución del agua potable, si bien no es objeto del presente modelo, no es un tema menor ya que de ella depende que un emprendimiento de estas características resulte exitoso y logre los objetivos sanitarios y de salud poblacional.

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 1.100 [m <sup>3</sup> /h]	Producción de agua 20 [m <sup>3</sup> /h]
Uso del recurso, fuente de agua [m <sup>3</sup> /año]	6.345.000	116.000
Capacidad instalada al inicio (2020) [m <sup>3</sup> /h]	875	20
Dosis de cloruro férrico [mg/l]	50	50
Residuos a procesar y disponer [kg/año]	345.000	6.300
Inversión total [U\$S]	1.330.000	170.000

Planta potabilizadora por ósmosis inversa	Producción de agua 1.100 [m <sup>3</sup> /h]	Producción de agua 15 [m <sup>3</sup> /h]
Uso del recurso, fuente de agua [m <sup>3</sup> /año]	8.215.000	140.000
Capacidad instalada al inicio (2020) [m <sup>3</sup> /h]	875	15
Conversión [%]	75	75
Residuos a procesar y disponer [kg/año]	2.054.000	35.000
Inversión total [U\$S]	5.400.000	190.000

### Diagrama de flujo de la metodología empleada



## 04. POBLACIONES SIN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POR RED

### Generalidades

A veces, un agua puede no ser segura, a pesar de tener aspecto cristalino, sabor y olor correctos. La realidad es que muchos pozos privados de ciertas regiones de Argentina tienen agua con alto contenido de arsénico.

Aún cuando se disponga de 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 las privadas:

- El agua provista por el municipio es monitoreada para controlar su calidad por las autoridades municipales correspondientes y deberá ser tratada antes de su distribución y consumo. El agua provista por el operador de la red (a cargo del Estado 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 la calidad del agua extraída, no sólo cuando se instala el pozo de agua sino periódicamente.

### Control básico de la calidad del agua

Existen 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 son imprescindibles realizar.

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.

El INTI brinda asesoramiento y realiza los siguientes análisis:

- **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:** la determinación de arsénico en el agua debe realizarse al menos una vez al año, con mayor razón si se sabe que en la región hay aguas con alto contenido de arsénico.
- **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 actividad agrícola.
- **Nitratos:** si en la región se emplean fertilizantes o no se realiza tratamiento de los efluentes cloacales, y hay pozos sépticos 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 que esté 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 su lugar de aplicación, dependen fundamentalmente del resultado del análisis del agua.

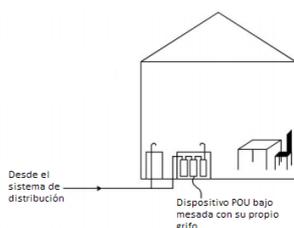
Puede ocurrir que para aplicar una tecnología que permite reducir un contaminante, por ejemplo nitrato, sea conveniente realizar previamente otro proceso, como por ejemplo disminuir la dureza del agua empleando un ablandador.

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. Muchas veces este tipo de sistemas se consideran como un pre-filtro.

■ **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 pileta de la cocina. Otras unidades de tratamiento incluyen el dispositivo de acondicionamiento de agua. Este tipo es el más usado en domicilios particulares.

Típica instalación POU



Típica instalación POE



---

## ● 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, siendo esta responsabilidad individual de cada uno de los usuarios. Además, se deben realizar periódicamente los análisis para controlar la calidad del agua, de manera de asegurar su correcto funcionamiento, siendo factible que el sistema deba ser ajustado de acuerdo con su desempeño. Los ensayos de seguimiento deben ser realizados con mayor frecuencia durante el primer año de funcionamiento y siempre después de que se haya realizado algún ajuste.

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

## 05. MODELO DE INTERVENCIÓN

### Dispositivos domiciliarios o destinados a 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 de agua serán analizadas para determinar su composición. Los parámetros fisicoquímicos determinados, además del arsénico, serán aquellos que resulten de interés para el diseño del sistema de tratamiento.

#### Parámetros básicos a determinar:

- Conductividad (20 °C)
- Sodio (Na<sup>+</sup>)
- Residuo conductimétrico
- Potasio (K<sup>+</sup>)
- pH
- Flúor (F<sup>-</sup>)
- Alcalinidad
- Nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)
- Cloruro (Cl<sup>-</sup>)
- Dureza total
- Sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)
- Calcio (Ca<sup>2+</sup>)
- Arsénico (As)
- Magnesio (Mg<sup>2+</sup>)

#### 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, tanto para la búsqueda de pozos de captación de la misma napa usada como fuente primaria pero con menor contenido de arsénico, como para los 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 o resinas de intercambio iónico.

La elección del diseño y el tipo de dispositivo que deberá instalarse dependerá de las características y la cantidad del agua a tratar.

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.

El INTI puede evaluar la posibilidad de aplicar un dispositivo rural al caso en estudio, diseñado por INTI para la remoción de arsénico mediante el empleo de la tecnología de coagulación-filtración.

El INTI también podría presentar la propuesta para la selección de otros dispositivos comerciales, después de haber realizado la evaluación técnico-económica correspondiente.

Una vez instalado el dispositivo seleccionado, el propietario deberá analizar periódicamente el agua obtenida para asegurarse que el arsénico está siendo removido.

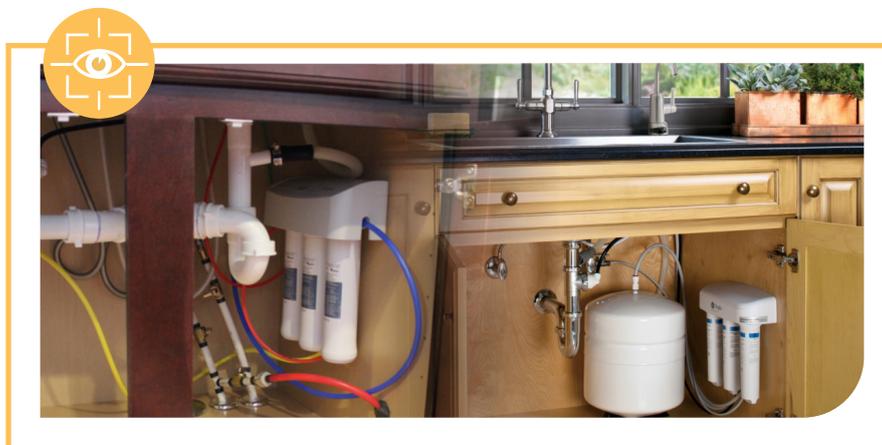
## Ósmosis inversa

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



*Dispositivos domiciliarios de ósmosis inversa*

Los principios del tratamiento empleando ósmosis inversa en los dispositivos domiciliarios son los mismos que para plantas de tratamiento.



