

ARSÉNICO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS: SU IMPACTO EN LA SALUD

Olga C. Bocanegra⁽¹⁾, Emilia M. Bocanegra⁽²⁾ y Amilcar A. Alvarez⁽³⁾

⁽¹⁾ *Cátedra de Dermatología- Fac. de Ciencias Médicas- U.N.Cuyo-Mendoza-Argentina*

⁽²⁾ *CIC. Centro de Geología de Costas y del Cuaternario. UNMDP. ebocaneg@mdp.edu.ar*

⁽³⁾ *INA-CRA. Instituto Nacional del Agua – Centro Regional Andino-Mendoza –Argentina. cra@ina.gov.ar*

Resumen. El arsénico constituye usualmente un componente del agua subterránea que resulta tóxico para la salud humana cuando alcanza determinados tenores. Una de las enfermedades más graves produce una serie de manifestaciones dermatológicas y viscerales que se denominan hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE). Entre sus efectos se destacan lesiones y cáncer de piel, cáncer de vejiga, riñón, hígado y pulmón. En la Argentina, si bien hay varias regiones arsenicales, la zona más afectada es la llanura chaco-pampeana que ocupa el centro y norte del país, adjudicándose el origen del arsénico en el agua subterránea a la presencia de ceniza y vidrio volcánico en los sedimentos loésicos de la región. Las medidas preventivas son esenciales, se debe proveer de agua potable a las zonas con porcentajes peligrosos de arsénico, promover el uso de fuentes alternativas de agua segura, efectuar perforaciones con diseño constructivo adecuado, concientizar a la población del riesgo de salud, promover el trabajo interdisciplinario de profesionales y la acción interrelacionada de los organismos de salud y administradores del agua.

Abstract. Arsenic is an usual component of groundwater that become toxic for human health when high levels are reached. The most important disease is the regional chronic arsenicism. The long-term health effects are: skin lesions, skin cancer and internal cancers: bladder, kidney and lung. In Argentina, the Central and North region, called Chaco-pampeana plain, is the most affected by this disease. The arsenic in groundwater is due to the presence of volcanic ashes in the loess sediments of the region. Prevent measures are necessary to supply safe water to the population: alternative sources, deeper wells, education to become aware of the health risks, multidisciplinary work and a join action between health and water administrations.

Keywords: arsenic, groundwater, human health, disease, water and health management

INTRODUCCIÓN

El arsénico aparece en la mayoría de las aguas, aunque usualmente en pequeñas cantidades. Su presencia es un tema de gran interés en países como Argentina, Chile, Brasil, Perú, Bolivia, México, Tailandia, Bangladesh, China, India y Estados Unidos en los cuales se han producido serios casos de contaminación.

En Bangladesh, se determinaron los altos niveles de arsénico en el agua subterránea luego de la aparición de enfermedades vinculadas al arsénico, identificándose la escala del problema a partir de que se diagnosticaron efectos de envenenamiento en la población. En diversas regiones del mundo se han descrito enfermedades hídricas asociadas a la presencia de arsénico: en Antofagasta (Chile), Minas Gerais (Brasil), Salvador de Arriba y Coahuila (México), en Taiwan, Formosa y posiblemente en Perú y Bolivia en la Puna de Atacama (Sai Siong Wong et al, 1998)

Los efectos tóxicos del arsénico se conocen desde la antigüedad, y sus consecuencias sobre la salud han sido estudiadas desde el siglo XIX, concluyendo con la fijación por parte de la Organización Mundial de la Salud, de 0,01 mg/l como límite máximo. Las normas de tolerancia al arsénico varían según los países: en Estados Unidos y en Rusia se considera peligrosa el agua para beber cuando contiene más de 0,05 mg/l de arsénico, la Unión Europea cuando supera los 0,01 mg/l. Argentina ha fijado límites máximos de concentración de arsénico en las aguas por encima de los otros países, y aún así, hay zonas endémicas que superan esos valores ampliamente. En la provincia de Buenos Aires el límite de tolerancia es 0,05 mg/l.

La solución a la contaminación por arsénico del agua no es sencilla en países en desarrollo debido a problemas socioeconómicos y de infraestructura. Es necesario plantear medidas preventivas para evitar daño a la salud de la población.

