



Ministerio de  
Planificación Federal  
Inversión Pública y Servicios



MINISTERIO de  
SALUD y  
AMBIENTE  
de la NACIÓN

# LA PROBLEMÁTICA DEL ARSÉNICO EN AGUAS SUBTERRANEAS

*Proyecto UNESCO sobre*

## PREVENCIÓN DEL HIDROARSENICISMO

CRÓNICO REGIONAL ENDÉMICO A TRAVES  
DEL CONTROL DEL CONTENIDO DE  
ARSENICO EN EL AGUA DE BEBIDA



ROTARY CLUB DE BUENOS AIRES

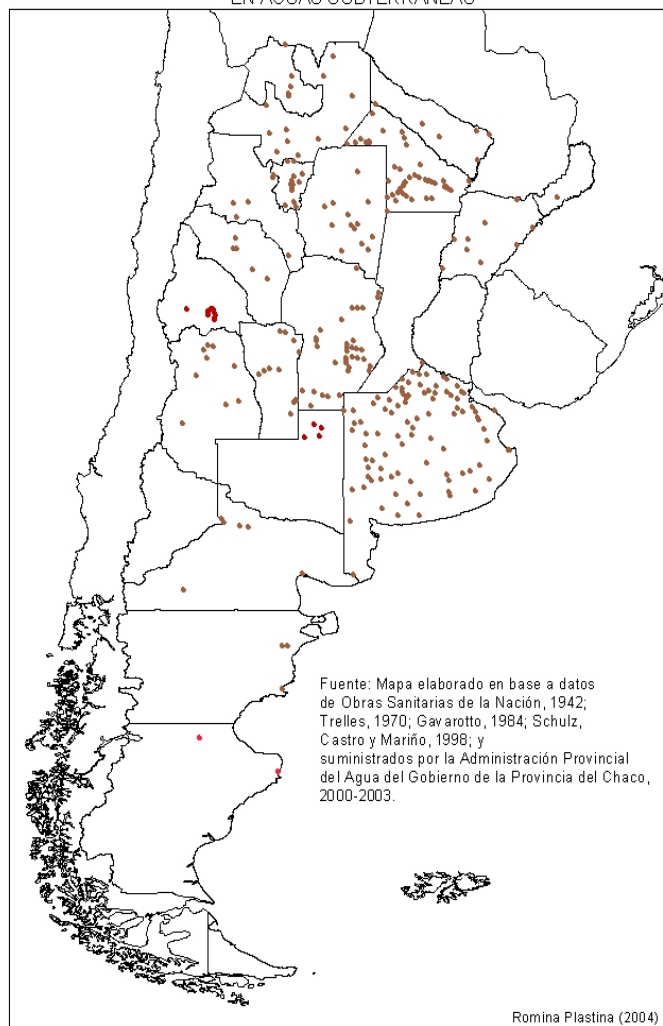
***Aguas subterráneas con altos contenidos de arsénico***

Importantes regiones de nuestro país están restringidas en su desarrollo socioeconómico por las limitaciones de cantidad y calidad que ofrecen sus recursos hídricos. A los problemas relacionados con altas salinidades y durezas del agua subterránea se suman los efectos perjudiciales provocados por concentraciones elevadas en aquélla de ciertos elementos como arsénico y flúor, entre otros, situación que la torna inadecuada para el consumo humano, para el abrevamiento del ganado y para su utilización en riego. Los problemas de calidad mencionados adquieren gran relevancia en áreas rurales donde la mayor parte de la población sólo dispone de pozos de balde o molinos que toman agua de niveles someros.

Desde la segunda década del siglo pasado se ha vinculado la ingesta de agua con altos contenidos de arsénico con el desarrollo de una enfermedad endémica llamada HACRE (Hidro Arsenicismo Crónico Regional Endémico), la cual tiene diversas manifestaciones.