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

## Destilación

En este sistema el agua se calienta hasta su punto de ebullición y luego el vapor de agua es colectado como su condensado, dejando atrás muchos de sus contaminantes, 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.



*Destilador domiciliario comercial de los Estados Unidos*

## Adsorción e intercambio iónico

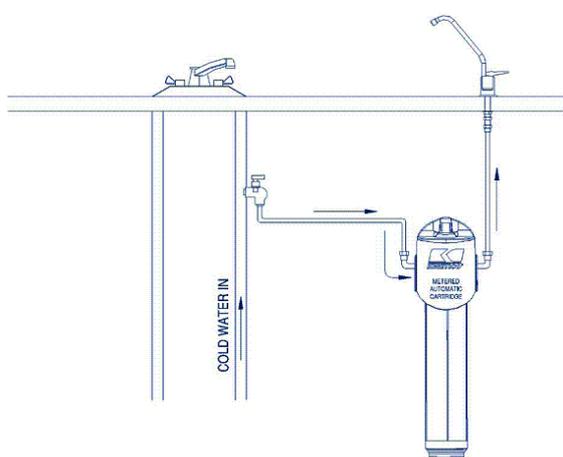
Los adsorbentes más usados son alúmina activada y adsorbentes con base hierro. Las ventajas de estos dispositivos son: simple operación, poco mantenimiento, menor costo que otras tecnologías, dependiendo de frecuencia de cambio del cartucho adsorbente. Algunos equipos comerciales cuentan con

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.

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.

Esquema dispositivo con columna de adsorción



Fuente: USEPA

### Cuadro comparativo de las distintas tecnologías

Tecnologías	Ventajas	Desventajas
Coagulación/ Filtración	Operación simple	Se necesita personal entrenado
	Hasta 90% de remoción de As (V)	Disposición final del residuo
	Bajos costos de operación y de capital	
Adsorción (alúmina activada, óxidos e hidróxidos de hierro)	No se necesitan productos químicos	Pérdida de adsorción en la regeneración
	Alta remoción de As (V) aun con alta concentración de SDT	Ajuste de pH
	Operación simple	Ensuciamiento con sólidos suspendidos

Tecnologías	Ventajas	Desventajas
Intercambio iónico	No se requiere ajuste de pH	SDT y precipitados de hierro tapan el medio
	Tecnología apropiada para sistemas con SDT < 500 mg/l	Disposición final del residuo
	Buena remoción de nitratos	Alto costo de inversión y de operación
Ósmosis inversa/ Nanofiltración	Pueden llegar a remoción > 95%	Alto consumo de electricidad
	Efectivo si se desean remover otros compuestos y SDT	Disposición final del rechazo
	Equipamiento compacto	Requiere pretratamiento
Electrodiálisis	Puede alcanzar una remoción > 80%	No competitivo en costo con la ósmosis inversa y la nanofiltración
		Mayor inversión de capital y cuidado en pretratamiento
Destilación	Equipo automatizado y fácil de usar	Consume energía eléctrica. (Se están desarrollando equipos solares)
	No requiere mantenimiento complejo	No se emplea para el tratamiento de grandes volúmenes de agua
	Menos costoso que un sistema de ósmosis inversa	

*Elaboración propia en base a información de M.C. D'Ambrosio (2005) y del ENOHSA*

## 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 reduce ampliamente las posibles tecnologías a aplicar. 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.

El INTI ha desarrollado un dispositivo que puede funcionar con y sin electricidad. Emplea la tecnología de coagulación/filtración optimizada a una determinada calidad de agua, con una etapa previa de oxidación. Es sencillo de operar y de bajo costo.

El dispositivo emplea la tecnología de coagulación/filtración.

- Capacidad del sistema: 35 litros de agua tratada/batch.
- Tiempo de proceso: alrededor de 90 minutos.
- Modo de operación:
  - Alimentar el equipo con el agua a tratar.
  - Agregar los reactivos necesarios.
  - Agitar mecánicamente durante un minuto.
  - Dejar en reposo durante una hora.
  - Filtrar por gravedad para obtener agua segura para consumo humano.

#### **Ventajas del sistema:**

- Es sencillo de operar.
- No necesita energía eléctrica.
- El principio de funcionamiento está aprobado por los organismos de control.
- Aplicado al agua subterránea de las distintas localidades, el dispositivo permite obtener agua tratada con niveles de arsénico por debajo de 0,010 mg/L (10 ppb).
- Asegura un nivel bacteriológico del agua tratada apto para consumo.
- Requiere baja inversión.
- Mantenimiento simple y de bajo costo.

#### **Desventajas del sistema:**

- Su eficiencia depende de las características físico-químicas del agua a tratar.
- Genera un residuo que es necesario disponer.

Al igual que con todos los dispositivos domiciliarios es necesario realizar controles periódicos al agua producto para evaluar que la eficiencia y el modo de operación del sistema son correctos.

El INTI brinda la capacitación y asistencia necesaria para su correcta operación, y el monitoreo periódico de la calidad de agua obtenida.



*Prototipo del dispositivo rural para el abatimiento de arsénico realizado en INTI Química.*

---

## Evaluación económica

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

Entre los costos operativos se consideran:

- Costo de productos químicos: oxidantes, coagulantes y/o coadyuvantes, antiincrustantes, reactivos para ajuste de pH y regenerantes.
- Costo de reemplazo de medios filtrantes como: membranas de ósmosis inversa, resinas de intercambio iónico y otros consumibles.
- Costo de energía.
- Costo de mano de obra.
- Costo de agua: es importante sobre todo en aquellos procesos como la ósmosis inversa donde se pierde entre un 25 y 30% del agua de alimentación.
- Costo de operaciones de lavado y limpiezas eventuales.
- Costo de tratamiento de efluentes y disposición final.

## Presentación de la propuesta

El INTI propondrá la tecnología más adecuada para resolver el caso problema, teniendo en consideración los siguientes parámetros:

- Características del agua a tratar.
- Caudales o volúmenes de agua a producir.
- 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 se emplee, siempre es imprescindible mantener el sistema operando en la forma apropiada.

En 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.

También debe ser considerado el servicio posventa que brinde, puesto que deberá aceptar la responsabilidad para realizar pequeños ajustes luego de la instalación.

