

# CONTRIBUCIÓN DE MATERIALES LOESICOS EN EL CONTENIDO DE ARSÉNICO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA LLANURA ORIENTAL TUCUMANA

**Graieb, Oscar J. <sup>(1)</sup>; García, Jorge W. <sup>(2)</sup>, Falcón, Carlos M. <sup>(3)</sup> y Sayago, José M. <sup>(4)</sup>**

(1) Ing. Químico – Director del CEDIA – UTN – FRT – Rivadavia 1050. Tel. 0381-156420707 – mail: [vvdgraieb@yahoo.com.ar](mailto:vvdgraieb@yahoo.com.ar) (2) y (3) Geólogos – Cátedra de Hidrogeología – Fac. Cs. Naturales – UNT (4) Geólogo – Cátedra de Geomorfología – INGEMA - Fac. Cs. Naturales – UNT

## Resumen:

De acuerdo a Nicolli y otros (2000), la presencia de arsénico en las aguas subterráneas está relacionada con materiales de origen volcánico, siempre presentes en los loess de edad Pleistoceno y Holoceno. La presencia de loess Pampeano se caracteriza por contener elementos detríticos de composición dacítica, con la participación de vidrio volcánico y elevados contenidos de oligoelementos, entre ellos arsénico. Los depósitos de loess contenidos en la llanura tucumana constituyen la fuente natural del Arsénico en las aguas subterráneas de este sector.

Estos materiales tienen origen andino, cuyas vías de transporte son tanto eólicas como fluviales (Sayago y otros, 2006).

La movilidad de especies químicas que dependen de las condiciones Redox, pH y otros factores tales como la porosidad y permeabilidad del acuífero, el sentido del flujo subterráneo y las actividades antrópicas, caracterizan el comportamiento del arsénico observado en las aguas subterráneas en contacto con el loess.

El área loésica de la provincia, posee atributos geológicos potenciales para incorporar arsénico en el agua subterránea y factible de amenazar la salud de la población por arsenicosis. Se destaca la presencia de arsénico restringida a las áreas de interfluvios, mientras que en los rellenos de cauces y abanicos aluviales no está presente en valores destacados por el lavado del material loésico original (García et al., 2006)

De Los Ríos y otros (1994) verifican la relación entre el agua de bebida contaminada por arsénico y la enfermedad en Tucumán.

Se observó una estrecha relación entre la presencia de arsénico y loess, lo que lleva a concluir que para el estudio del mismo hay que considerar primeramente la ocurrencia del loess en la llanura (Graieb, 2005).

Se cartografió la presencia de arsénico en las aguas subterráneas con la información que sobre el mismo se dispone en este momento, tanto de fuentes oficiales provinciales (Dirección de Recursos Hídricos, SIPROSA y SAT) como universitarias (Cátedra de Hidrogeología de la UNT y CEDIA de la UTN), dando como resultado un mapa con la distribución y magnitud del problema que puede ser base para la toma de decisiones. Este mapa puede ser utilizado para establecer políticas y estrategias de gestión para la atención del HACRE en la provincia de Tucumán, en un intento por el desarrollo de mecanismos administrativos para la aplicación de tecnologías apropiadas tendientes a lograr una efectiva salud ambiental en nuestra región.