Las investigaciones geoquímicas han posibilitado importantes avances en el conocimiento de la ocurrencia de arsénico, su distribución, su evaluación y la determinación de sus orígenes. El mapa expuesto a continuación, que todavía está en elaboración, exhibe información relevada sobre contenidos de arsénico altos en aguas subterráneas de la República Argentina.

Departamento de Salud Ambiental,  
Ministerio de Salud y Acción Social de la Nación  
LOCALIZACION DE MUESTRAS DE ALTA PROPORCION DE ARSENICO (>0,04 mg/l)  
EN AGUAS SUBTERRANEAS



Los relevamientos antedichos han precisado la existencia de acuíferos con contenidos de arsénico superiores a 50 µg/l, límite establecido para agua de bebida humana por el Código Alimentario Argentino, llegando a ser esta superación en determinadas situaciones sumamente grande. Así, pueden mencionarse situaciones en el norte de la provincia de La Pampa, con más de 5000 µg/l, el sudeste de la provincia de Córdoba, con más de 3000 µg/l, la llanura oriental de la Provincia de Tucumán, con más de 1600 µg/l, y otras áreas con valores altos en las provincias de Santiago del Estero, Chaco, Salta, Santa Fe y Buenos Aires.

Alrededor de 1 millón de kilómetros cuadrados de la Llanura Chaco-Pampeana pueden albergar áreas con contenidos de arsénico potencialmente elevados. El origen de la alta ocurrencia de arsénico se encuentra en los sedimentos que constituyen el sustrato de los suelos de la llanura, los que contienen una proporción importante de vidrios de origen volcánico que fueron transportados por los vientos hasta la llanura, siendo tales materiales los responsables del aporte al agua subterránea de arsénico y otros elementos tales como selenio, vanadio, uranio, boro y molibdeno. El mecanismo de concentración del arsénico en las aguas subterráneas está restringido por fenómenos de adsorción sobre la superficie de óxidos y oxihidróxidos de hierro, aluminio y manganeso presentes en los sedimentos, pero con altos valores de pH, las aguas someras producen la desorción del arsénico y su consiguiente concentración en las aguas.

### ***Repercusión en la salud humana***

La acción del arsénico introducido en el organismo en muy pequeñas cantidades durante años alcanza a todos los sistemas y aparatos, principalmente a la piel. Numerosos estudios en humanos y animales han correlacionado la ingestión prolongada de arsénico y el daño tegumentario y visceral. La afectación cutánea posee en su presentación tres períodos con signos clínicos progresivos:

1) Hiperhidrosis: las palmas y plantas de pies presentan sudoración, asociada a prurito, tonalidad rojiza y disestesias.

2) Hiperqueratosis: luego de un variable período de tiempo, en general después de 4 años, descripta por Wilson en 1868. Biagini señala su presentación en forma difusa o en forma localizada con subvariedades verrugosa, excavada u punctata. Las lesiones se distribuyen simétricamente afectando las palmas y plantas pudiendo en ocasiones tomar el dorso de manos y con menos frecuencia el de los pies, con posibilidad de extenderse a otras zonas de la piel.



**FOTO 1: HIPERQUERATOSIS PALMAR, LESION TEMPRANA DEL HACE**

Clínicamente pueden manifestar asimismo aspecto leucoplásico, premaligno y maligno local (cáncer *in situ*) para llegar al cáncer cutáneo.

3) Melanodermia, que se dispone en “gotas de lluvia” o sembrado de leucodermias lenticulares. Su color varía entre gris pizarra y negro, localizado en cuello, avanzando a horquilla esternal, fosas supraclaviculares, bordes y hueco de axilas; los brazos, antebrazos, y el tronco están invadidos por la melanodermia. En abdomen, en parte baja y flancos, extendiéndose a regiones inguinocrurales y muslos. Respeta cara y mucosas.

