

# **DISTRIBUCION DEL ARSENICO Y OTROS ELEMENTOS ASOCIADOS EN AGUAS SUBTERRANEAS DE LA REGION DE LOS PEREYRA. PROVINCIA DE TUCUMÁN, ARGENTINA**

**H.B. NICOLLI<sup>1</sup>, A. TINEO<sup>2</sup>, C. M. FALCÓN<sup>2</sup>, J.W. GARCÍA<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>CONICET- Instituto de Geoquímica – Centro de Investigaciones San Miguel - Fuerza Aérea Argentina - Av. Mitre 3100 - San Miguel (Bs. As.)-hbnicolli@fullzero.com.ar

<sup>2</sup>Cátedra de Hidrogeología - Facultad de Cs. Naturales e I.M.L. (UNT) - INSUGEO-CIUNT- Miguel Lillo 205- S.M. de Tucumán TEL/FAX: 0381-4330633 - atineo@csnat.unt.edu.ar; falcon@csnat.unt.edu.ar; jogaba@csnat.-unt.edu.ar

## **Resumen**

La zona de Los Pereyra se localiza en el sector Este de la Provincia de Tucumán. Los centros urbanos cercanos o vecinos explotan agua de buena calidad mediante perforaciones profundas, mientras que los grupos familiares, solo cuentan con agua de dudosa calidad proveniente de pozos cavados que explotan el acuífero freático. Se analizaron 40 muestras de agua de pozos freáticos y profundos que permitieron caracterizar los distintos acuíferos del sector. Los resultados indican que los acuíferos profundos son aptos para consumo humano, mientras que las aguas del acuífero libre presentan valores elevados de arsénico, flúor y otros elementos, desaconsejándose su uso para bebida. Los elementos determinados están concentrados en materiales de origen volcánico, que forman parte de los sedimentos loésicos cuaternarios retrabajados por procesos fluviales y eólicos, que constituyen el acuífero libre (Nicolli et al., 2001 a y b).

**Palabras claves:** arsénico, freático, Tucumán

## **Abstract**

The rural zone called Los Pereyra is located in the East sector of the Tucuman province. While the urban centers exploit water of good quality from deep wells, the dispersed family groups living in rural area as Los Pereyra, they consume water of low quality coming from the phreatic aquifer through digged wells. Forty water samples were taken in phreatic and deep wells to characterize the aquifers of the area. Results show a good water quality to supply drinking water from the deep wells whereas the high concentrations of arsenic, fluorine and other elements in the water from the phreatic aquifer made such use inadvisable. These elements are concentrated in materials of volcanic origin included in Quaternary loessic sediments which are reworked by fluvial and eolian processes. These sediments make up the phreatic aquifer (Nicolli et al., 2001 a y b).

**Keywords:** arsenic, phreatic, Tucuman

## **INTRODUCCIÓN**

El área de estudio se ubica en el sector Este de la provincia de Tucumán y se extiende por espacio de 30 km a lo largo de la ruta provincial N° 319. Por el norte se accede desde San Miguel de Tucumán por ruta provincial N° 303, hasta su empalme con ruta N° 319 en la localidad de Cañete y por el sur, por ruta provincial N° 320 hasta su empalme con ruta N° 319 en la localidad de Estación Aráoz. Una densa red caminera vecinal posibilita acceder a toda el área de muestreo (Fig. 1).

La zona de Los Pereyra presenta un relieve de suaves lomadas elongadas en sentido noroeste-sudeste, que forman el "Espolón de Tacanas" (Tineo et al., 1998), estructura

profunda que separa la cuenca Hidrogeológica del río Salí al Sur de la cuenca Hidrogeológica de Burruyacu al Norte. El espolón está surcado por extensos cañadones transversales a la estructura. Este sector de la provincia se destaca por la actividad agrícola con un uso intensivo de las aguas subterráneas. Los centros urbanos explotan agua de buena calidad mediante perforaciones profundas, mientras que los grupos familiares dispersos, como en el área de Los Pereyra, solo cuentan con agua de dudosa calidad proveniente de pozos cavados a poca profundidad.

