

# COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SUR DE CÓRDOBA: LÍNEA DE BASE HIDROQUÍMICA O FONDO NATURAL EN REFERENCIA A ARSÉNICO Y FLÚOR

Cabrera, A. \*, M. Blarasin\*, E. Matteoda\*, G. Villalba y M. L. Gomez\*. 2005.

\*Dpto. de Geología. Fac. de Cs. Ex., Fco.-Qcas. y Nat. UNRC, Río Cuarto. Córdoba. Argentina.

[www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)

Volver a: [Aguas de bebida](#)

## RESUMEN

El estudio del recurso hídrico subterráneo al Sur de Córdoba muestra que son numerosos los pobladores rurales y, en algunos casos, urbanos, que consumen aguas no aptas, en la mayoría de las ocasiones por desconocer la calidad del agua que utilizan y/o las posibles afectaciones que a la salud produce la presencia de altos tenores de sales, nitratos, Arsénico, Flúor, etc. Para evaluar los elementos As y F en relación al fondo natural o línea de base hidroquímica se realizó un estudio estadístico descriptivo. Así, la mediana como parámetro ilustrativo del valor característico de As en el acuífero freático resultó muy similar para todo el Sur de Córdoba entre prácticamente 0 y 100 µg/l destacándose sólo como valor más alto la mediana de Alejo Ledesma con tenor de 300 µg/l. En los gráficos de caja ("box plots") todas las localidades muestran sesgo positivo lo que indica dispersión de valores por encima de este valor característico y exhiben más valores extremos o "outliers" aquellas en donde hay más heterogeneidad litológica y de circuitos de flujo del agua. Para F, se observa mayor variabilidad de la mediana (entre 1,3 y 7,5 mg/l), destacándose la cuenca del arroyo Chaján con la más alta (7,5 mg/l) y la de Río Cuarto con la más baja (1,3 mg/l) en ambos casos determinadas por la fuerte huella litológica. Debe destacarse que dado que As y F no derivan de contaminación antrópica, los valores atípicos ("outliers") son parte del fondo natural de la composición del agua. Se han tomado medidas para que esta información llegue a los pobladores y gestores y así paliar posibles consecuencias negativas.

Palabras clave: Arsénico-Flúor-calidad de agua - fondo natural

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

Al Sur de la provincia de Córdoba, el recurso hídrico más utilizado para todas las actividades que se desarrollan es el agua subterránea, en particular la del acuífero freático. De esta manera, el agua se convierte en un recurso natural de vital importancia para el desarrollo del hombre porque además de ser fuente de recursos es sumidero de residuos. Aunque es la usada casi con exclusividad para todas las actividades (consumo humano, ganadero, riego e industrial), abasteciendo a numerosas localidades y productores rurales, en numerosas ocasiones presenta escasa aptitud. Esto se debe principalmente a la presencia de tenores elevados de sales disueltas totales, Arsénico y Flúor (vinculados a la calidad natural del agua en la región) y, a nitratos y microorganismos patógenos (indicadores principales de la degradación que el recurso sufre al ser utilizado como sumidero de residuos).

La presencia en altas concentraciones de Arsénico (As) y Flúor (F) en el agua subterránea se convierte en un riesgo muy importante para la salud de los pobladores que la consumen. Pueden además afectar a ganado y cultivos, produciendo en ellos efectos tóxicos en determinadas concentraciones o acumulándose en los organismos, para luego formar parte de las cadenas alimentarias (Nriagu, 1994). Estos aspectos necesitan además de una discusión más profunda y en algunos casos, la revisión de los límites de aptitud para diferentes usos del agua, ya que han sido fijados en diferentes valores por diversos organismos internacionales o nacionales: Organización Mundial de la Salud (OMS), Código Alimentario Argentino (CAA), Dirección Provincial de Aguas (DIPAS), entre otros. La disparidad de criterio al fijar los límites de aptitud resulta compleja y a veces peligrosa, ya que una misma muestra puede resultar apta o no en función de las normas que se utilicen. Además, el cambio de valores límites sin suficientes estudios epidemiológicos regionales puede conducir al surgimiento de problemas socio-económicos mayores. Por ejemplo en Argentina, recientemente surgió un proyecto de Ley de la Cámara de Diputados de la Nación que bajaría el límite de aptitud para As de 50 a 10 µg/l con lo cual quedaría mucha más gente aún, tanto en áreas rurales como urbanas, sin poder consumir el agua de la que disponen. Por ello, sería conveniente que este proyecto de Ley se complemente con otras políticas socio-económicas, tanto a nivel de municipios (centros urbanos) como casos puntuales (pobladores rurales), tales como apoyo oficial a las comunidades en la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento de agua (prospecciones hidrogeológicas) o en tecnologías accesibles para abatir los tenores excesivos de elementos no deseados.