En 1943, Zettel reconoce el efecto nocivo del HACRE sobre el aparato cardiovascular, registrando alteraciones electrocardiográficas en soldados que habían ingerido aguas de consumo, con desaparición de dichas alteraciones al cesar la exposición. Borgoño y colaboradores refieren disturbios vasculares periféricos en Antofagasta, Chile, con acrocianosis y enfermedad de Raynaud en el HACRE, con severidad mayor en niños, en los que se observó dermatosis arsenical asociada al fenómeno de Raynaud en el 19 % de los casos, uno de ellos con gangrena de dedo. En Taiwán, Shu Yeh refiere en 1963, en áreas de hidroarsenicismo, 255 casos con trastornos vasculares periféricos que conducen a gangrena de las extremidades, sobre todo del pie (black foot disease), mostrando las piezas amputadas lesiones compatibles con tromboangitis obliterante en  $\frac{1}{4}$  de los casos y de arterioesclerosis oclusiva en  $\frac{2}{3}$  de los pacientes. Tseng describió cuadros semejantes en áreas con valores de arsénico altos de la costa sudoeste de Taiwán en 1977.

Trastornos hepáticos como consecuencia de la ingestión de arsénico se comprobaron experimentalmente con cirrosis hepática en conejos, esteatosis y necrosis en animales domésticos y en ratas, disminución del consumo del oxígeno por la célula hepática, alteraciones de actividad enzimática y perturbaciones en la síntesis del HEM, sugiriéndose que un aumento del nivel urinario de uroporfirina puede ser signo precoz de la exposición arsenical.

Lesiones renales por hidroarsenicismo se advirtieron experimentalmente en ratas, con alteraciones en organelas celulares de túbulos contorneados proximales; trabajos en conejos mostraron disfunción renal con disminución de la depuración ureica y aumento de la creatinina sérica.

En el sistema nervioso periférico la afectación de tipo polineurítico sensitivo motor ha sido documentada, con disminución de la sensibilidad táctil, térmica y dolorosa y debilidad muscular manifestada en la marcha o al asir objetos, que progresa hacia debilidad muscular en extensores, amiotrofias carpometacárpicas y retracciones tendinosas. En un hecho accidental en Kyoto, Japón, donde a la leche le agregaron compuestos arsenicales pentavalentes, se observó en niños una patología similar polineurítica a la que se asociaron alteraciones electroencefalográficas. Hindmash, en un área de hidroarsenicismo en Canadá con más de 0,1 mg/l en las aguas, halló alteraciones del 50 % de los exámenes electromiográficos de la población residente.

Rosenberg refirió casos de niños de 5 años de edad con fibrosis pulmonar difusa y presencia de lesiones vasculares periféricas en Antofagasta, Chile; asimismo, Borgoño y colaboradores destacan la frecuencia de lesiones broncopulmonares en 180 habitantes de la misma región. En la exposición arsenical ocupacional se citan enfisema, rinofaringitis, y perforaciones del tabique nasal.

En cuanto a procesos hematológicos derivados de la exposición a arsénico, corresponde citar disturbios en la hematopoyesis con cambios megaloblásticos y en

Una de las complicaciones del hidroarsenicismo es el cáncer cutáneo, denominado originalmente cáncer de Jonathan Hutchinson, quien en una comunicación a la Sociedad de Patología de Londres en 1887 presenta 6 enfermos de cáncer cutáneo consecutivos a la ingestión del arsénico como medicamento. A la comunicación antedicha siguen las de Dubreuilh, Besnier, Brocq y Jacquet, Andrews, Désaux y Boiteliur. En 1938, Argüello, Tello y Deza Cenget presentan un trabajo sobre 323 casos de cáncer cutáneo, de los cuales 39 fueron relacionados con el arsénico, afectando prioritariamente áreas de la piel no expuestas a radiaciones. En 1968, Yeh, How y Lin, sobre 40.421 habitantes de la costa sudoeste de Taiwán expuestos a aguas con alto tenor de arsénico, hallaron en el 18,45 % de ellos manifestaciones cutáneas de arsenicismo crónico y entre ellas, 428 casos de cáncer. La prevalencia de cáncer fue de 10,59 %, con incremento neto con la edad: el 10 % de las personas de 60 años se encontraban afectadas con cáncer cutáneo. Es interesante señalar que, nuevamente, estos investigadores hallan que el 71,45 % de los carcinomas cutáneos ocurrieron en áreas cubiertas del cuerpo, siendo además la multiplicidad lesional una característica de la neoplasia arsenical.