El objetivo de este trabajo es la caracterización físico-química de las aguas subterráneas en la zona de Los Pereyra, con especial atención en las aguas freáticas y su contenido en elementos perjudiciales para la salud.

### **El arsénico y su relación con las aguas subterráneas**

El arsénico está presente en la mayoría de las aguas subterráneas, aunque generalmente en cantidades pequeñas. En países que presentan serios problemas de contaminación con arsénico, su detección es un tema de gran interés. Existen menciones de enfermedades hídricas asociadas a su presencia en diversas regiones del mundo: Antofagasta (Chile), Minas Gerais (Brasil), Salvador de Arriba y Coahuila (México), Taiwan, Formosa y posiblemente en Perú y Bolivia en la Puna de Atacama (Wong et al., 1998).

El arsénico es tóxico y carcinogénico (Brown et al., 1989) Consecuentemente, la USEPA (1993a y b) y la CEC (1980) establecen en 50  $\mu\text{g/l}$  su contenido máximo en aguas de bebida. La OMS reduce este límite a un valor provisional de 10  $\mu\text{g/l}$  (WHO, 1998) en atención a las últimas investigaciones que destacan el riesgo de contraer cáncer por consumo de aguas con contenidos mayores. Estas normas han sido largamente discutidas, lo que condujo a sugerir límites tan extremos como 2  $\mu\text{g/l}$  (Cantor, 1996)

La ingesta prolongada de aguas con altos contenidos de arsénico puede acarrear serios problemas a la salud de la población. Casos bien documentados de envenenamiento crónico con arsénico son conocidos en el sudoeste de Taiwán (Chen et al., 1996), China (Wang y Huang, 1994) y Bengala Occidental, en la India. En América Latina han sido registrados en México, Chile y en Argentina, dónde las primeras manifestaciones patológicas de principio del siglo XX eran conocidas como "enfermedad de Bell Ville".

El mejor conocimiento de esta enfermedad estableció la pauta de que la zona afectada era 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, Bocanegra et al., 2002).

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 región centro-norte de la provincia de Buenos Aires se hallan contenidos de arsénico que frecuentemente superan los 0,05 mg/l. En el sudoeste, alcanzan hasta 0,15 mg/l, presentándose 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).