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

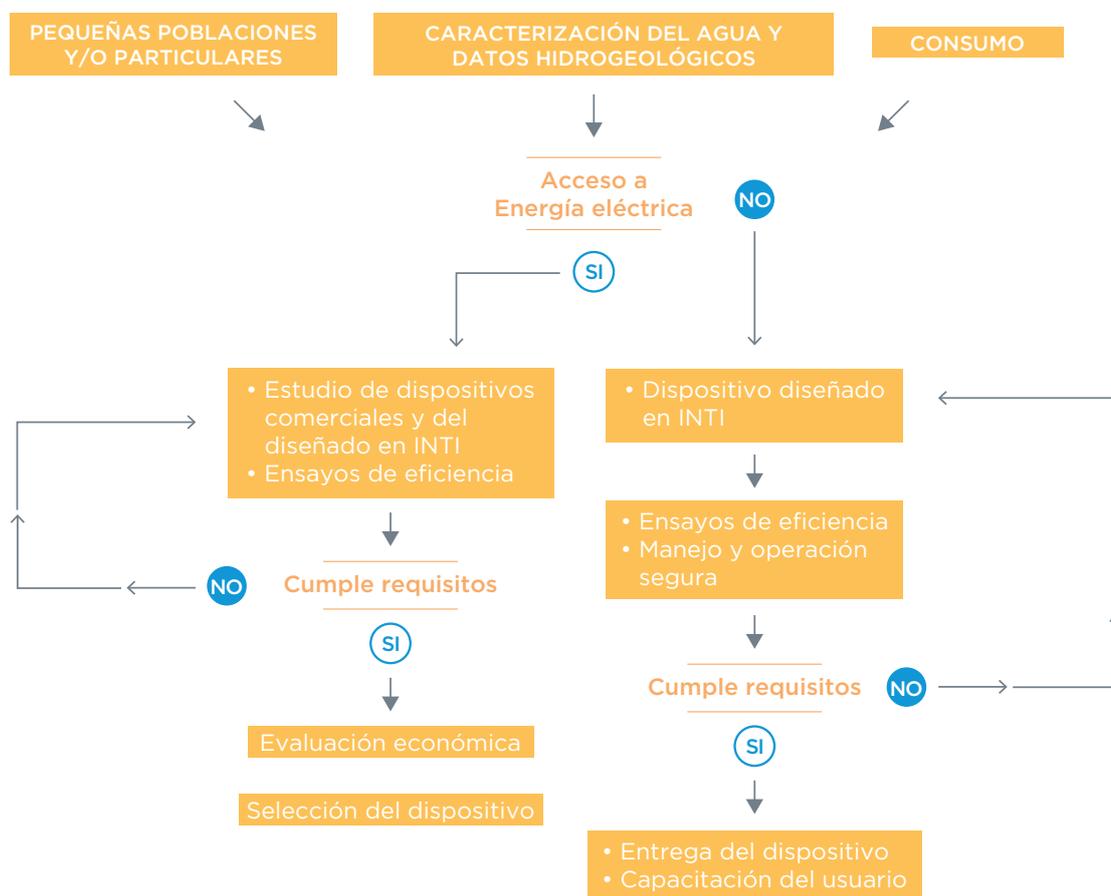
El sistema está diseñado para tratar una cantidad y calidad de agua en un determinado tiempo. Si se lo opera tratando más cantidad de agua que la indicada o con diferentes características, puede llevar a que funcione en forma deficiente. Se debe recordar siempre que los sistemas están diseñados en forma selectiva para resolver el caso estudiado.

Es necesario medir regularmente la cantidad de agua obtenida y sus parámetros de calidad, para asegurarse 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 consciente de su responsabilidad, por lo cual siempre debe cumplir con las buenas prácticas de operación de los sistemas, de acuerdo con lo estipulado por el fabricante, así como realizar análisis periódicos del agua para comprobar su calidad.

### Diagrama de flujo de la metodología empleada

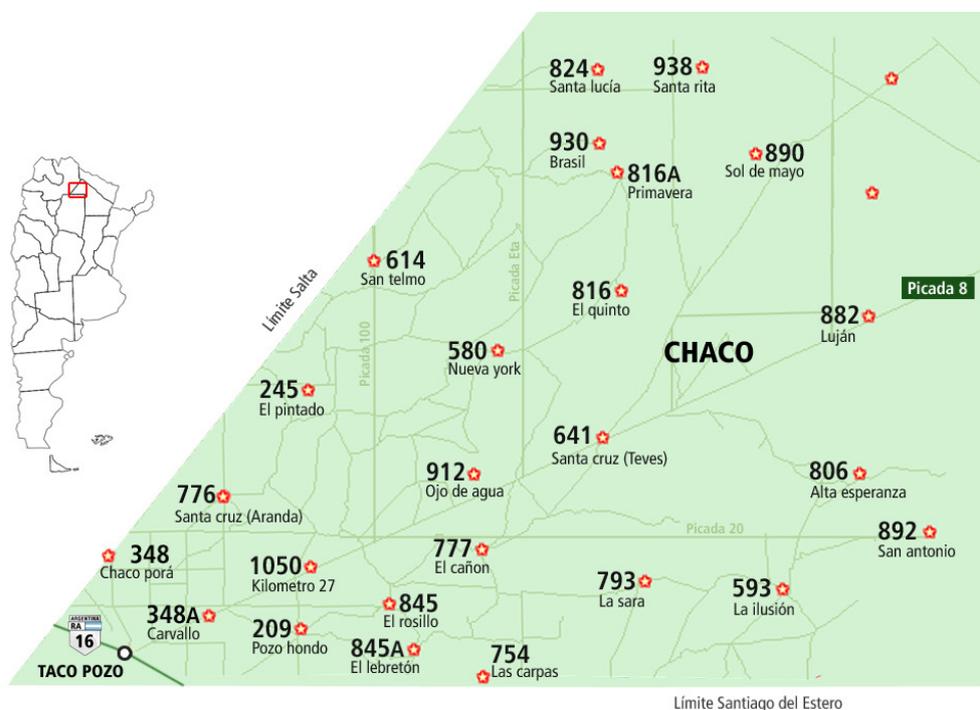


## 06. CASO DE ESTUDIO

### Intervención en Chaco

A partir del requerimiento de padrinos de escuelas rurales que se acercaron buscando solucionar la problemática de arsénico en agua de consumo humano, el Instituto diseñó, instaló, supervisó y monitoreó, desde el 2009 hasta el 2014, dieciocho (18) dispositivos rurales para remover arsénico en las escuelas del impenetrable chaqueño aledaño a la localidad de Taco Pozo, pertenecientes al partido de Almirante Brown, provincia de Chaco.