El proceso del cáncer de piel, carcinoma epidermoide, empieza con alteraciones madurativas del epitelio: hiperqueratosis, acantosis, vacuolización de queratinocitos, disqueratosis, atrofia del epitelio, hasta llegar a la atipia, manifiesta como hiperplasia atípica de la capa basal. Estos hallazgos surgieron del estudio de varias muestras tomadas al azar en 16 pacientes de Monte Quemado, Santiago del Estero, en 1980.



**FOTO 2: Carcinoma "in situ" no invasor desarrollado sobre lesiones displásicas previas, provocadas por arsénico (Enfermedad de Bowen).**

Estas etapas *in situ* evolucionan progresivamente al carcinoma espinocelular invasor, con rotura de la membrana basal e infiltración del estroma dérmico vascularizado.





**FOTO 3 : Lesión maligna invasora de la piel (Carcinoma epidermoide invasor que superó la etapa previa de carcinoma "in situ".)**

Existen interesantes aportes sobre diferentes tipos y localizaciones de cáncer cutáneo y extracutáneo en el área endémica argentina. El autor del primero, Bergoglio, revisó 2355 certificados de defunción y halló 556 casos de cáncer, los que correspondieron a un porcentaje de 23,84 %, significativamente más alto que la cifra porcentual de 15,2 % calculada para la provincia de Córdoba por edad y sexo de acuerdo a tasas ajustadas por 10.000 habitantes para los años 1959/61, según se expone en Mortalidad en República Argentina, Ministerio de Salud Pública, Información Básica, Serie 200, N° 6, Pág. 27. Un aporte ulterior presenta un estudio prospectivo de 116 pacientes con lesiones dermatológicas de arsenicismo crónico endémico; en este grupo de pacientes, bajo control por 16 años, sobre 78 decesos, 24 correspondieron a cáncer (30, 5 %).

Tello observó que las neoplasias malignas viscerales frecuentemente aparecían posteriormente a una neoplasia cutánea: 1 caso de cáncer de tráquea 13 años después de la neoplasia cutánea, 1 cáncer de esófago 21 años después, 1 cáncer de faringe que sobrevivió 10 años después del cáncer de piel, 7 casos de cáncer broncopulmonar entre 2 y 15 años después de haber padecido el tumor maligno cutáneo. En este trabajo se cita asimismo que de 436 casos de cáncer de piel examinados, 280 se observaron en localizaciones cutáneas cubiertas por la vestimenta, con formas difusas o localizadas que pueden adoptar aspectos verrugoso ó excavado.

Suárez en Córdoba halló leucoplasia ó pre-leucoplasia de la mucosa laríngea en el 60 % de los pacientes afectados por HACRE. Garzón y Tello establecieron que *"en algunos casos, posteriormente a la ingestión de arsénico, se observaron localizaciones de cáncer en diversos órganos sin la presencia previa de cáncer cutáneo"*. Los mismos autores mencionan que ciertos tumores de las mucosas de revestimiento pueden resultar de la ingestión de arsénico. La lista de las neoplasias arsenicales en otros órganos que la piel (estómago, lengua, mucosa oral, mucosa vesical, ureteral, esofágica, brónquica, colónica, etc.) es importante pero usualmente sin confirmación histoquímica; solamente existen raros casos publicados de tumores parenquimatosos en los que se haya identificado arsénico, por ejemplo un caso de hemangioendoteliosarcoma hepático consecutivo a intoxicación arsenical por solución de Fowler.