ORIGEN Y USO DEL ARSÉNICO

El arsénico se encuentra en la naturaleza en minerales comunes como la arsenopirita (FeAsS), el rejalgar (As_2S_2), el oropimente (As_2S_3) y el trióxido de arsénico (As_2O_3); como elemento puro se lo encuentra ocasionalmente.

El arsénico posee, sin duda, un lugar en la historia, porque al ser confundido con el azúcar o la harina se lo utilizó como un poderoso veneno, los nombres con que se lo conoce son por demás demostrativos: “rey de los venenos”, “polvo de sucesión”, etc. Los asesinos han usado la capacidad de matar lentamente a sus víctimas, aparentemente de causas naturales, a través de grandes dosis, mayores de las encontradas en el agua, que provocan rápido deterioro de la salud y muerte. Una baja exposición, como la provocada por agua contaminada, causa efectos dañinos a mediano y largo plazo.

Los compuestos con arsénico tienen diversas aplicaciones industriales y agrícolas; sin las precauciones apropiadas, el trabajador puede estar expuesto a gran cantidad de este elemento. El uso más común es en insecticidas (arseniato de plomo y calcio), fungicidas, herbicidas y desfoliantes. También se lo usa en la fabricación del vidrio, en la fabricación de gases venenosos militares (lewisita y adamsita), como pigmento en la fabricación de fuegos artificiales y pinturas (disulfuro de arsénico). Hasta la introducción de la penicilina el arsénico orgánico trivalente: Neosalvarsan, era el remedio más útil para el tratamiento de la sífilis. El licor de Fowler (arseniato de hierro y potasio) se utilizaba para el tratamiento de la psoriasis.

En la actualidad numerosas intoxicaciones arsenicales se deben al consumo de agua con alto contenido de este elemento.

La contaminación de los acuíferos con arsénico puede ser provocada no sólo por la incorporación de contaminantes desde la superficie relacionado con actividades humanas, sino también por los procesos naturales de interacción agua - roca, ocasionada por ambientes geológicos específicos. Las especies químicas más importantes en aguas naturales son H_3AsO_3 , H_2AsO_4^- y HAsO_4^{2-} , altamente solubles y estables. Los arsenitos son especies más tóxicas y están presentes en ambientes reductores y los arseniatos bajo condiciones oxidantes.

El conocimiento sobre los niveles de la presencia del arsénico en agua que se destina para consumo humano es de vital importancia para las

comunidades sociales. Actualmente este tema es considerado una problemática a nivel mundial por los efectos toxicológicos sobre la salud.

ENFERMEDADES PROVOCADAS POR EL ARSÉNICO

Se ha determinado que una de diez personas que beben agua con un contenido de arsénico superior a $500 \mu\text{g/l}$ puede morir de cáncer de pulmón, vesícula y piel. La exposición ocupacional, principalmente en caso de inhalación, incrementa el riesgo de cáncer de pulmón cuando se alcanzan niveles acumulativos de 0.75 mg/m^3 . Esta cantidad corresponde a unos 15 años de exposición en una sala con una concentración de $50 \mu\text{g/m}^3$ (Stanwell Smith, 2001).

El arsénico contenido en el agua y los alimentos ingresa al organismo por vía bucal y su absorción depende de la liposolubilidad del compuesto. Los arsenitos inorgánicos (trivalentes), tales como los concentrados en el agua, penetran a través de las membranas biológicas con mayor dificultad que los arsenitos orgánicos, lo que explicaría el largo período de incubación de la enfermedad. El arsénico después de ser absorbido pasa al torrente sanguíneo y es distribuido en los diferentes órganos; se deposita principalmente en el hígado, riñón, corazón, pulmón y piel. Existen altas concentraciones en el pelo y las uñas debido a que el arsénico trivalente (inorgánico) se combina con los grupos sulfidrilos de la queratina de estos anexos cutáneos. El depósito en el pelo comienza a las 2 semanas posteriores de su administración y permanece en ese lugar durante años. Los componentes inorgánicos son eliminados por la orina previa metilación en el hígado. Otras vías de excreción menos importantes son heces, sudor, leche materna, piel y sus anexos pelos y uñas (Goodman y Gilman, 1991).