En el siguiente mapa, se puede observar la ubicación de las escuelas rurales donde fueron instalados los dispositivos:



Mapa de identificación de escuelas rurales correspondientes al partido de Almirante Brown.

En cada escuela, donde se instaló el dispositivo, se tomaron muestras y se analizaron las aguas de consumo humano. La concentración de arsénico sin tratamiento previo estuvo en el rango de 500 a 2000 ppb durante el período 2011-2014.

En aquellas escuelas donde el dispositivo se utilizó correctamente, la concentración de arsénico en el agua tratada fue inferior a 10 ppb.

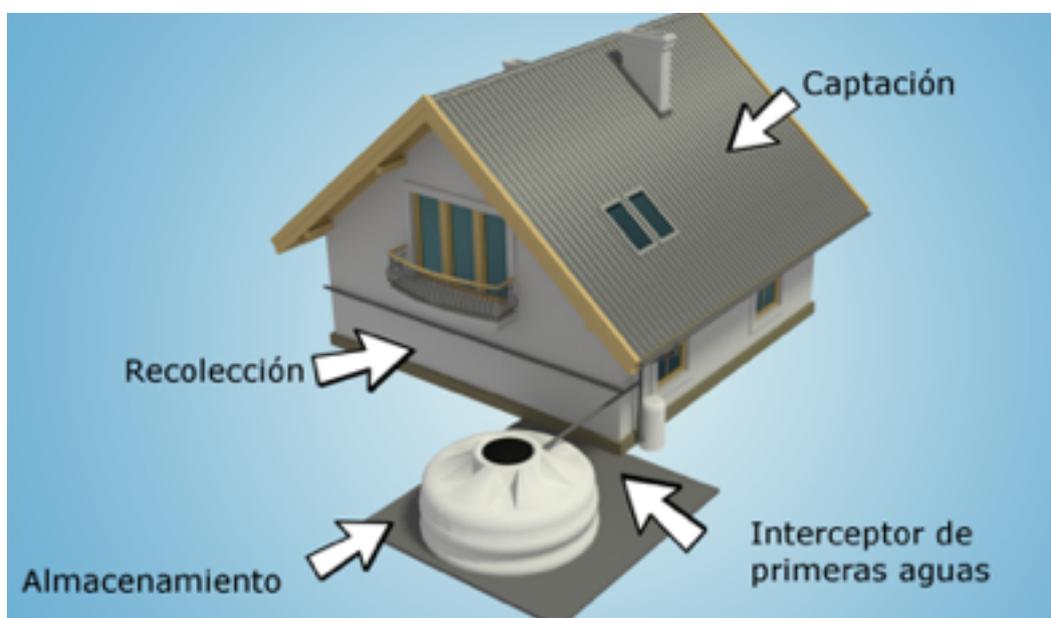
Además, la intervención contempló las capacitaciones individuales a directores y maestros de las escuelas que asumieron la responsabilidad de operar el dispositivo, y capacitaciones destinadas a la concientización de la población en general sobre la importancia de consumir agua apta para consumo humano.

## 07. COSECHA DE AGUA DE LLUVIA

Para las poblaciones rurales dispersas, la captación de agua de lluvia puede ser imprescindible cuando se encuentran en regiones áridas y/o semiáridas con lluvias concentradas durante el año.

La suma de la superficie de los techos de la vivienda, galpones y alguna otra construcción auxiliar pueden abastecer las exigencias mínimas de agua, siempre y cuando los techos de dichas instalaciones cumplan determinados requisitos de impermeabilidad. El sistema está compuesto por los siguientes componentes:

- **Captación:** Superficie destinada a la recolección del agua de lluvia.
- **Recolección:** Conjunto de canaletas situadas en las partes más bajas del área de captación que tienen por objeto recolectar el agua de lluvia y conducirla hacia el interceptor.
- **Interceptor:** Dispositivo dirigido a captar las primeras aguas de lluvia correspondiente al lavado del área de captación y que pueden contener impurezas de diversos orígenes.
- **Almacenamiento:** Depósito destinado a la acumulación, conservación y abastecimiento del agua de lluvia con fines domésticos.



*Elaboración propia en base a información de CEPIS/OPS*

---

La captación de agua de lluvia para consumo humano presenta las siguientes ventajas y desventajas:

### **Ventajas**

- Buena calidad físico-química del agua.
- Sistema independiente, ideal para comunidades dispersas y alejadas.
- Empleo de mano de obra y/o materiales locales.
- No requiere energía para la operación del sistema.
- Fácil de mantener.
- Ahorro de tiempo en la recolección del agua de lluvia.

### **Desventajas**

- La cantidad de agua captada es función de la precipitación de la región y del área de captación.
- Implementación en comunidades de bajos recursos económicos.

## 08. DESINFECCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN PEQUEÑAS COMUNIDADES RURALES

Los sistemas de tratamiento y de potabilización destinados al abastecimiento de agua para consumo humano finalizan con una etapa de desinfección.

El objetivo de la desinfección es asegurar la destrucción o inactivación de los agentes patógenos generadores de enfermedades hídricas.

La desinfección deficiente de los abastecimientos de agua potable es un problema grave que afecta a las poblaciones dispersas y/o marginadas y que se puede resolver con medidas sencillas y de bajo costo.

### Los agentes empleados en estos tipos de abastecimientos son:

- Oxidantes químicos ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{I}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ )
- Radiación ultravioleta (U.V.)
- Iones metálicos (Ag)
- Calor (ebullición)

El agregado de un sistema de desinfección a un determinado proceso de potabilización y abastecimiento de agua potable es función de distintas variables y condiciones inherentes desde el punto de vista técnico-económico, socio-cultural, ambiental y geográfico.

### Las variables más destacadas son:

- Disponibilidad de energía
- Requisitos de instalación
- Operación y mantenimiento
- Seguridad y confiabilidad del equipamiento
- Costo

### Diagramas de situaciones para el abatimiento de arsénico

Los diagramas de árbol presentados en este anexo resumen diferentes situaciones que se encuentran en distintas zonas del país. El objetivo es evaluar las posibles tecnologías a aplicar, teniendo en cuenta el tamaño de la población, la calidad de la fuente de agua y los usos a los que se destinará dicha agua.

Los diagramas se dividen según el tamaño de la población a abastecer en:

- **Poblaciones muy pequeñas:** menores a 500 habitantes. (Véase: Diagrama N° 1).
- **Poblaciones pequeñas:** entre 501 y 3.300 habitantes. (Véase: Diagrama N° 2).
- **Poblaciones medianas:** entre 3.301 y 10.000 habitantes. (Véase: Diagrama N° 3).
- **Poblaciones grandes:** entre 10.001 y 100.000 habitantes. (Véase: Diagrama N° 4).