A.H. Smith y colaboradores, de la Universidad de California, Berkeley, establecen que en los E.E.U.U. existen más de 350.000 personas que consumen agua con un contenido de más de 50 µg/l y más de 2,5 millones con consumo de agua con más de 25 µg/l. Si se considera, de acuerdo a los

hallazgos de Taiwán, la relación entre riesgo de padecer cáncer y la concentración de arsénico inorgánico en las aguas, el riesgo de la población expuesta de morir por cáncer de hígado, pulmón, riñón ó vejiga resulta de 13 por 1000 personas.

El análisis de casuística del área endémica argentina realizado por S. Besuschio y colaboradores sobre la base de diagnósticos anatomopatológicos de cáncer cutáneo y visceral extraídos de los archivos del Registro General de Patología del Ministerio de Salud de la República Argentina, permitió observar que las neoplasias halladas como resultado de la acción del arsénico ocurrieron sobre la edad de 30 años. La más frecuente localización de cáncer fue la piel, con una proporción de 16,4 % para todos los tipos de carcinomas primarios (epidermoides diferenciados, semidiferenciados y poco diferenciados, basocelulares y adenoide-quísticos) excluido el melanoma maligno. Los carcinomas epidermoides, los más frecuentes de los tumores cutáneos manifestados, se localizaron en alta proporción en lugares cubiertos de la piel, superando a los de piel expuesta a las radiaciones. Esto estuvo en contraste con lo observado habitualmente en la población residente en regiones vecinas a las que registran hidroarsenicismo, donde los epitelomas basocelulares son los más frecuentes tumores cutáneos y tienen su localización en la superficie expuesta de la piel. Fue llamativa la cantidad de casos de carcinomas epidermoides en cuero cabelludo (7 casos) y en piel perianal (6 pacientes).

La usualmente alta incidencia de cáncer de la mucosa vesical, uréter y uretra se suma al carácter metaplásico epidermoide de algunos tumores de vejiga y uréter, lo que sugeriría una acción irritativa asociada a la oncogénica de parte del arsénico inorgánico. Asimismo, muestra una menor elevación la localización renal.

La patología neoplásica broncopulmonar es comúnmente subvaluada en la revisión retrospectiva de archivos histológicos previos a los avances de la fibrobroncoscopia y la punción biopsia aspiración con aguja fina. A pesar de ello, existen argumentos recientes sobre la acción del arsénico como carcinógeno respiratorio sobre todo cuando es inhalado en los casos de contaminación industrial.

Neoplasias primarias hepáticas del tipo hemangioendotelioma fueron referidas por Renke y colaboradores en relación con el caso de un hombre de 22 años procedente de Antofagasta, Chile, con lesiones cutáneas asociadas a la ingesta de agua con alta concentración de arsénico durante 12 años.

### ***Respuestas tecnológicas a la problemática del arsénico***

En distintas latitudes de la Argentina se refieren altas concentraciones de arsénico en sus suelos. Sin embargo, no necesariamente las aguas provenientes de captaciones subterráneas en tales zonas tienen que contener concentraciones altas de arsénico. El contenido de arsénico del agua subterránea depende de la forma química de aquél presente en el suelo y de la composición del agua en cuestión. Importa en particular la alcalinidad de la misma y los contenidos de sales de calcio y magnesio. En general las aguas blandas, es decir, pobres en calcio y magnesio, y alcalinas son las que poseen una mayor concentración de arsénico.

Las napas en las que se encuentran las aguas más ricas en arsénico tienen una variación regional. En ciertas zonas predomina el arsénico en las aguas de la primera napa; en otras el predominio se verifica en las más profundas. El contenido de

arsénico en aguas de la primera napa es variable pues esta influido por las lluvias y sequías, siendo por el contrario más constante en las napas profundas.

En las aguas superficiales no se suele encontrar arsénico en altas concentraciones, salvo en situaciones excepcionales como las ofrecidas por ríos como el San Antonio y otros, en San Antonio de las Cobres, Salta, y el río Maury, afluente del Desaguadero, en Bolivia, en los cuales los contenidos de arsénico son muy superiores a los aconsejados para el agua destinada a ser utilizada para ingesta, humana o animal, o riego.