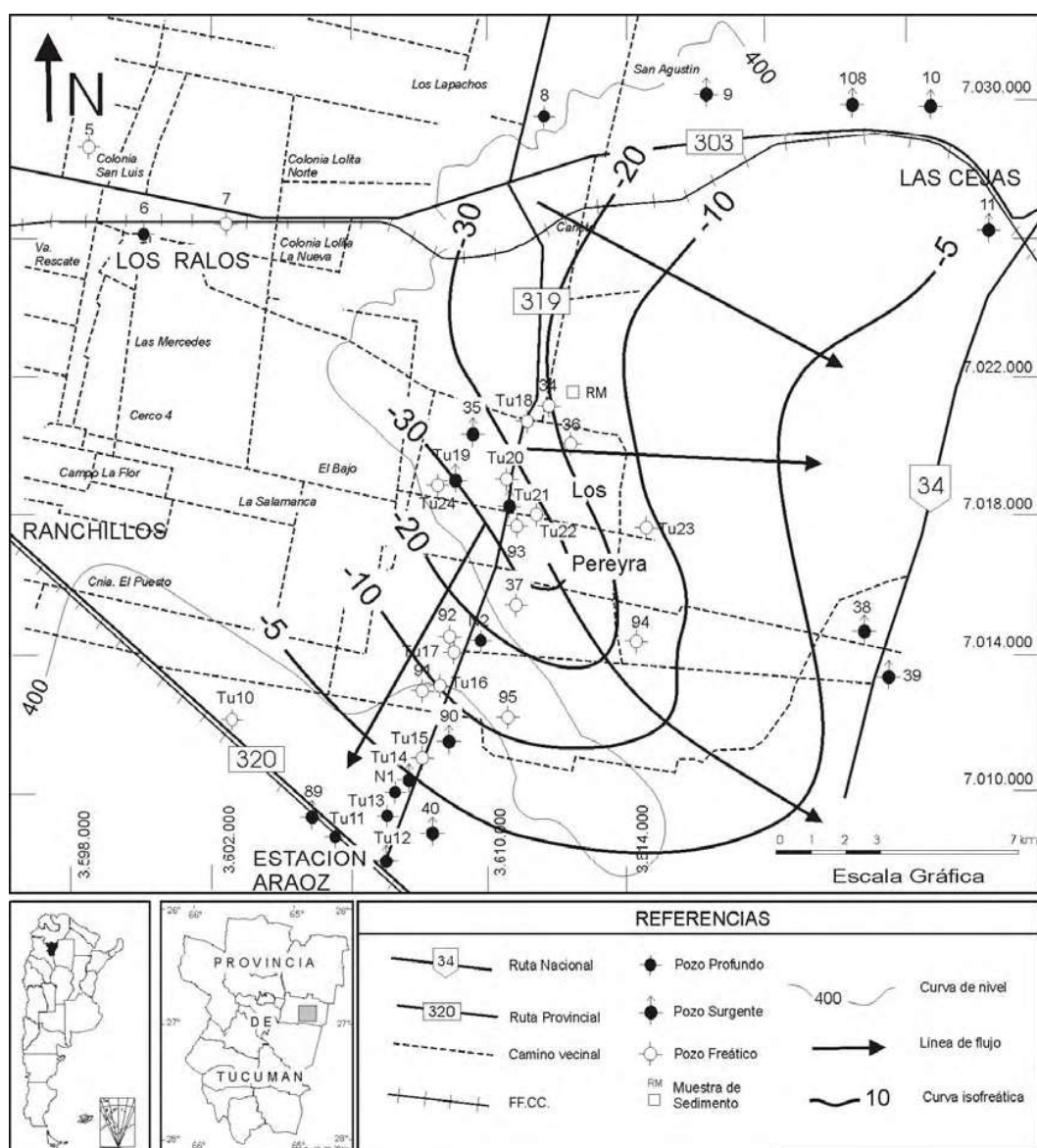


Fig. 1. Localización de los puntos de muestreo en el área de Los Pereyra.

En el 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, se han determinado valores extremos de arsénico en el acuífero libre de 1,6 mg/l, el que es intensamente explotado por la población rural, de carácter disperso (Nicolli et al., 2001b).

En los departamentos La Banda y Robles, provincia de Santiago del Estero, se detectaron casos de hidroarsenicismo desde el año 1983, reportándose defunciones provocadas por la presencia de este elemento en el agua subterránea, que supera valores de 1 mg/l (Herrera et al., 1999). El nivel de la capa freática fue aumentando como consecuencia del incremento del riego a partir del año 1970. Allí existe un horizonte de cenizas volcánicas entre los 2 y 3,50 m de profundidad y el contenido de arsénico en el agua subterránea se ha incrementado debido a que las mismas quedan incluidas en la zona de saturación.

En la provincia de Mendoza se determinó arsénico en gran parte del departamento Lavalle (Alvarez, 1985; Alvarez, 1993) en concentraciones que 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. Los estudios efectuados indican que el arsénico en el agua subterránea proviene de las cenizas volcánicas que acompañan los sedimentos aluviales de numerosas cuencas hidrográficas ubicadas en la vertiente oriental de la precordillera.

## **METODOLOGÍA**

El estudio planteado en este trabajo consistió en el muestreo y análisis de aguas de más de 40 pozos freáticos y profundos especialmente seleccionados, que permitieron caracterizar químicamente los distintos acuíferos del sector de Los Pereyra. Se determinaron las variables físico-químicas de temperatura, turbidez, pH, conductancia específica, sólidos disueltos totales, Eh, dureza, O<sub>2</sub> disuelto, D.Q.O., D.B.O., alcalinidad, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SiO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, y los elementos As, F, V, U, Mo, Sb, B, Be, Se, Fe y Mn.