Existen regiones en donde el consumo continuo y prolongado de aguas de pozos con alto contenido arsenical, produce manifestaciones dermatológicas y viscerales que se denominan HACRE (hidroarsenicismo crónico regional endémico). Se considera que cuando las aguas contienen más de $0,5 \text{ mg/l}$ de arsénico disódico, o más de $0,12 \text{ mg/l}$ de arsénico metaloide, son capaces de determinar dicha intoxicación crónica.

El HACRE tiene características propias, que difieren, tomadas en su totalidad, de otras intoxicaciones arsenicales agudas, subagudas y crónicas.

Para contraer la enfermedad es preciso haber tomado durante meses o años, esas aguas peligrosas por su alto contenido arsenical. Resultan afectados tanto hombres como mujeres, pero es más frecuente en el hombre en una proporción de 4:1. La gran mayoría de pacientes son adultos, siendo excepcional la enfermedad en los niños. No todos los que consumen el agua con alto contenido arsenical resultan afectados; debe haber una cierta predisposición para que ello ocurra, que determina en los individuos afectados una diferencia en la absorción, depósito en los tejidos y excreción del arsénico.

Las manifestaciones clínicas del HACRE incluyen lesiones cutáneas, mucosas y cánceres viscerales (Grispan, 1985; Tello, 1981).

La queratodermia palmoplantar es el síntoma más frecuente y evocador para el diagnóstico, afecta al 96% de los enfermos, aparece entre uno y quince años de ingestión de agua arsenical, la localización palmoplantar es bilateral y casi simultánea. Suele estar precedida de hiperhidrosis y ardor local, puede ser localizada o difusa, el aspecto verrugoso es el más frecuente. Puede dificultar el cierre de la mano. Se aprecia un aumento del espesor cutáneo, de color amarillo grisáceo o gris negruzco, seco y áspero al tacto.

Los tumores cutáneos son el segundo síntoma en orden de frecuencia. El número de carcinomas es variable, generalmente son múltiples, están ubicados en el tronco, particularmente en el dorso, la parte anterior del tórax, en miembros y el cuero cabelludo. Hay más lesiones en las partes cubiertas que en las partes expuestas, lo que demuestra que en los pacientes con HACRE la acción solar, de existir, no es importante. Los carcinomas hallados corresponden a la enfermedad de Bowen y epitelomas basocelulares superficiales múltiples, principalmente ubicados en el tronco, y carcinomas espinocelulares infiltrantes, nacidos sobre las queratosis arsenicales. La aparición de tumores malignos depende del tiempo de exposición al arsénico, la enfermedad de Bowen dentro de los 10 años de exposición, y el cáncer invasivo después de los 20 años. Una retención cutánea anormalmente alta de arsénico, como rasgo metabólico individual, puede actuar como un factor importante en la carcinogénesis. En cultivos de tejidos de pacientes con lesiones arsenicales, se encontraron anomalías cromosómicas en una proporción significativamente más alta que en los controles, lo que explicaría el poder mutagénico y carcinogénico del arsénico (Ray

Bettley y O'Shea, 1975; Ohnishi, Murakami and Ohtsuka, 1997; Evans, 1977).

La melanodermia es una pigmentación gris pizarra o negra, que puede ser difusa o circunscripta. Es la manifestación cutánea menos frecuente, (en el 22% de los pacientes), puede tener carácter leucomelanodérmico. La localización más frecuente es el tronco y la raíz de los miembros.

Las leucoplasias de la mucosa oral y laríngea, son placas blanquecinas, fuertemente adheridas a la mucosa que predisponen al cáncer de laringe.

Los cánceres viscerales, es decir en órganos internos: el 30% de los pacientes con HACRE mueren por neoplasia interna, y de éstos un 33% lo hacen por cáncer de pulmón. Los órganos afectados en orden de frecuencia son: pulmón, estómago, laringe, esófago, faringe, tráquea, hígado y mama. Los carcinomas necesitan entre 20 y 30 años para desarrollarse, pudiendo depender esto de la dosis de arsénico ingerido.