**Palabras claves:** Arsénico – Loess – Hidrogeología - HACRE

## **Loess en la Provincia de Tucumán**

Los depósitos de loess que cubren la llanura oriental tucumana se originaron durante el Pleistoceno y el Holoceno en la Patagonia extrandina y la planicie de regresión marina de la plataforma continental patagónica. Los vientos de rumbo Sur y Suroeste deflacionaron los materiales de tamaño y limo y arena muy fina dispersándolos sobre la llanura pampeana y chaqueña. La selección granulométrica con la distancia explica la presencia de un loess franco arcillo limoso en la llanura oriental tucumana (Sayago J.M. 1995; Sayago et al., 2001). De acuerdo a lo determinado por Nicolli y otros (2000, 2001 y 2004) la presencia de arsénico en las aguas superficiales y subterráneas está relacionada con los materiales de origen volcánico, siempre presentes en los loess de edad Pleistoceno y Holoceno que, a pesar de su carácter secundario o retrabajado, reúne muchas de las características propias del loess típico de Teruggi (1975). El loess pampeano y subtropical presenta como característica distintiva -comparado con los loess del Hemisferio Norte- la presencia constante de materiales volcánicos bajo la forma de elementos detríticos. Este material detrítico es producto de la erosión glacial de los materiales volcánicos de la cordillera patagónica durante los englazamientos Pleistocénicos, luego dispersados en la Patagonia extrandina con el carácter de depósitos fluvio-glaciarios. Otra fuente de materiales volcánicos es el vidrio proveniente de aportes cineríticos originados en el vulcanismo explosivo de la cordillera patagónica (entre los 30 y 40 grados de lat. Sur), luego transportados hacia el norte por vientos de rumbo Suroeste-Noreste y distribuidos sobre la llanura pampeana y chaqueña.

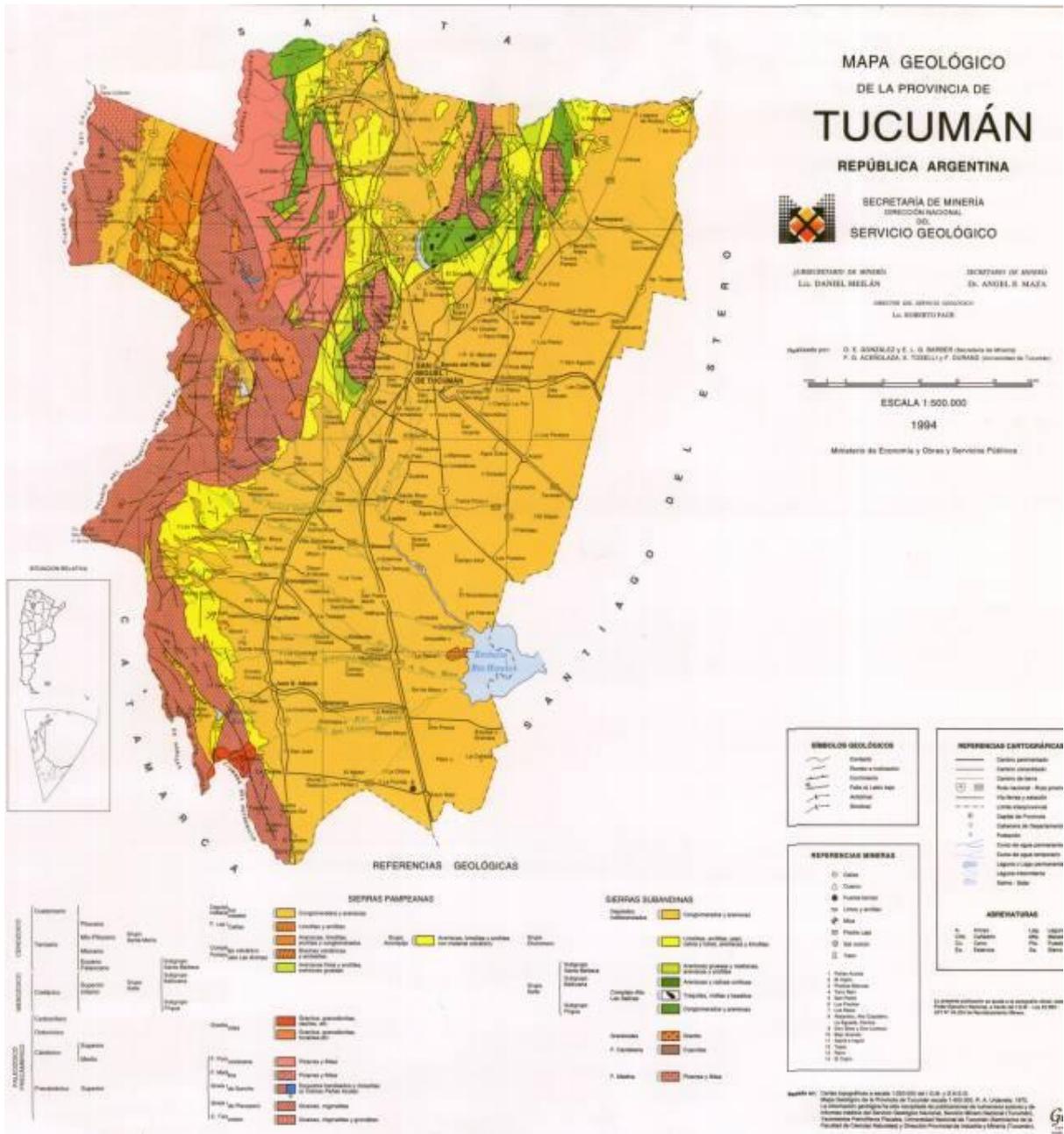
Según un equipo francés que efectuó determinaciones hidroquímicas en la provincia de Tucumán, la relación entre los materiales loésicos y la mineralización hídrica global, se explica por el importante espesor de los productos finos (esencialmente loess) lo que determina la composición muy rica de las aguas, en particular en ciertos elementos como los sulfatos o los cloruros. Igualmente, el magnesio cuya cinética de puesta en solución es particularmente lenta, se encuentra a veces en grandes cantidades en las aguas, indicando también un trayecto bastante lento de las aguas subterráneas en los sedimentos que los contienen. (Salomón et al., 2004)