Las muestras fueron analizadas en laboratorios del Instituto de Geoquímica (INGEOQUI) del Centro de Investigaciones San Miguel dependiente de FFAA. Las operaciones de muestreo en los puntos seleccionados y las técnicas y procedimientos utilizadas en laboratorio han sido normalizadas de acuerdo a pautas del U.S. Geological Survey (1979); Environmental Protection Agency (1993a y b) y bajo normas de la APHA et al. (1992).

## **HIDROGEOLOGIA**

La llanura oriental de Tucumán, que incluye al área de Los Pereyra, presenta una importante cubierta loésica de 10 a 30 m de espesor, que interdigita frecuentemente con depósitos aluviales arenosos finos y niveles de ceniza volcánica y tosca. En ella se desarrolla el acuífero libre de la región (Falcón, 2004). Estos depósitos corresponden al loess Subtropical definido por Sayago (1995) destacando las marcadas coincidencias en cuanto a composición mineralógica y química con el loess Pampeano (Teruggi, 1957), pero lo diferencia de este último por su granulometría, limo arenosa para el Pampeano y limo arcilloso para el Subtropical.

Sayago y otros (1998) destacan las marcadas similitudes existentes entre los loess pleistocénicos y holocénicos, especialmente en sus características intrínsecas (mineralogía y tamaño de grano) y extrínsecas (color, consistencia, forma de erosionarse). Resalta que el loess holocénico tiene una menor homogeneidad textural y que en ambos, predominan la illita y la caolinita en la fracción arcilla. Proponen que el loess holocénico es producto de la denudación y retransporte del loess pleistocénico.

Martín (1989) reconoce la existencia de este acuífero en el sector noroccidental de la provincia de Santiago del Estero y lo equipara con la Formación Pampa (Frengüelli, 1920) de edad cuaternario. También sería equivalente a lo que Bonaparte y Bobovnikov (1974) denominan Formación Tucumán, a la que asignan una Edad Mamífero Lujanense (Pleistoceno tardío) basados en su contenido paleontológico (*Glyptodon* cf. *Glyptodon reticulatus*).

El factor topográfico controla la profundidad del nivel freático y también influye en la velocidad y dirección del flujo subterráneo. Mediciones realizadas en el campo, determinaron niveles freáticos entre 1,5 y 25 m de profundidad, con un flujo que diverge desde la divisoria de aguas dada por la dorsal, tanto al noreste como al sudoeste. La existencia de cañadones interpuestos a la estructura principal, determina áreas menores con comportamientos hidráulicos propios (Falcón, op cit.)

Los niveles más profundos se presentan en el filo de la dorsal, que se eleva hasta 30 m por encima del relieve circundante. Aquí, la profundidad del nivel limita la explotación del acuífero por tratarse de pozos excavados a pico y pala y sin revestimiento interior. La ausencia de revestimiento obedece a la relativa estabilidad que presentan los materiales limo-loésicos que constituyen las paredes del pozo. La extracción del agua se realiza a balde para niveles someros y con pequeñas bombas de aspiración para niveles profundos. Los caudales de explotación son pequeños.

La recarga del acuífero libre ocurre en la región pedemontana de las serranías del oeste, existiendo recargas localizadas cuando el acuífero se interdigita con materiales permeables de los numerosos paleocauces que recorren la llanura. Cerca del límite con Santiago del Estero se observan depresiones semicirculares que actúan como cubetas de alimentación, favoreciendo la infiltración y aumentando el nivel freático en esos puntos. Son el producto de una red de drenaje centrípeta, que aprovecha cubetas de deflación preexistentes.

El comportamiento de las curvas de isopiezas para perforaciones profundas también refleja la influencia de la Dorsal, con un flujo que diverge desde ella en dirección noreste y sudoeste y niveles piezométricos que varían entre -40 m y + 5m.