Para el diagnóstico de HACRE, se utiliza el método de bombardeo con neutrones en pelos o uñas del paciente con intoxicación arsenical, que transforma el arsénico As^{75} en el isótopo As^{76} con una vida media de 26,8 horas. Se señalan como cantidades normales de arsénico 0,82-3,50 ppm en las uñas y 0,50-2,10 ppm en los cabellos. Este arsénico proviene de la alimentación, especialmente del contenido en la sal de mesa, rábanos, papas, pescado de mar, mariscos, vinos, etc., entre los más importantes alimentos que pueden aportar arsénico (Tello, 1981).

La evolución del HACRE es lenta y progresiva, una vez instalado el proceso no desaparece aunque el individuo se traslade a zonas no arsenicales. El pronóstico está marcado por el desarrollo de los cánceres viscerales. Los pacientes necesitan un control clínico cada seis meses, Rx de tórax anual y TAC ante la sospecha de alguna malignidad.

Las lesiones cutáneas son tratables con medicamentos, criocirugía, electrocoagulación, radioterapia o cirugía clásica.

OCURRENCIA DEL ARSÉNICO EN LA ARGENTINA

En Argentina las primeras manifestaciones patológicas de principio de siglo, eran conocidas como "enfermedad de Bell Ville", ciudad donde se había observado el mayor número de enfermos. El mejor conocimiento de esta enfermedad y su tratamiento en distintos centros urbanos dieron la

pauta de que la zona afectada era mucho mayor, abarcando las provincias de Buenos Aires, Córdoba, La Pampa, Santa Fe, Santiago del Estero, Chaco, Salta, Tucumán, Catamarca, Formosa y San Luis (Biagini, 1975, Baliña et al, 1981).

En toda la zona de la llanura chaco-pampeana (centro y norte del país), diversos autores han adjudicado el origen del arsénico en el agua subterránea a la presencia de ceniza y vidrio volcánico en los sedimentos loésicos de la región (Nicolli et. al., 1997; Smedley et al, 2000).

En la provincia de Catamarca se llevaron a cabo estudios que revelaron altos contenidos de arsénico en agua en el Departamento La Paz y el Departamento de Antofagasta de la Sierra, donde se encontró niveles de arsénico en aguas subterráneas con valores entre 0,01 mg/l a 0,17 mg/l.

En la región centro-norte de la provincia de Buenos Aires se hallan contenidos que frecuentemente superan los 0,05 mg/l. En el sudoeste, las concentraciones de arsénico que alcanzan valores de hasta 0,15 mg/l, se presentan de manera anárquica y frecuentemente independiente de la salinidad y profundidad del nivel acuífero explotado. Las variaciones hidroquímicas espaciales podrían relacionarse al modo de transporte y depositación de la ceniza volcánica, al tipo, composición química y edad de la erupción así como también a la dinámica del agua subterránea y las condiciones climáticas de cada sector. (Carrica y Albouy, 1999).

En la sur de la provincia de Córdoba (Cabrera y Blarasin, 2001) se encontraron contenidos de arsénico de hasta 0.5 mg/l en un acuífero freático constituido por sedimentos eólicos cuaternarios.

En el noreste de la provincia de Tucumán, en donde se desarrolla la principal actividad económica provincial, se han encontrado valores de 1.6 mg/l de arsénico en el agua subterránea (Nicolli et al, 2001).

En los Departamentos de la Banda y Robles, Provincia de Santiago del Estero, se detectaron casos de hidroarsenismo desde el año 1983, reportándose defunciones provocadas por la presencia de este oligoelemento en el agua subterránea, que supera valores de 1,00 mg/l, es decir cien veces los límites permitidos por la Organización Mundial de la Salud. El nivel de la capa freática fue aumentando como consecuencia del incremento del riego a partir del año 1970. Dado que existe un horizonte de cenizas volcánicas entre los 2 y 3,50 m de profundidad, el tenor del arsénico en el agua subterránea ha ido creciendo como consecuencia de quedar incluidas estas cenizas

volcánicas en la zona de saturación. El área es de altísimo riesgo para contraer enfermedades relacionadas con la ingesta de agua subterránea contaminada con arsénico. En virtud de ello se informó de los resultados de los estudios hidrogeológicos a las autoridades de Salud Pública de la Provincia, quienes iniciaron una campaña de detección de hidroarsenismo; se les tomó a los moradores muestras de cabello y uñas detectándose cuatro casos de esta enfermedad, por lo que se programó una campaña de educación sanitaria y se inició el abastecimiento de agua mediante camiones tanque como solución inmediata, hasta que se estudie la forma más conveniente de hacerlo, ya sean perforaciones profundas, acueducto o plantas de ósmosis inversa. (Herrera et al, 1999).