### **Distribución espacial del Arsénico y su relación con el loess.**

De acuerdo a la cartografía incluida en Nicolli et al. (2000), la generalizada distribución espacial del arsénico en la llanura tucumana -aunque con diferentes tenores- evidencia claramente la influencia de un mecanismo que ha actuado arealmente, coincidente con una dispersión producto del transporte eólico. Respecto a la mineralización de las aguas, Salomón et al. (2004), expresan que la importante mineralización global de las aguas permite clasificarlas en niveles impropios para el consumo o difícilmente consumibles sin tratamiento, particularmente, las aguas subterráneas contenidas en los loess. Respecto al arsénico detectado en la cuenca del río Salí (Nicolli et al.,

2000), es posible hipotetizar que “los procesos de lixiviación dentro de los sedimentos limo-loésicos son favorecidos por un aumento de los valores del pH de las aguas (bicarbonatos) provocando la disolución de los vidrios volcánicos”. Esta disolución puede ser considerada como la fuente de aporte principal de arsénico en los acuíferos de la llanura tucumana. Sin embargo algunos autores señalan que el arsénico no estaría específicamente asociado al vidrio volcánico referido sino a otros aportes sedimentarios (M. del Blanco et al., 1999; H Morrás et al., 2000; Smedley y Kinninburgh, 2002). Así los suelos originados con loess de origen eólico presentan proporciones variables de arsénico según estos autores quienes sugieren la existencia de ambigüedades e imprecisiones en relación con la identificación de la fuente de aporte de arsénico a los acuíferos más superficiales (M del Blanco; J D Paolini; H Morrás 2005). Este contexto permite plantearse que la toxicidad de los compuestos de arsénico no esta supeditada únicamente a los clastos vítreos sino a otros minerales constitutivos de los sedimentos loésicos contribuyentes a las aguas que adquieren altos niveles de contaminación detectados. En tal sentido, para el caso de la cuenca del río Salí, los pH son claramente básicos (7,61 en promedio con un máximo de 8,72), entonces puede admitirse que hubo un enriquecimiento de arsénico en el agua subterránea (en detrimento de las aguas superficiales) hasta las capas de profundidad intermedia, aunque las capas profundas no han sido todavía contaminadas por este elemento procedente de la superficie. Además, las concentraciones más fuertes observadas al este de la cuenca, son un argumento a favor de esta hipótesis de sentido del derrame y evaporación facilitada por la mayor cercanía a la superficie de las aguas (Salomón et al., op cit). Concordantemente, de acuerdo al trabajo de Nicolli et al. (2000), los mayores tenores se distribuyen en la llanura tucumana oriental (Norte y Sur), allí donde los materiales loésicos adquieren mayor espesor y no han sido mayormente retrabajados o modificados por la acción fluvial. Así, podría hipotetizarse que el arsénico presente en las aguas freáticas proviene de los materiales cineríticos y/o minerales detríticos de origen volcánicos existente en el loess, sin entrar a considerar los procesos geoquímicas o hidrogeoquímicos que provocan su liberación. Debe destacarse sin embargo la relación (expresada en el plano de Nicolli et al.), entre elevados tenores de arsénico y un relieve suavemente ondulado, mientras que en las áreas deprimidas, espacialmente relacionadas a la actividad fluvial actual y pasada, los tenores decrecen (García y Falcón, 2006).