## HIDROGEOQUIMICA

Las determinaciones hidrogeoquímicas permitieron establecer que las aguas de niveles profundos son aptas para consumo humano, mientras que las aguas freáticas presentan valores elevados en F, As y otros elementos, según normas nacionales e internacionales (CAA, 1994; OMS. y USEPA.) que hacen desaconsejar su utilización por parte de la población (Falcón, *op cit.*). Los contenidos mínimos, máximos, media aritmética y mediana de elementos en pozos freáticos, profundos y sedimentos loésicos del área de estudio son expuestos en las Tablas 1, 2 y 3.

En aguas subterráneas oxidantes, como la de Los Pereyra, la mayor parte de los elementos tienden a movilizarse como aniones complejos (molibdato, vanadato, borato, uranato, etc.) y otros complejos de F con B, Fe<sup>+3</sup> y Al. Esas aguas son bicarbonatadas mayoritariamente, con altos valores de pH (entre 7,2 y 8,6) y controladas por la reacción de los carbonatos (Nicolli, *op cit.*).

Tabla 1. Contenido de elementos en pozos freáticos.

Elemento	Mínimo	Máximo	Media aritm.	Mediana
F (µg/l)	149	8.740	1.380	683
As (µg/l)	15,8	1.610	160	43,2
V (µg/l)	17	1.090	148	70,4
U (µg/l)	5,9	155	37	23,7
B (µg/l)	244	6.740	2.130	1.410
Sb (µg/l)	0,05	0,46	0,16	0,14
Mo (µg/l)	0,5	90,1	18,1	8,2

Tabla 2. Contenido de elementos en pozos profundos.

Elemento	Mínimo	Máximo	Media arit.	Mediana
F (µg/l)	140	658	286	212
As (µg/l)	15,7	28,6	20,46	19,5
V (µg/l)	19,2	69,9	36,43	28,4
U (µg/l)	2,24	7,39	4,6	4,24
B (µg/l)	223	760	487,1	516
Sb (µg/l)	0,06	0,11	0,08	0,08
Mo (µg/l)	4,5	21,1	10,72	8,3

Tabla 3. Contenido de elementos en sedimentos loésicos.

Elemento	Mínimo	Máximo	Media arit.	Mediana
F (µg/l)	534	862	704	750
As (µg/l)	6	14	9,8	10
V (µg/l)	53	99	81	85
U (µg/l)	3,62	12,4	5,1	4
B (µg/l)	42	72	59	62
Sb (µg/l)	0,5	1	0,8	0,8
Mo (µg/l)	<2	<2	<2	<2

Esas aguas están subsaturadas con respecto a especies minerales de As. Se aprecia la ocurrencia de variadas especies con una alta capacidad de sorción (mica-K, caolinita, montmorillonita cálcica, illita, clorita) a las que se agregan óxidos y oxi-hidróxidos de Fe y Al (hematita, goethita,  $Fe(OH)_3$  (a), gibbsita) que, por su alta capacidad de sorción, retienen As y otros elementos asociados, restringiendo su movilidad en las aguas subterráneas y regulando su distribución en esos acuíferos. El fenómeno de sorción indicado, se ve limitado por aguas con altos valores de pH y contenido de  $HCO_3^-$  (Figs. 2 y 3). En ellas pueden ocurrir fenómenos de desorción que liberan As y otras especies aniónicas, aumentando sus contenidos en aguas de niveles someros (Nicolli et al., 2001a).

El F excede las normas de aptitud de USEPA en el 60 % de las muestras de aguas freáticas, con contenidos máximos de 8.740 µg/l, en tanto que la totalidad de las aguas de niveles profundos están dentro de las normas, con contenidos máximos de 658 µg/l y mediana de 212 µg/l. Para aguas freáticas más del 50% de las muestras tienen contenidos de As que exceden los límites de USEPA. Los mayores valores alcanzan los 1.610 µg/l. Las aguas de niveles profundos están en su mayoría dentro de los límites establecidos para As, con máximos de 28,6 µg/l y mediana de 19,5 µg/l.