Debido a la existencia de esta problemática típica de la Llanura Chacopampeana, la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) se encuentra realizando diversos estudios en el marco de proyectos de investigación de Geología Ambiental, a escalas regionales y de detalle, con el fin último de transferir los resultados de dichas investigaciones al resto de la sociedad, de diversos modos y en distintas oportunidades, para mejorar la calidad de vida de la gente. Una de las hipótesis que se manejan en los proyectos relacionada a esta temática es que los sistemas de aguas subterráneas poseen vulnerabilidad a cambios, por lo que el monitoreo continuo de indicadores de calidad que reflejen el estado del sistema y las presiones sobre él ejercidas, permiten detectar “umbrales” o “líneas de base” a partir de los cuales se pueden establecer anomalías, definiendo cambios ambientales.

Sobre esta base, el objetivo principal de este trabajo es presentar los aspectos más importantes a la calidad del acuífero freático en el Sur de Córdoba, en particular lo vinculado a la presencia de los elementos Arsénico y Flúor como integrantes de la línea de base hidroquímica o fondo natural del agua subterránea en la región. Se discute además la problemática vinculada a la escasa disponibilidad de aguas aptas para consumo humano en virtud de la presencia de ambos elementos químicos.

## LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y EL FONDO NATURAL O LÍNEA DE BASE HIDROQUÍMICA

Existen 3 tipos de cambios en los sistemas de aguas subterráneas que son sensitivos a procesos que ocurren a escala de tiempo de cortas (50-100 años), período de más inmediato interés para evaluar con **indicadores ambientales** (Edmunds, 1996): 1) **variaciones en los niveles de aguas subterráneas** (naturales e inducidos), para monitoreo de la disponibilidad, sustentabilidad del agua y afectación a la infraestructura, 2) **cambios en la química del fondo natural (“baseline chemistry”)**, destacándose entre otros aquellos vinculados a la atenuación de ácidos y disolución mineral, reacciones redox y cambios en la salinidad, 3) **impactos humanos en la calidad de aguas subterráneas**: relacionados a la contaminación urbana, industrial y agrícola (pudiendo ser reconocida por 3 indicadores generales, aumento en  $\text{Cl}^-$ , COD y  $\text{HCO}_3^-$ ).

En la actualidad, particularmente en los países desarrollados, se está trabajando en una definición del concepto de **fondo natural** de la calidad del agua subterránea, que sea rigurosa científicamente, realista desde el conocimiento de la hidrogeología y fácil de aplicar por gestores y políticos (Manzano et al., 2003). Los términos “**fondo**” y “**umbral**” se han utilizado de forma clásica en muchas disciplinas científicas para identificar concentraciones anómalas respecto a valores “típicos”. Por fondo natural (“**baseline**”, “**background**”) de la calidad del agua subterránea, la Unión Europea entiende “aquellas condiciones físico-químicas propias de la misma que se derivan de procesos puramente naturales” (Manzano et al., 2003). Así, cualquier impacto sobre la calidad del agua podrá evaluarse por comparación con ese fondo natural, cuyas características se utilizan de referencia para evaluar el éxito de programas de recuperación. Esto se debe a que la contaminación es antropogénica y se sobrepone al fondo natural espacial y temporalmente, pudiendo reconocerse mediante trazadores o indicadores químicos o isotópicos. Según Manzano et al. (2003) se debe tener en consideración que el fondo natural establecido depende de los datos disponibles, y a menudo está sesgado debido a cuestiones tales como la obtención de muestras. Los mismos autores opinan que la forma de elegir la metodología a seguir para el cálculo del fondo natural depende de las concentraciones características (medias o medianas) de los distintos componentes y su distribución en torno a esos valores. Si la distribución es normal o lognormal entonces su dispersión puede definirse mediante desviaciones estándares pero con frecuencia esto no ocurre debido a que son resultado de más de un proceso. En el proyecto BaSeLiNe de la Unión Europea se decidió adoptar como definición operacional del fondo natural la siguiente: utilizar la **mediana como parámetro más ilustrativo del valor característico de un componente y los percentiles 2,3 % y 97,7%** para ilustrar su rango de variación ya que esto asegura que el 95,4 % de la población estudiada está dentro de este rango (Manzano et al., 2003). Hay que tener en consideración que en las poblaciones que no tienen distribución normal o lognormal los valores anómalos (“outliers”) pueden ser parte del fondo natural de la composición del agua, y no el resultado de contaminación antrópica. La variación del fondo natural puede ser del mismo orden de magnitud o incluso mayor que la causada por contaminación. En el Sur de Córdoba se están realizando estudios hidroquímicos, que permitan de un modo gradual, la caracterización del fondo natural o línea de base hidroquímica, además del monitoreo de indicadores específicos para detectar cambios ambientales.