La respuesta tecnológica a la problemática de las altas concentraciones del arsénico en el agua ambiente incluye un conjunto de alternativas para asegurar el abastecimiento de agua apropiada para el consumo humano y, eventualmente para otros usos, que deben ser evaluadas consistentemente en cada caso. Entre las alternativas antedichas, pueden ser mencionadas las siguientes:

- *Provisión de agua a través de acueductos*

Esta alternativa involucra obras de infraestructura para transportar agua cruda desde fuentes aptas para su ulterior tratamiento local. Es importante precisar que esta alternativa se basa en una transferencia de agua de una cuenca a otra, por lo cual ello exige evaluar apropiadamente el manejo de los líquidos residuales que se generen.

- 1) *Estudios de explotación de acuíferos a distintas profundidades*

Esta alternativa implica explorar las distintas napas de la zona en búsqueda de aguas con menor contenido de arsénico a los efectos de balancear la calidad del agua de suministro. En este esquema está encuadrado el servicio existente en la ciudad de Gral Pico, Provincia de La Pampa.

- 1) *Abatimiento del arsénico mediante técnicas de tratamiento*

Existen varias tecnologías para abatir el arsénico de las aguas, con diferentes eficiencias de remoción, debiendo su aplicación ser evaluada caso por caso. Entre ellas pueden ser mencionadas:

- *Coagulación/floculación/decantación/filtración:*

Este tratamiento se basa en utilizar diversos coagulantes pudiendo el mismo aplicarse en plantas de tratamiento de distinta escala operativa.

- *Ósmosis Inversa:*

Esta tecnología posibilita elevadas eficiencias de remoción de arsénico sobre la base de la utilización de membranas, con posibilidades de trabajo a distintas escalas de operación. No obstante, su aplicación conlleva costos considerables asociados a la reposición de membranas.

- *Intercambio iónico:*

Esta alternativa tecnológica basa su acción en la retención del arsénico en lechos constituidos por resinas de intercambio iónico. Los sistemas de este tipo, cuyo diseño también posibilita escalas diversas, conllevan requerimientos considerables tanto técnicos como económicos.

- *Vaporización*

Esta alternativa, que está siendo aplicada en varias localidades de la Argentina para la provisión de agua para bebida humana, se basa en vaporizar agua merced a la acción de los rayos solares sobre el agua cruda, condensar los vapores producidos y sales al condensado almacenado para que resulte apto para el consumo ulterior.



## **CONTACTOS:**

### **ASPECTOS GENERALES Y DE GERENCIAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **MINISTERIO DE SALUD Y AMBIENTE DE LA NACIÓN**

Secretaría de Programas Sanitarios  
Subsecretaría de Programas de Prevención y Promoción  
Dirección Nacional de Programas Sanitarios  
Dirección de Promoción y Protección de la  
Salud (Dpto. Salud Ambiental)

**[www.msal.gov.ar](http://www.msal.gov.ar)**

**Te./FAX: (011) 4379-9086**

**E-Mail: [dsab@msal.gov.ar](mailto:dsab@msal.gov.ar)**

#### **MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS.**

Secretaría de Obras Públicas  
Subsecretaría de Recursos Hídricos  
Comité Nacional para el Programa  
Hidrológico Internacional

**[www.obraspublicas.gov.ar/hidricos](http://www.obraspublicas.gov.ar/hidricos)**

**Te./FAX: (011) 4349-7440**

**E-Mail: [mfioriti@miv.gov.ar](mailto:mfioriti@miv.gov.ar)**

### **ASPECTOS DE SALUD**

**Fundación Santiago y Carmen Besuschio**

**Tel/Fax: (011) 4824-0829**

**E-Mail: [besuschio@ciudad.com.ar](mailto:besuschio@ciudad.com.ar)**

### **ASPECTOS GEOLOGICOS**

**Dr. Hugo Nicolli**

**INGEQUI**

**E-Mail: [hbnicolli@fullzero.com.ar](mailto:hbnicolli@fullzero.com.ar)**