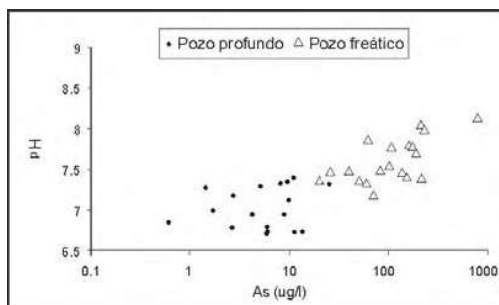


Figura 2 - Relación Arsénico vs. PH

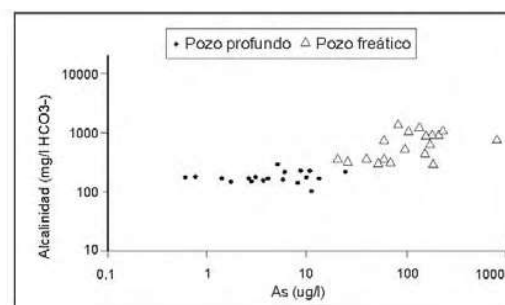


Figura 3 - Relación Arsénico vs. Alcalinidad

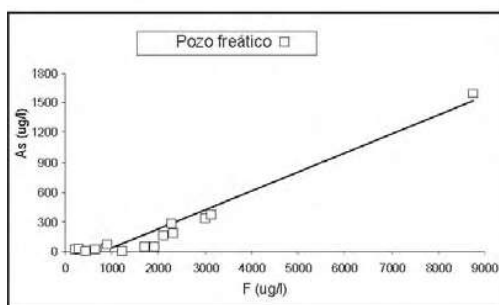


Figura 4 - Relación Flúor vs. Arsénico

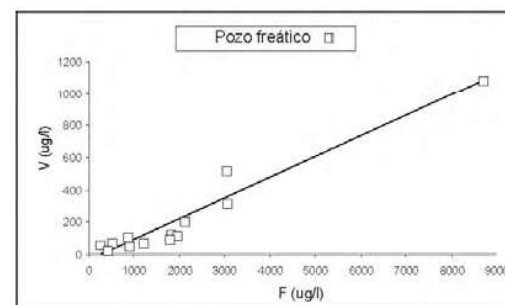


Figura 5 - Relación Flúor vs. Vanadio

Las correlaciones establecidas para elementos en aguas freáticas son todas lineales positivas, con excelentes ajustes en las curvas de regresión de F vs. As (Fig. 4) con  $R^2 = 0,95$  y  $r = 0,98$  y F vs. V (Fig. 5) con  $R^2 = 0,95$  y  $r = 0,97$ , ajustes próximos al 100%. El As vs. U y V presenta índices  $R^2 = 0,86$  y  $0,95$  y  $r = 0,94$  y  $0,98$  (Falcón, *op cit.*), que indican una estrecha relación entre estos elementos, su origen y movilidad. En aguas profundas se destaca la correlación fuertemente negativa entre pH vs. F y As ( $r = -0,79$  y  $-0,82$ ), donde a una disminución del pH, aumenta el contenido de estos elementos, debido a una disolución mayor de  $\text{HCO}_3^-$ .

En cuanto a la composición química, más del 70% de las muestras de aguas freáticas son bicarbonatadas sódico-potásicas. Las restantes presentan aguas sulfatadas cálcicas y sulfatadas sódico-potásicas, apreciándose en ellas una escasa evolución química, con aporte del substratum terciario que las enriquece en yeso. Para aguas de niveles profundos la diferenciación alcanza hasta los cloruros con un 5 % y un 57% de aguas sulfatadas sódico-potásicas. El resto corresponde a aguas bicarbonatadas cálcicas y sódico-potásicas.