Una vez clasificada la población por su tamaño se analizará la calidad del agua. En caso en que los parámetros físico-químicos cumplan con los límites establecidos para agua potable sólo se requiere realizar una desinfección, generalmente por cloración. Si la calidad de agua no cumple con los requerimientos para agua potable debido a la presencia de contaminantes se plantean dos alternativas: que el contaminante sea sólo arsénico o que además de arsénico tenga presente otros contaminantes. Se analizan los casos más habituales: presencia de arsénico y nitratos, arsénico y fluoruros, arsénico, y más de dos contaminantes y/o salinidad.

Para cada una de las posibles calidades de agua se evalúan los usos, considerando agua potable para todos los usos o agua potable sólo para bebida. Con esta diferenciación y con el tamaño de la población se estiman los consumos que luego se utilizan para definir las capacidades de planta.

Para cada uno de los casos se plantean las posibles tecnologías a utilizar (considerando que el uso de la fuente no es un factor limitante y que presentan eficiencias comparables) con una estimación de los costos de inversión, considerando los equipos, la instalación y la ingeniería. Se debe tener en cuenta que estos costos son preliminares y a nivel orientativo, para calcular un valor más preciso debe conocerse con mayor detalle la calidad del agua y definir ciertos parámetros básicos de diseño que permitan dimensionar los equipos.

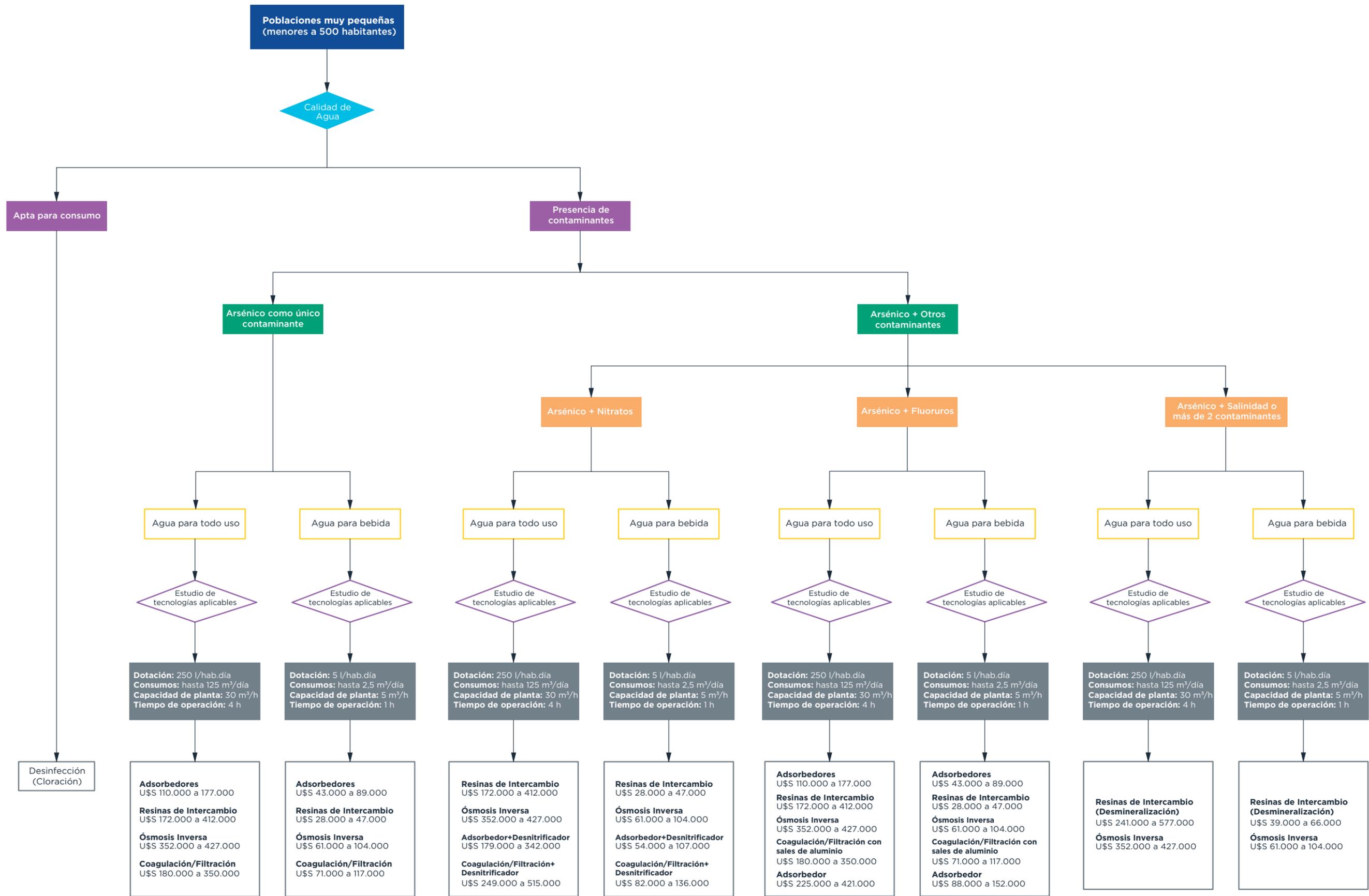
Los costos de inversión varían dentro de cada tecnología de acuerdo con los distintos materiales empleados y al grado de automatización, lo cual se refleja en los rangos de los costos del diagrama que parecieran ser muy amplios.

---

Los valores fueron estimados a partir de modelos de costos de la EPA (estos incluyen: excavaciones y trabajo de campo, obras civiles, equipamiento, mano de obra, válvulas, cañerías, sistemas eléctricos y contingencias) y de datos de plantas existentes.