Otro mecanismo susceptible de liberar el As podría estar ligado a la presencia de secuencias paleoedáficas en el subsuelo de la llanura ondulada (Sayago et al., 2006).



Mapa 1: Mapa Geológico de la Provincia de Tucumán.

En varios cortes de terreno especialmente en el Este y Nordeste de llanura tucumana se ha comprobado la presencia de paleosuelos cubiertos con materiales cineríticos de hasta un metro de potencia, secuencias que se repiten en todo el subsuelo de la llanura tucumana. Como es sabido, una capa freática exige en su base la existencia un estrato o capa impermeable ya sea de carácter regional o local ("freática colgada") La presencia de un paleosuelo desarrollado durante el Holoceno Superior situado a pocos metros de profundidad podría constituir la base de la freática local o regional. La instalación de una capa freática, permanente o periódica, sobre el paleosuelo generalmente impermeable crearía las condiciones para la progresiva liberación de As de las cenizas y su incorporación a las aguas freáticas. La confirmación de esta hipótesis exigiría estudios que comprueben la relación entre la composición química de las cenizas, el agua freática y los paleosuelos. En suma, los diferentes autores coinciden en una progresiva concentración del As en el agua subterránea (freática) por infiltración y liberación desde las capas loésicas superficiales, sumado a un progresivo enriquecimiento en profundidad por infiltración y al escurrimiento subsuperficial hacia el este en las áreas interfluviales, siguiendo el sentido general de la pendiente regional. Teniendo en cuenta el carácter geomorfológico de llanura de divagación fluvial que caracteriza a la llanura oriental tucumana, es lógico asumir una estrecha relación y transfluencia del arsénico desde los interfluvios loésicos hacia los numerosos cauces y paleocauces que atraviesan la llanura.

### **Movilidad del Arsénico.**

El comportamiento del arsénico se hace a través de la movilidad de especies químicas que dependen de las condiciones Redox y el pH. En la planicie tucumana prevalecen las condiciones oxidantes y pH neutro tendiendo a alcalino y la forma predominante As(V) en especie:

H AsO<sub>4</sub> para ph > 6.9 y

H AsO<sub>4</sub><sup>-2</sup> para pH. > 7

Este ambiente favorece especies disueltas de B; F; Mo; Se; U.

El Fe y el Mn tienden a formar óxidos.

En condiciones reductoras está presente el As (III).

AsO<sub>3</sub>H<sub>3</sub> para pH. >8

En estas condiciones los óxidos de Fe y Mn tienden a disolverse.

La movilidad de las especies de As en contextos geoquímicos puede variar por competencia con otras especies existentes en el agua tales como P; B y U. Estos compuestos presentan especies similares al As. Así el fosfato esta presente en una concentración mayor que el As ocupara posiciones de adsorción que limitan la fijación del As y su compuesto en los floc de óxidos de Fe.

El As(V) y el As (III) pueden estar presentes en sus especies bajo distintas condiciones Redox y pH.

Los arseniatos son adsorbidos fuertemente sobre minerales (Fe-óxidos) en condiciones de pH. alcalino mientras que la afinidad entre arsenitos y Fe sobre minerales (Fe-óxidos) es algo débil. (Dzombak & Morel 1990). La máxima adsorción de especies arsenito ocurre a pH. 5 (Griffin & Shimp, 1978 y M. G. García J. et al., 2000).