En la provincia de Mendoza se encontró arsénico en el agua subterránea en un importante sector ubicado al noroeste del oasis norte que abarca gran parte del departamento Lavalle (Alvarez, 1985; Alvarez, 1993). Las concentraciones de este elemento varían desde 0,01 mg/l al sur hasta 0,22 mg/l al noreste y noroeste, sin diferenciarse en los distintos horizontes acuíferos explotados (Fig. 1). Los estudios hidroquímicos efectuados adjudican la presencia de arsénico en el agua subterránea al aporte proveniente de cenizas volcánicas que acompañan los sedimentos aluviales de numerosas cuencas hidrográficas ubicadas en la vertiente oriental de la precordillera. Estos sedimentos interdigitan con los sedimentos de llanura fluvial, distales de los conos aluviales del río Mendoza. El agua subterránea en la región es muy importante ya que es la reserva hídrica que sustenta los oasis en épocas de sequía y en algunos casos es la fuente exclusiva para el regadío de cultivos y en todos los casos para el consumo humano. Algunas escuelas rurales, por ejemplo la ubicada en San José, posee una perforación que extrae agua con 0,18 mg/l y está siendo utilizada desde hace muchos años para el consumo de su población escolar. Si bien esta situación se conoce desde hace varios años aun no existen relevamientos del efecto sobre la salud ni han sido alertados los posibles afectados ni se han tomado medidas para proveerles agua libre de arsénico para el consumo humano. También existen datos aislados que indican presencia de arsénico en mayores concentraciones (hasta 0,35 mg/l) de pozos excavados, que extraen agua del acuífero mas superficial. Estos se encuentran en áreas de secano próxima al río Desaguadero donde existe una incipiente actividad ganadera. Esta zona, limítrofe con la provincia de San Juan se corresponde con los

altos valores de arsénico encontrados en la localidad de El Encón. Esta última posee una pequeña población estable a la cual se provee agua previamente tratada mediante osmosis inversa para eliminar el contenido de arsénico.

MEDIDAS PREVENTIVAS

Los efectos tóxicos del arsénico afectan a personas de todas las edades, principalmente a aquellas que viven en la pobreza y con desnutrición. Se produce un círculo vicioso por el cual la persona enferma por arsénico pierde su trabajo y se convierte en una carga para su familia, pierde su servicio social para atención de la salud con lo cual la situación de pobreza y falta de salud se agrava.