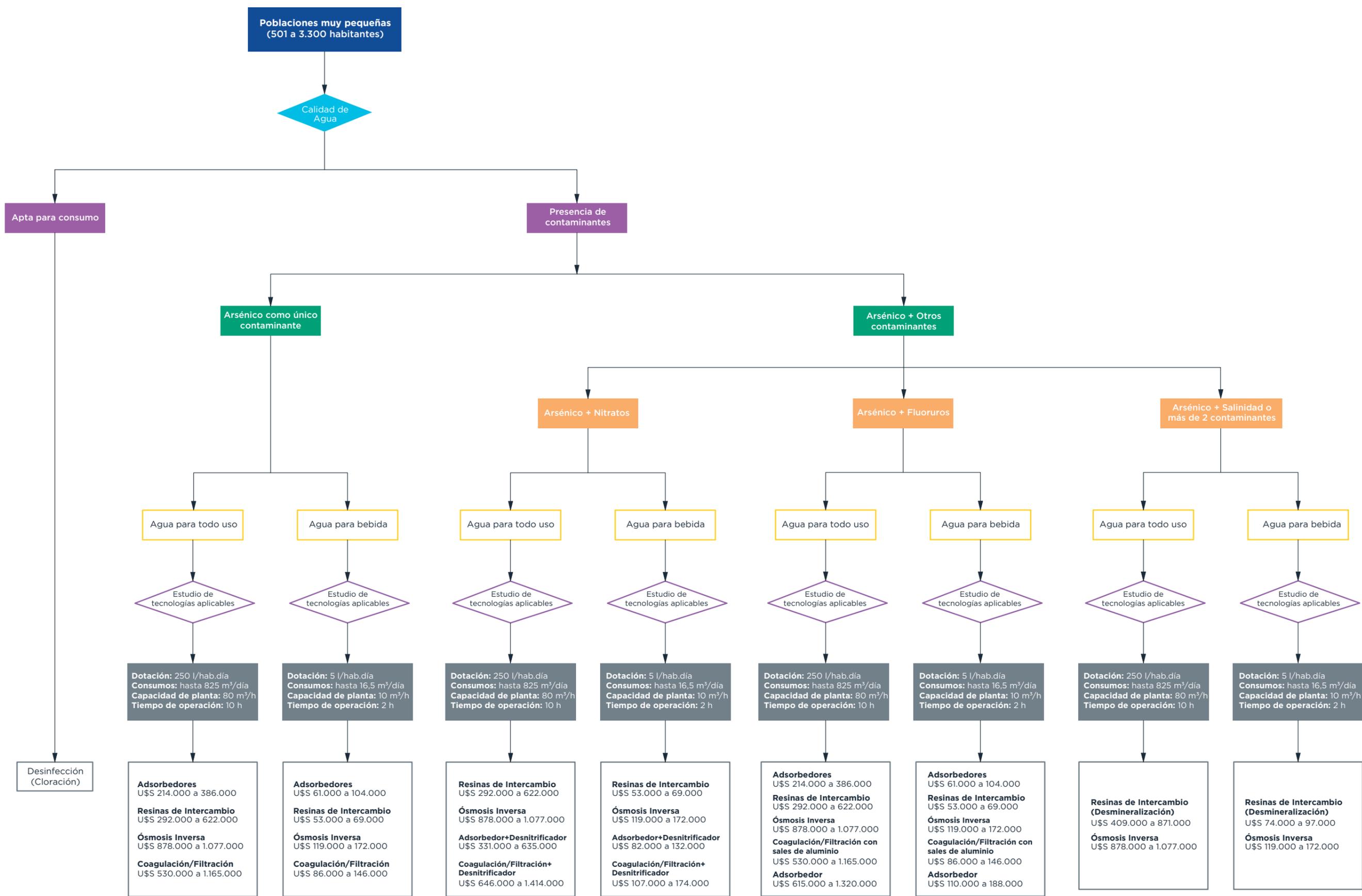
Las tecnologías propuestas en cada uno de los casos poseen además de las consideraciones hechas en el diagrama de árbol, otras que puedan utilizarse de manera efectiva para la eliminación de los contaminantes presentes, dado que, el pH, la dureza, la presencia de ciertas sales, los sólidos disueltos o en suspensión, así como también, el nivel y la concentración relativa de los propios contaminantes afectan el adecuado funcionamiento de los equipos. Por estas razones, las tecnologías preseleccionadas para los casos generales planteados en el diagrama de árbol pueden llegar a ser inadecuadas, teniéndose entonces que realizar el estudio de selección de tecnologías para cada caso en particular.

**Diagrama N° 1**  
Tecnologías aplicables para el abatimiento de arsénico según calidad de la fuente de agua y tamaño de la población.



\*Los consumos, capacidades de planta y tiempos de operación están especificados considerando una población de 500 habitantes.  
\*Se considera que las tecnologías preseleccionadas permitirían reducir las concentraciones de los contaminantes por debajo de los límites reglamentados para agua potable.

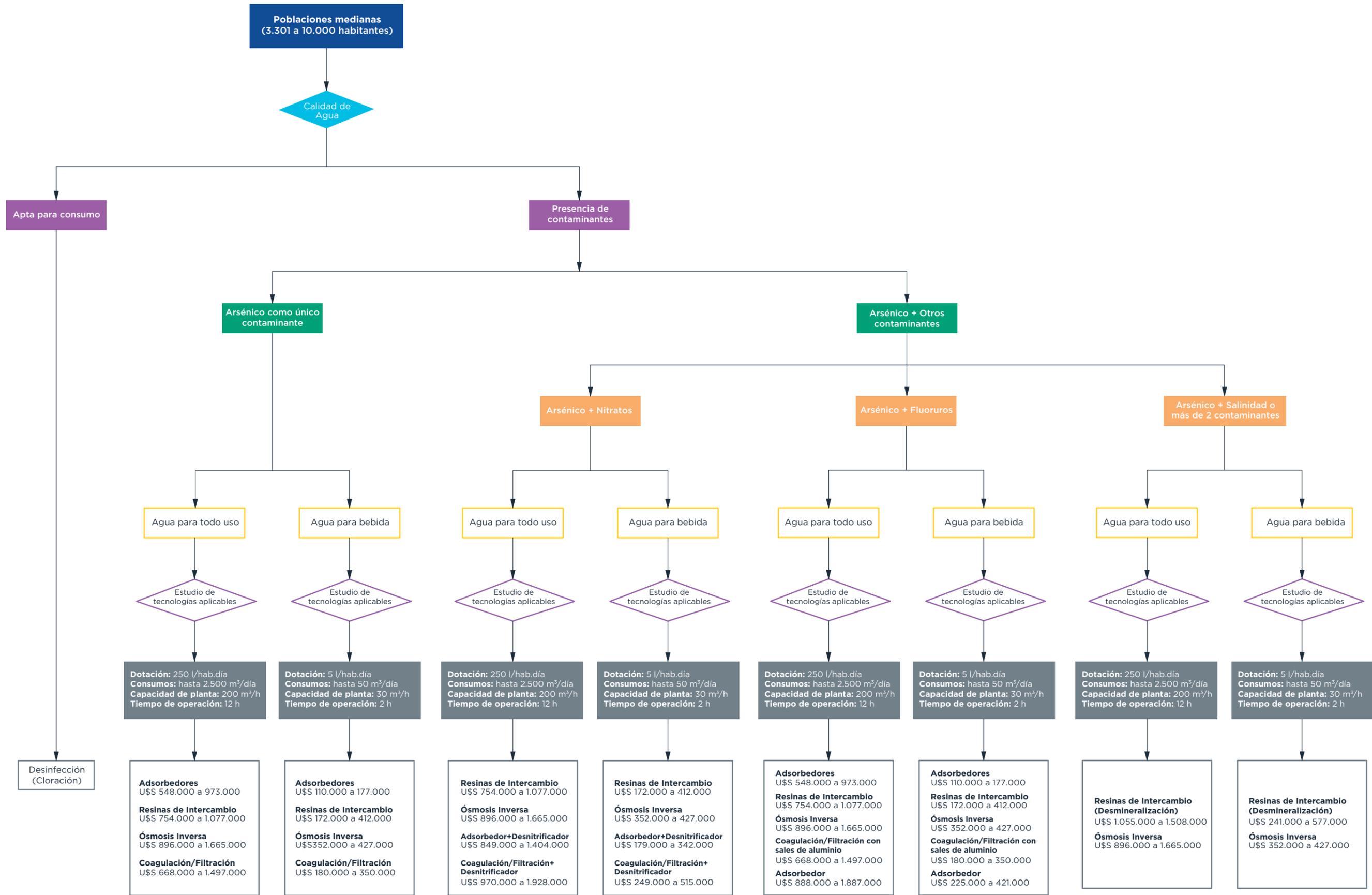
**Diagrama N° 2**  
Tecnologías aplicables para el abatimiento de arsénico según calidad de la fuente de agua y tamaño de la población.