## ASPECTOS AMBIENTALES VINCULADOS A LA PRESENCIA DE ARSÉNICO Y FLÚOR EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO

Todos los elementos esenciales que el hombre necesita derivan en principio del geoambiente (rocas, suelos, agua y aire). Según Aswatharayana (1995) la cantidad de elemento traza presente en los alimentos depende de: 1) La **geodisponibilidad** que puede definirse como aquella porción del contenido total de un metal (o de un compuesto portador de un metal) en un material terrestre, que puede ser liberada al ambiente a través de procesos mecánicos, químicos o biológicos. 2) La **biodisponibilidad**, que es la fracción de elemento presente en alimentos

de origen vegetal o animal que es capaz de ser asimilada por el hombre. Para que un elemento *esté biodisponible* *deber estar primero geodisponible*. Esto muestra claramente que a los efectos de predecir, mitigar y remediar los efectos potenciales de los metales en la salud humana es crucial entender: a) las características geológicas, mineralógicas y químicas de la ocurrencia de los metales en la corteza terrestre, y b) los procesos geoquímicos y bioquímicos que controlan su movilidad en el ambiente.

Es por todos conocido el hecho que **Arsénico** es un elemento tóxico y cancerígeno cuya ingesta diaria y continua de dosis elevadas en el agua de bebida producen como efecto principal en los seres humanos el arsenicismo crónico. En Argentina esta enfermedad es conocida con el nombre de HACRE (Hidroarsenicismo crónico regional endémico) y los problemas que comúnmente se manifiestan son aquellos vinculados a desórdenes en la piel, hiperqueratosis y cáncer de piel, como así también problemas cardiovasculares, neurológicos, hematológicos, gastrointestinales, renales y respiratorios (Aswatharayana, 1995). En Argentina, las escasas investigaciones llevadas a cabo, principalmente al Norte del país, enfocan su estudio al cáncer de piel y otras enfermedades dérmicas, pero son pocas las que sugieren además, incremento del riesgo de cáncer de vesícula y pulmón (Biaggini, et al., 1993). Resultados con animales de laboratorio indican que el As trivalente es más tóxico que el pentavalente debido a que éste último tiene menor efecto en actividades enzimáticas, pero in vivo éste **puede ser reducido a compuestos trivalentes**. La toxicidad del As depende del estado de oxidación, estructura química y solubilidad en el medio biológico. La escala de toxicidad decrece de la siguiente manera:  $\text{Asina} > \text{As}^{+3}$  inorgánico  $> \text{As}^{+3}$  orgánico  $> \text{As}^{+5}$  inorgánico  $> \text{As}^{+5}$  orgánico  $>$  compuestos Arsenicales y As elemental (Ng et al, 2003). A nivel mundial, el valor guía de As para consumo humano establecido por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y la OMS es de 10  $\mu\text{g/l}$ . En Córdoba, la DIPAS establece el límite máximo de tolerancia de As en 100  $\mu\text{g/l}$ , mientras que para el país el CAA lo ha fijado en 50  $\mu\text{g/l}$ .