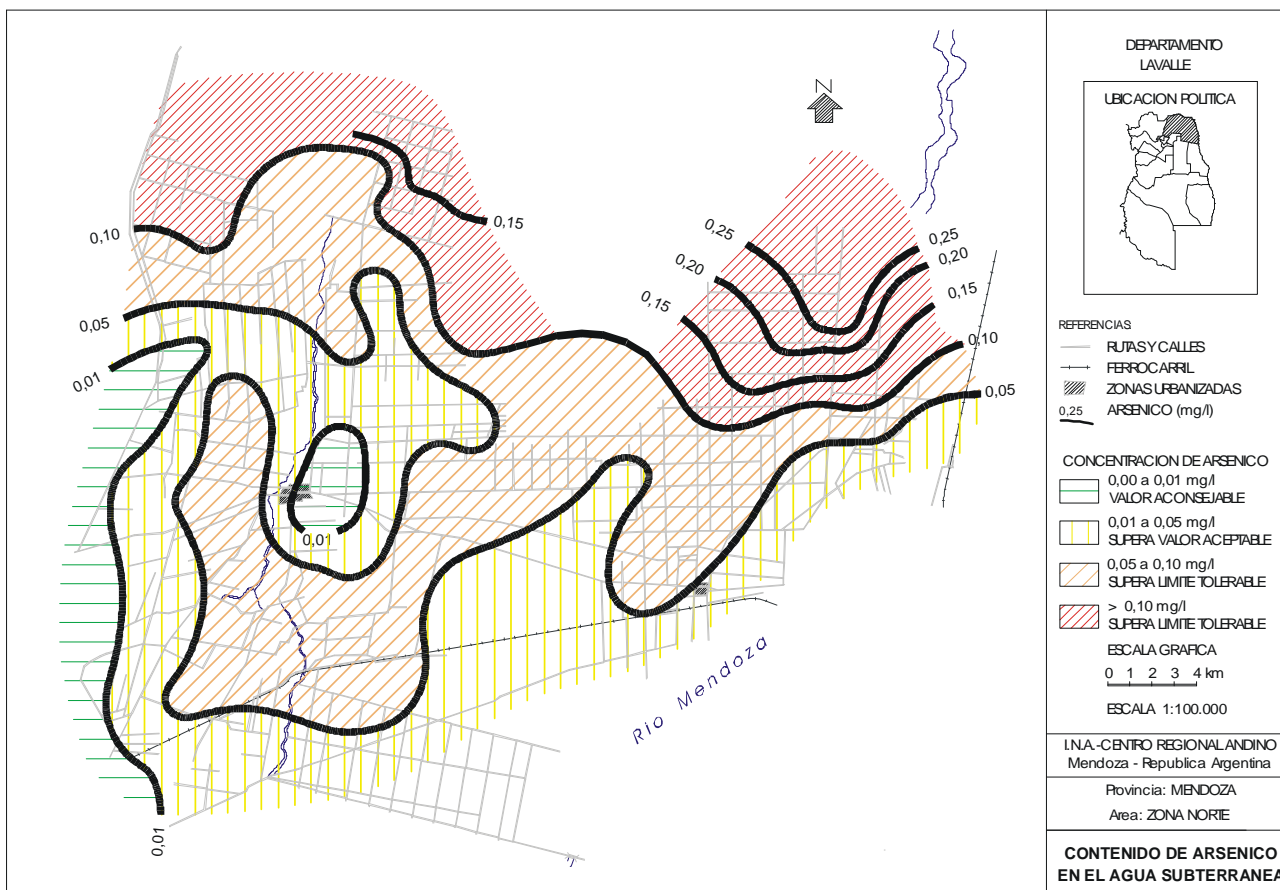


Figura 1. Contenido de arsénico en el agua subterránea de noreste de Mendoza

Muchos de los efectos perjudiciales del arsénico son irreversibles. En una etapa inicial, beber agua de buena calidad, ingerir comidas nutritivas y ricas en vitaminas puede revertir algunos efectos.

Algunas propuestas generales para afrontar el problema del arsénico en el agua subterránea son:

- * Construcción de pozos más profundos, conforme a un diseño adecuado de perforación, entubamiento y desarrollo. Esta medida está condicionada al mejoramiento de la calidad del agua subterránea con la profundidad.

- * Utilización de aguas superficiales de ríos o lagos, o bien recolección de agua de lluvia, tratadas con tecnologías adecuadas, a fin de evitar el riesgo de infección. Las aguas superficiales suelen tener menores contenidos de arsénico pero a su vez un mayor riesgo de contaminantes biológicos. Dado que las enfermedades hídricas infecciosas producen más muertes en las población que las debidas al arsénico, es necesario ser muy cuidadoso a la hora de seleccionar fuentes alternativas de suministro de

agua. No obstante lo expresado, ha de tenerse en cuenta que hay aguas de río con alto contenido de arsénico.

- * Programas de educación para concientizar a la población sobre los efectos perjudiciales para la salud del arsénico en el agua subterránea y sobre fuentes alternativas de suministro de agua.

- * Sistemas de remoción de arsénico así como disposición final adecuada de las aguas residuales y sólidos de rechazo de las plantas de tratamiento.

- * Estudios hidrogeológicos y monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas, en particular de la evolución del contenido en arsénico.

- * Monitoreo clínico para detectar precozmente síntomas de hidroarsenicismo en la población.