\*Los consumos, capacidades de planta y tiempos de operación están especificados considerando una población de 3.300 habitantes.

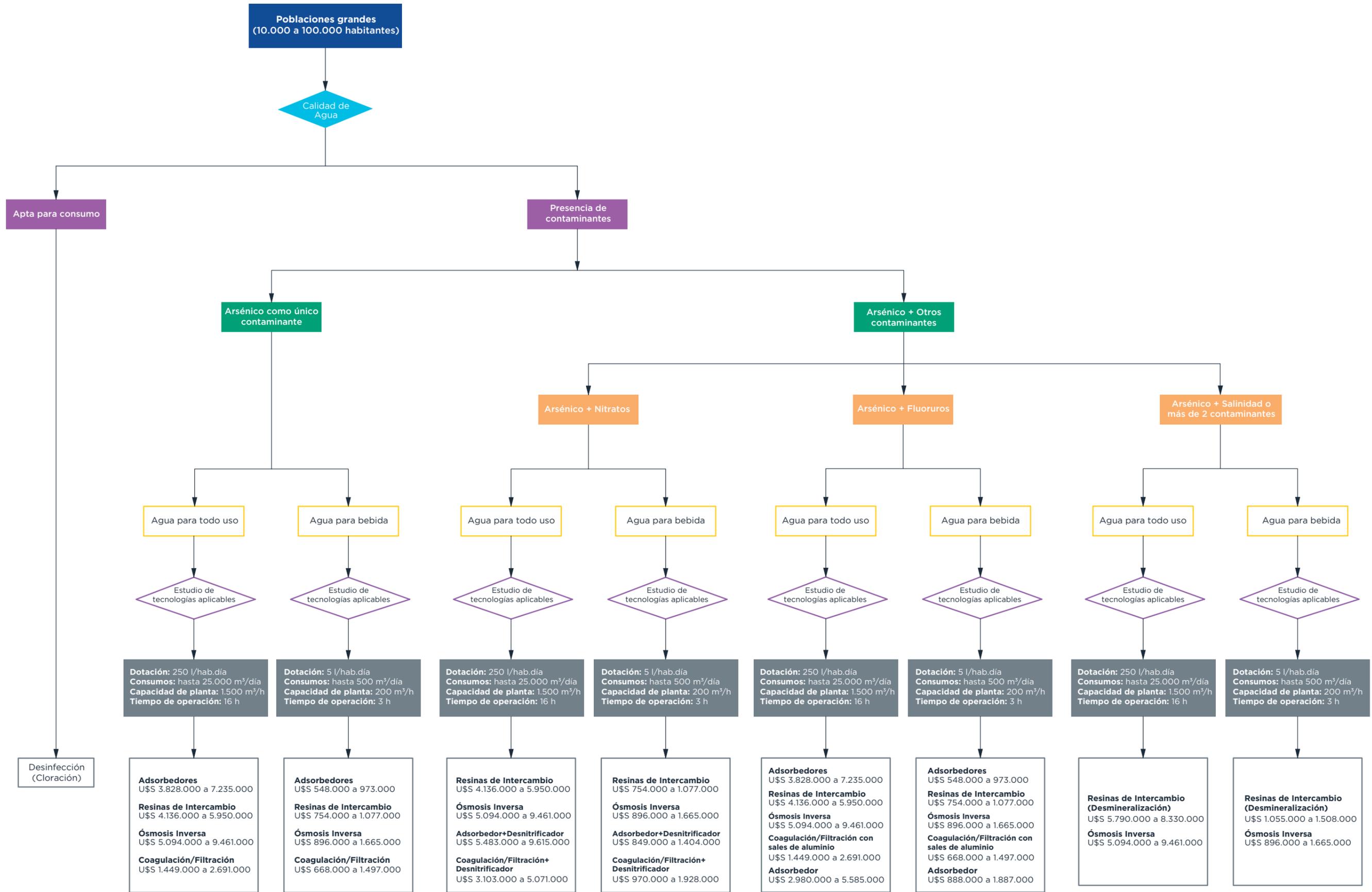
\*Se considera que las tecnologías preseleccionadas permitirían reducir las concentraciones de los contaminantes por debajo de los límites reglamentados para agua potable.

**Diagrama N° 3**  
Tecnologías aplicables para el abatimiento de arsénico según calidad de la fuente de agua y tamaño de la población.



\*Los consumos, capacidades de planta y tiempos de operación están especificados considerando una población de 10.000 habitantes.  
\*Se considera que las tecnologías preseleccionadas permitirían reducir las concentraciones de los contaminantes por debajo de los límites reglamentados para agua potable.

**Diagrama N° 4**  
Tecnologías aplicables para el abatimiento de arsénico según calidad de la fuente de agua y tamaño de la población.