## CONCLUSIONES

1. No hay una tendencia regional de la distribución de elementos en el acuífero freático, jugando un papel fundamental los fenómenos geomorfológicos y topográficos locales.
2. Se comprobó una correlación altamente significativa entre As, F y V ( $r > 0,90$ ) Todos se concentran en aguas bicarbonatadas y pH altos (entre 7,2 y 8,6, mediana 7,7).
3. Los elementos mencionados se concentran en materiales de origen volcánico que forman parte de los sedimentos loésicos cuaternarios, re TRABAJADOS por procesos fluviales y eólicos, que constituyen el acuífero freático y son la fuente de esos elementos (Nicolli et al., 2001).
4. La ingesta de este tipo de aguas expone a la población a graves enfermedades como el HACRE (“HIDRO ARSENICISMO CRÓNICO REGIONAL ENDÉMICO”).
5. La dificultad de abastecer a los pobladores con agua potable de red y una cultura arraigada en la explotación del acuífero libre, dificultan la erradicación del HACRE en el área de Los Pereyra y regiones vecinas de Tucumán y Santiago del Estero.
6. La remediación del HACRE en la zona de estudio debe incluir un plan de reemplazo de las captaciones someras por otras profundas con aguas de mejor calidad y una evaluación médica de la enfermedad. Hasta la fecha, se desconocen en la provincia los efectos y magnitud de esta enfermedad, en especial en los sectores más vulnerables (niños y ancianos).

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez A.**, 1985. Arsénico en el agua subterránea en el área cultivada del departamento Lavalle, provincia de Mendoza. CRAS (IT-61).
- Alvarez A.**, 1993. Salinización de acuíferos y contenido de flúor, arsénico y nitrato en la zona norte de la provincia de Mendoza. CRAS (DI-214).
- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Waterworks Association), WPCF (Water Pollution Control Federation)**, 1992. Métodos normalizados para el análisis para aguas potables y residuales. Traducción del Inglés, Ed. Díaz de Santos. 760 p. Barcelona.
- Baliña L.M., Valdez R.P., Costa Córdoba H.**, 1981. El arsénico y sus complicaciones. Revista Argentina de Dermatología: 62, 169-175.
- Biagini R.E.**, 1975. Hidroarsenicismo crónico en la República Argentina. Med. Cut. I.L.A., Vol. 6, 423-432. Buenos Aires.
- Bocanegra O.C., Bocanegra E. M., Alvarez A.A.**, 2002. Arsénico en aguas subterráneas: su impacto en la salud. Groundwater and Human Development. Copia en CD: 21-27. Mar del Plata.