COMENTARIO FINAL

El hidroarsenicismo crónico en la República Argentina constituye un problema de alto contenido médico, social y sanitario. La búsqueda de nuevas zonas arsenicales implica el trabajo coordinado de

hidrogeólogos, químicos, economistas, asistentes sociales y médicos sanitarios. Es necesario promover la vinculación entre Ministerios de salud y Administraciones de agua para involucrar al sector salud en la gestión del agua.

REFERENCIAS

Alvarez A. 1985. Arsénico en el agua subterránea en el área cultivada del departamento Lavalle, prov. Mendoza. CRAS (IT-61).

Alvarez A. 1993. Salinización de acuíferos y contenido de fluor, arsénico y nitrato en la zona norte de la prov. de Mendoza. CRAS (DI-214).

Baliña LM, Valdez RP, Costa Cordova H. 1981. El arsénico y sus complicaciones. *Rev Arg Dermatol.* 62:169-175.

Biagini R.E. 1975. Hidroarsenicismo crónico en la República Argentina. *Med. Cut. I.L.A. N°6:* 423-432.

Cabrera, A. y M. Blarasín. 2001. Geoquímica del flúor y arsénico en el agua subterránea del sur de Córdoba, Argentina. **En:** Medina y Carrera, eds. IGME. *Las caras del agua subterránea.* Barcelona. 17-25.

Carrica, J. y R. Albouy. 1999. Variaciones hidroquímicas en el agua subterránea en localidades del Partido de Púan, provincia de Buenos Aires. *Hidrología Subterránea. Serie Correlación Geológica N° 13.* 221-230.

Evans S. 1977. Arsenic and cancer. *Br J Dermatol. Suppl 15:* 13-14.

Goodman S. y A. Gilman. 1991. Las bases farmacológicas de la Terapéutica. Editorial Médica Panamericana.

Grisnpan D. 1985. Hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE). Las manifestaciones de la intoxicación arsenical por el agua de consumo. *Med. Cut. I.L.A. Vol. XIII:* 85-109.

Herrera, H., Farías, B., Martín, R., Cortés, J., Storniolo, A. y J. Thir. 1999. Origen y dinámica del arsénico en el agua subterránea del Depto. Robles, Provincia de Santiago del Estero. *Hidrología Subterránea. Serie Correlación Geológica N° 13.* 263-272.

Nicolli, H., Smedley, P. y J. Tulio. 1997. Aguas subterráneas con altos contenidos de F, As y otros oligoelementos en el Norte de la Pampa. *Actas Congreso Internacional del Agua.* Buenos Aires. Argentina. III 40.

Nicolli, H., Tineo, A., Falcón, C. y M. Merino. 2001. Movilidad del arsénico y de otros

oligoelementos asociados en aguas subterráneas de la cuenca de Burrucayú, Provincia de Tucumán, República Argentina. **En:** Medina y Carrera, eds. IGME. *Las caras del agua subterránea.* Barcelona. 27-33.

Ohnishi Y, Murakami S, Ohtsuka H. 1997. Merkel cell carcinoma and multiple Bowen's Disease. Incidental association or possible relationship to inorganic arsenic exposure?. *The Journal of Dermatology;* 24:310-316.

Ray Bettley F. Y O'Shea J.A. 1975. The absorption of arsenic and its relation to carcinoma. *Br J Dermatol;* 92: 563-568.

Sai Siong Wong, Kong Chong Tan and Chee Leok Goh. 1998. Cutaneous manifestations of chronic arsenicism: Review of seventeen cases. *J Am Acad Dermatol;* 38:179-185.

Smedley, P., Macdonald, H., Nicolli, H. Barros, A., Tullio, J. & J. Pearce. 2000. Arsenic and other quality problems in groundwater from Northern La Pampa province, Argentina. Nottingham. TR WC/99/36. British Geological Survey.

Stanwell Smith, R. 2001. Naturally Occurring Hazards. WHO/WSH/WWD/TA.1. Geneva.

Tello EE. 1981. Las manifestaciones del hidroarsenicismo crónico regional endémico argentino (HACREA). *Arch Argent Dermatol.* XXXI: 27-40.