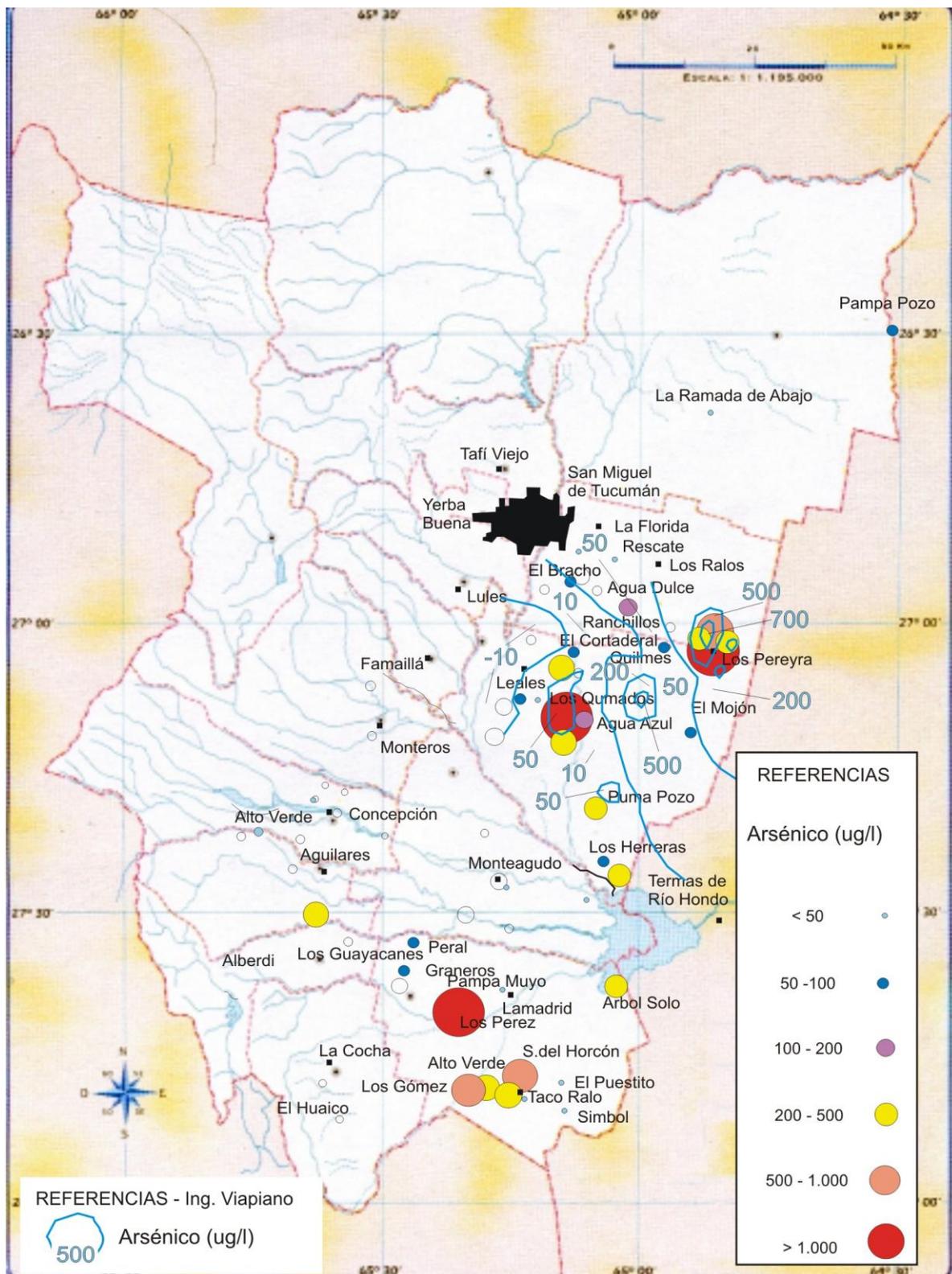
Estos autores señalan que en las aguas subterráneas confinadas del este de la provincia, las especies de As (V) son dominantes. Existe afinidad entre arseniatos y superficie (Fe-óxidos), esta afinidad es suficientemente fuerte para remover el As cuando las aguas se infiltran a través de sedimentos ricos en (Fe-óxidos).

En los acuíferos profundos, donde las aguas no están en contacto con vidrios volcánicos ricos en arsénico, la presencia del oligoelemento es notablemente inferior, como lo determinan numerosas determinaciones llevadas a cabo en la llanura tucumana (Nicolli y otros, 2000 y 2001).