- Bonaparte J.F., Bobovnikov J.**, 1974. Algunos fósiles pleistocénicos de la provincia de Tucumán y su significado estratigráfico. *Acta Geológica Lilloana*. Vol. XII (11), 169-188.
- Brown K.G., Boyle K.E., Chen C.W., Gibb H.J.**, 1989. A dose response analysis of skin cancer from inorganic arsenic in drinking water. *Risk Anal.* Vol. IX, 519-528.
- Cabrera A., Blarasín M.**, 2001. Geoquímica del flúor y arsénico en el agua subterránea del sur de Córdoba, Argentina. In: Medina A., Carrera J., Vives L. (Eds.), *Congreso Las Caras del Agua Subterránea*. Tomo I, 17-25. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- Cantor K.P.**, 1996. Arsenic in Drinking Water: How Much is Too Much? *Epidemiology*, VII, 113-114.
- Carrica J., Albouy R.**, 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.
- Chen S.L., Dzeng S.R., Yang M.H., Chiu I.CH., Shieh G.M., Wai C.M.**, 1996. Arsenic species in groundwater of the Blackfoot disease area, Taiwan. *Environmental Science Technology*, XXVIII, 877-881.
- CAA (Código Alimentario Argentino)**, 1994. Calidad de aguas de bebida. Capítulo XII. E-243, DNPH. 5 p. Buenos Aires.
- Falcón C.M.**, 2004. Hidrogeología del sector 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 (Inédita).
- Frenguelli J.**, 1920. Contribución al conocimiento de la geología de Entre Ríos. *Boletín Academia Nacional de Ciencias de Córdoba*, Tomo I (24), 55-57.
- Herrera H., Farías B., Martín R., Cortés J., Storniolo J., Thir J.M.**, 1999. Origen y dinámica del arsénico en el agua subterránea del departamento Robles, provincia de Santiago del Estero. *Hidrología Subterránea*. Serie Correlación Geológica, N° 13, 263-272.
- Martín A.**, 1989. Hidrogeología de la región chaqueña semiárida de Santiago del Estero. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales e IML. Universidad Nacional de Tucumán (Inédita).
- Nicolli H.B., Smedley P.L., Tullio J.O.**, 1997. Aguas subterráneas con altos contenidos de flúor, arsénico y otros oligoelementos en el norte de la provincia de La Pampa: estudio preliminar. Congreso Internacional sobre Aguas y Workshop sobre Química Ambiental y Salud (Resúmenes) III-4. Buenos Aires.
- Nicolli H.B., Tineo A., Falcón C.M., Merino M.H.**, 2001a. Movilidad del arsénico y otros oligoelementos asociados en aguas subterráneas de la Cuenca de Burruyacu, provincia de Tucumán, República Argentina. In: Medina A., Carrera J., Vives L. (Editores). *Congreso Las Caras del Agua Subterránea*. Tomo I: 27-33. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- Nicolli H., Tineo A., García J.W., Falcón C.M.**, 2001b. Trace-element quality problems in ground water from Tucumán, Argentina. In: Cidu R. (Ed.), *Proceedings of the 10° International Symposium on Water-Rock Interaction (WRI 10)*. Tomo II, 993-996. A.A. Balkema Publishers. Lisse. The Netherlands.
- Wong S.S., Tan K.Ch., Goh Ch.L.**, 1998. Cutaneous manifestations of chronic arsenicism: Review of seventeen cases. *J. Am. Acad. Dermatol.*, 38,179-185.
- Sayago J.M.**, 1995. The Argentine neotropical loess: an overview. *Quaternary Sciences Reviews*, XIV, 755-766. London.
- Sayago J.M., Powell J.E., Collantes M.M., Neder L.V.**, 1998. Capítulo Cuaternario: Libro Geología de Tucumán. Publicación Especial Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán. 2° Edición, 111-128. San Miguel de Tucumán.
- Smedley P., Macdonald H., Nicolli H.B., Barros A., Tullio J., Pearce J.**, 2000. Arsenic and other quality problems in groundwater from northern La Pampa province, Argentina. Nottingham. TR WC/99/36. British Geological Survey.
- Tineo A., Falcón C.M., García J.W., D'Urso C., Rodríguez G.**, 1998. Capítulo Hidrogeología: Libro Geología de Tucumán. Publicación Especial Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán. 2° Edición, 259-274. San Miguel de Tucumán.
- Teruggi M.**, 1957. The nature and origin of Argentine loess: In: Smaley I. (Ed.), *Loess lithology and genesis*, 195-295. London.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency)**, 1993a. Subsurface Characterization and Monitoring Techniques. A desk reference guide Vol. I: Solids and Ground Water, App. A and B. EPA/625/R-93/003a.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency)**, 1993b. Subsurface Characterization and Monitoring Techniques. A desk reference guide Vol. II: The Vadose Zone, Field Screening and Analytical Methods, App. C and D. EPA/625/R-93/003b.



- U.S. Geological Survey**, 1979. Methods for determination of inorganic substances in water and fluvial sediments. In M.W. Skougstad, M.J. Fishman, L.C. Friedrnan, D.E. Erdmann, y S.S. Duncan (Eds.) U.S. Geol. Survey Techniques of Water-Resources Investigations. Book 5, chapter A1, 626 p. USA.
- Wang L., Huang J.**, 1994. Chronic arsenics from drinking water in some areas of Xinjiang, China. In: J.O. Nriagu (Ed.) Arsenic in the environment. Part 11: Human health and ecosystem effects, 159-172. Wiley, New York.
- World Health Organization**, 1981. Environmental Health Criteria 18: Arsenic. W.H.O. Géneve.
- WHO (World Health Organization)**, 1998. Guidelines for drinking-water quality. Addendum to 1993 WHO, volume. Géneve.