\*Los consumos, capacidades de planta y tiempos de operación están especificados considerando una población de 100.000 habitantes.  
\*Se considera que las tecnologías preseleccionadas permitirían reducir las concentraciones de los contaminantes por debajo de los límites reglamentados para agua potable.

## GLOSARIO

- **Agua potable:** Se define como agua potable al cumplimiento con determinadas normas de calidad, por ejemplo Código Alimentario Argentino.
- **Agua segura:** el concepto del acceso a agua segura implica el aseguramiento en los aspectos de calidad, cantidad, cobertura y continuidad del servicio de agua.
- **As:** Símbolo químico del arsénico.
- **CAA:** Código Alimentario Argentino.
- **Dotación:** cantidad de agua promedio consumida por día por cada habitante.
- **ENOHSA:** Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento.
- **EPA:** Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU.
- **HACRE:** Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico.
- **IARC:** Agencia Internacional para el Investigación en Cáncer.
- **INTI:** Instituto Nacional de Tecnología Industrial.
- **OMS:** Organización Mundial de la Salud.
- **ONG:** Organización No Gubernamental.
- **POE:** Sistema de Punto de Entrada.
- **POU:** Sistema de Punto de Uso.
- **ppb:** partes por billón, es una unidad de medida con la que se mide la concentración ( $\mu\text{g/l}$ ).
- **SAGyP:** Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.
- **SDT:** Sólidos disueltos totales.
- **SPRel:** Secretaría de Políticas, Regulación e Institutos.

## BIBLIOGRAFÍA

- **“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.
- **“Apunte UTN-FRBB”, capítulo 4: Estudios para un proyecto de abastecimiento de agua, basado en estudio preliminares para el diseño de obras de ENOHSA”**.
- **“Arsenic in private well water part 1 of 3: Impact of the New Jersey Private Well Testing Act on household testing and mitigation behavior”**, Flanagan, S., Spayd, S., Procopio, N., Chillrud, S., Science of Total Environment 562, 999-1009, 2016
- **“Arsenic Treatment Technology Evaluation Handbook for Small Systems”**, Publicación EPA (2003).
- **“Bebidas hídricas, agua y agua gasificada”** Capítulo XII, Código Alimentario Argentino, [www.anmat.gov.ar](http://www.anmat.gov.ar)
- **“Captación de agua de lluvia para consumo humano”**, Hojas de Divulgación Técnica, HDT: N° 88. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias de Ambiente (CEPIS/OPS).
- **“Drinking Water Problems: Arsenic. Agrilife Extension”**. Bruce Lesikar, Michael Hare, Janie Hopkins, Montie Dozier. (11-05), 2003.
- **“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).
- **“Epidemiología del hidroarsenicismo crónico regional endémico en la República Argentina”**, estudio colaborativo multicentro. Ministerio de Salud de la Nación, Asociación Toxicológica Argentina, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 2006.
- **“Evaluación y Selección de Tecnologías Disponibles para Remoción de Arsénico”**. [www.produccionbovina.com](http://www.produccionbovina.com). María Cristina D´Ambrosio. (2005).
- **“Heavy Metals in Soils”**. Blackie Academic & Professional. Edited by B.J. Alloway. 2° Ed. (1995).

- **“Hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE) Módulo de capacitación para atención primaria”**, García, Susana Isabel, Ministerio de Salud de la Nación, Programa Nacional de Prevención y control de las intoxicaciones (PRECOTOX), 1a edición, Buenos Aires, (2011).
- **“Memorias, Tomo II – Agua Potable y Alcantarillado”**, XXV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, AIDIS, Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. (1996)
- **“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](http://www.sertox.com.ar)
- **“Normas de Estudio, Fundamentaciones, Criterios de Diseño y Presentación de Proyectos”** Documentos Editados por el Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento [www.enohsa.gov.ar](http://www.enohsa.gov.ar) (2000).
- **“Plan director de agua potable y saneamiento cloacal”**, Municipalidad de Lobos-Universidad Nacional La Plata (1998).
- **“Potabilización del Agua”**, Ed. 3 Jairo Alberto Romero Rojas, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- **“Technologies and Cost for Removal of Arsenic from Drinking Water”**, Publicación EPA (2000).
- **“Technologies and costs for removal of arsenic from drinking water”**. Environmental Protection Agency. EPA (2000).
- **“The Enigma of Arsenic Carcinogenesis: Role of Metabolism”**. Peter Goering, Vasken Aposhian, Marc Mass, Mariano Cebrian, Barnara Beck, Michael Waalkes. *Toxicological Science* 49. (1999).
- **“Toxic Substance Portal, Agency for Toxic Substances and Disease Register, (ASTDR), ToxFacts para arsénico”**, [www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_toxfacts2.htm](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_toxfacts2.htm) (último acceso febrero 2017).
- **“Understanstanding the translation of scientific knowledge about arsenic risk esposure among private weel water users in Nova Scotia”**, Chappells, H, Campbell, N. , Drage, J., Fernandez, C., Parker, L. y Dummer, T., *Science of total Environment*, Vol. 505, 1259-1273, 2015.
- **“Water Treatment Handbook”**, Degremont, Ed. 6, Vol. 1 y 2.

- 
- **Marshall & Swift Index** (Indices de Marshall y Swift). Cost Approach valuation solutions. <https://www.corelogic.com/solutions/marshall-swift.aspx>.
  - **Chemical Engineering Plant Cost Index** (CEPCI) <http://www.chemengonline.com/pci-home>
  - **Instituto Nacional de Estadística y Censos** (INDEC) <https://www.indec.gob.ar/>
  - **Oficina de Estadísticas Laborales** (BLS) <https://data.bls.gov/timeseries/CUSR0000SA0>.



**INTI**



Ministerio de  
Desarrollo Productivo  
Argentina

**Desarrollo Tecnológico e Innovación**  
Industrias y Servicios

**Teléfono** (54 11) 4724 6200

**Interno** 6198/7039/6289

**quimica\_as@inti.gob.ar**

**CONTAMOS CON UNA  
RED FEDERAL DE  
LABORATORIOS Y PERSONAL  
ALTAMENTE CALIFICADO  
PARA BRINDAR SERVICIOS  
INDUSTRIALES COMPETITIVOS  
Y SOLUCIONES INNOVADORAS  
EN TODO EL TERRITORIO.**

ISBN 978-950-532-437-8



9 789505 324378

**0800 444 4004**

**consultas@inti.gob.ar**

**www.inti.gob.ar**

 INTIArg

 @INTIargentina

 INTI

 @intiargentina

 canalinti