Las concentraciones de arsénico observadas en aguas freáticas donde predomina el loess eólico-volcánico, están gobernadas o influenciadas fuertemente por el balance de la velocidad de disolución de altas cantidades del mismo y la precipitación y adsorción en los (Fe-óxidos) u otros compuestos con poder absorbente. De todas maneras esto nos permite hipotetizar que toda el área loésica señalada en el mapa 1 constituye una fuente potencial de movilidad del arsénico en el recurso agua pudiendo alcanzar mayores o menores concentraciones por las condiciones Redox, pH, actividad antropogénica y variabilidad climática.

Se podría enunciar que el arsénico presente en los loess de la provincia de Tucumán podrá moverse en el agua considerando primeramente la base geológica que lo sustenta, los aspectos indicados anteriormente y las características hidrogeológicas tales como la porosidad y permeabilidad de la roca donde se almacena el agua y el sentido del flujo subterráneo.

Toda el área loésica de la provincia puede ser considerada potencialmente con atributos geológicos como para incorporar arsénico en el agua y factible de amenazar la salud de la población. El estudio del conjunto de factores determinantes de su movilidad, permitirá desarrollar estrategias de utilización racional del recurso hídrico y la aplicación de tecnologías apropiadas para el abastecimiento de agua para consumo humano de arsénico.



Mapa 2: Distribución de Arsénico en aguas subterráneas en nivel freático en la Provincia de Tucumán. Datos obtenidos del Departamento de Saneamiento Básico del SIPROSA (Año 1996-2000), Dirección de Recursos Hídricos y Cátedra de Hidrogeología de la Facultad de Ciencias Naturales – Universidad Nacional de Tucumán. García, J., C.M. Falcón, A. Tineo y H.B. Nicolli. 2006.

## **Comentario Final:**

El acuífero libre o freático, ampliamente utilizado por pobladores rurales dispersos del este tucumano y oeste santiagueño mediante pozos cavados someros, presenta contenidos de arsénico en concentraciones elevadas, superando la mayoría de las veces, los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud W.H.O. (World Health Organization, 1993 y 1998), la USEPA (United States Environmental Protection Agency) y la CEC (Commission for the European Communities, 1980). En atención a ello, se recomienda no consumir este tipo de aguas, ya que los pobladores quedan expuestos a serios problemas de salud, ocasionando en ingestas prolongadas la aparición de diversos tipos de cánceres asociados al HACRE (Falcón, 2004).

Los máximos valores de arsénico determinados en aguas subterráneas para nuestra provincia alcanzan los 1,6 mg/l (Nicolli *et al.*, 2000 y 2001).

Estudios hidroquímicos de detalle para la llanura oriental de Tucumán determinaron la aparición de otros oligoelementos nocivos para la salud en las concentraciones determinadas, como el flúor, vanadio, uranio, boro, molibdeno y antimonio, todos asociados al vidrio volcánico presente en los loess.

La remediación del HACRE en la llanura tucumana debe incluir, cuando las condiciones lo permitan, un plan de reemplazo de pozos freáticos por otros profundos, con aguas de mejor calidad. Este tipo de captaciones resulta adecuada donde la concentración de población justifica el costo de la obra.

Cuando ya se cuente con pozos profundos, otra alternativa es el tendido de cañería en materiales económicos como la cañería en PVC, con la que se puede abastecer a pobladores dispersos a un costo aceptable (ver caso del tendido de cañería para potable en Los Pereyra)

En aquellos lugares donde estas soluciones no resultan aplicables, sobre todo debido a los elevados por la gran dispersión de la población, se debe prever la aplicación de nuevas técnicas para disminuir la cantidad de arsénico en aguas y de acuerdo a las características químicas particulares que cada caso presenta.

Hasta la fecha, se desconoce la magnitud la enfermedad del HACRE en la Provincia, en especial en los sectores más vulnerables como los niños y ancianos. Al respecto, la evaluación de este mal debe ser encarado de manera conjunta entre el gobierno provincial a través de sus organismos competentes, las Universidades de Tucumán y Tecnológica Nacional y las distintas ONG que realizan actividades en las poblaciones rurales más vulnerables.

Para ello, resulta primordial relacionar la presencia de arsénico en aguas subterráneas con las características de la población afectada, prestando especial interés en la vulnerabilidad social de la misma, íntimamente ligada a la situación socio-económica y cultural.

## Bibliografía Citada

- **Falcón, C. M.** 2004. Hidrogeología del extremo sudoriental de la Sierra de La Ramada y llanura adyacente, Provincias de Tucumán y Santiago del Estero. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales e IML. Universidad Nacional de Tucumán. 450 pp. (Inédita).
- **García, J., C.M. Falcón, A. Tineo y H.B. Nicolli.** 2006. Hidrogeología de la Llanura Tucumana y la presencia de arsénico. Reunión Regional Universitaria "Agua de Bebida sin Arsénico". Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Tucumán.
- **Nicolli H., Tineo A., García J.** 2000.- Estudio hidrogeológico y de calidad del agua en la cuenca del río Salí. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y el Ambiente. Nº 15; pp. 82-100. Buenos Aires.
- **Nicolli, H., A. Tineo; J.W. C.M. Falcón y J. García.** 2001. Trace-element quality problems in ground water from Tucumán, Argentina. In: R. Cidu (Ed.), Proceedings of the Tenth International Symposium on Water-Rock Interaction (WRI 10). T 2: 993-996. Balkema Publishers. Lisse, The Netherlands.
- **NICOLLI, H.B., TINEO, A., GARCÍA, J.W., FALCÓN, C.M., MERINO, M.H., ETCHICHURY, M.C., ALONSO, M.S. y TOFALO, O.R.** 2004. The role of loess in groundwater pollution at Salí River basin, Argentina. En: Water-Rock Interaction, R.B. Wanty y R.R. Seal (editores), vol. 2, pág.1591-1595; A.A. Balkema, Leiden.
- **NICOLLI, H.B., TINEO, A., FALCÓN, C.M., GARCÍA, J.W., MERINO, M.H., ETCHICHURY, M.C., ALONSO, M.S. y TOFALO, O.R.** 2004. Aguas subterráneas con altos contenidos de arsénico en el área de Los Pereyra, Tucumán, Argentina. XXXIII International Congress IAH, 7º ALHSUD; Zacatecas, México (editado en CD).
- **Salomón J.N., Prat M.C., Debord P., González M.C., Laymon P., Mikkan R., Pickenhayn J., Pomel S., Rosier K., Salomón A., Sayago J.M.** 2004. Le piédmont andin argentin: environnement, risques et enjeux. Numéro spécial 2004. Travaux du Laboratoire de Géographie Physique Appliquée. Université de Bordeaux III. 241pp.
- **Sayago, J.M.,** 1995. The Argentine neotropical loess: an overview. Quaternary Science Reviews. Vol. 14. pp. 755-766. Pergamon.
- Sayago J.M.,** Collantes M.M., Karlsson A., Sanabria J. 2001. Genesis and distribution of the Late Pleistocene and Holocene loess of Argentina: a regional approximation. J. Quaternary International 76/77: 247-257.
- **Sayago J.M,** Zinck J.A. and Collantes M.M. 2006. Paleoenvironmental evolution. Chapter 3, pp. 19-32. in: Land use change and land degradation in the western Chaco. A. Zinck (ed). ITC Publication Nº 84.
- **Teruggi M.** 1975. The nature and origin of Argentine loess: In Snaley (ed). Loess: Lithology and Génesis, pp. 195-205.
- **Tineo A; Garcia J; Falcon C.; Rodriguez G.** 1993. Hidrogeologia de la Llanura Tucumana. Provincia de Tucumán, Acta 6 pp 172-176, 12º Congreso Geológico Argentino. Mendoza.
- **Tineo, A.; C. Falcón; J. García; C. D'Urso y G. Rodríguez.** 1999. Capítulo Hidrogeología: Libro Geología de Tucumán. Publicación Especial del Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán. Segunda Edición.. Pág. 259-274. San Miguel de Tucumán.