Respecto al **Flúor**, estudios epidemiológicos demuestran que para producir síntomas de toxicidad crónica se requiere de la ingesta diaria y continua de aguas con más de 10 mg/l. Los síntomas principales en el hombre son la fluorosis dental y ósea. El límite admitido por la DIPAS en Córdoba concuerda con el establecido a nivel país y mundial, y es variable en función de la temperatura media de la zona, ya que asume que mientras mayor sea ésta el individuo consume mayor cantidad de agua y por lo tanto el límite debe ser menor. Para el Sur de Córdoba, con una temperatura media de la zona de 16°C, el límite asumido es de 1,3 mg/l. La EPA (Environmental Protection Agency) ha subido el límite a 4 mg/l, porque lo considera sólo como causante de un problema estético.

## ARSÉNICO Y FLÚOR EN RELACIÓN AL FONDO NATURAL DE LA CALIDAD DE AGUA

Existen condicionamientos hidrogeológicos diversos para que estos elementos entren en disolución, tales como la relación con los distintos circuitos de flujo de agua subterránea, con las litologías del acuífero, con la profundidad de captación, con el paso del tiempo y con el carácter hidráulico del acuífero. Según Smedley and Kinniburgh (2002), Nicolli et al. (1997), Blarasin (2003), entre otros, la fuente principal de Arsénico y fluoruros en el agua de la llanura Chaco-Pampeana son los componentes principales de los sedimentos loésicos, tales como vidrio, minerales y fragmentos líticos volcánicos, y su presencia en solución se debe a procesos de disolución e intercambio de iones. Los primeros autores consideran que As puede encontrarse adsorbido a coprecipitado con óxidos e hidróxidos de metales (especialmente de Fe y Mn, pudiendo generarse la desorción y su paso al agua bajo altos pH), adsorbido a la superficie de minerales arcillosos y asociado con carbono orgánico. As y F presentan normalmente una alta afinidad geoquímica (elevado coeficiente de correlación positiva) y los más elevados tenores de ambos están vinculados a condiciones geoquímicas que favorecen su movilización, en general relacionadas a acuíferos instalados en sedimentos muy finos (loésicos), bajas velocidades de circulación, pH altos, ambientes oxidantes y aguas bicarbonatadas sódicas (Blarasin, 2003).

Al Sur de Córdoba se ha detectado la presencia de estos oligoelementos en numerosos lugares, superando en muchos de ellos ampliamente los límites admisibles por el CAA y DIPAS, lo cual genera problemas cuando se necesita disponer de agua potable para comunidades rurales y urbanas. En la Figura 1 y en la Tabla 1 se citan ejemplos de los sectores rurales más comprometidos, entre los relevados hasta el presente. De manera de contribuir a la determinación de la línea de base ambiental para el Sur de Córdoba, en primera instancia y siguiendo a Manzano et al. (2003), se establecieron umbrales o “fondos naturales” para As y F, en diferentes sitios.

Se consideró conveniente calcular el fondo natural a través de la mediana de la muestra, así como su variabilidad en función de los percentiles 2,3% y 97,7%, debido a que, en general, la distribución de datos en los distintos sitios elegidos no responde a una ley normal o lognormal. Se procesaron más de 30 datos en cada localidad, de manera de contar con muestras estadísticamente representativas, y si bien en dos áreas la cantidad de datos procesados fue menor, por no contarse, hasta el momento, con la información necesaria computarizada, las mismas fueron igualmente consideradas en el análisis debido a que el estudio estadístico aquí presentado es de carácter exploratorio, y consiste en un análisis descriptivo que tiende a la búsqueda de la ley de regularidad que siguen los fenómenos, considerándose a la información obtenida base preliminar para el inicio del establecimiento

del fondo natural en cada sitio. Como se indicó, cuando se estudian algunos elementos químicos es necesario excluir muestras de agua que se sabe están contaminadas, sin embargo en este caso, para realizar los cálculos en cada área, se **utilizó la muestra completa de datos** ya que, en función de la información disponible y de los modelos hidrogeoquímicos conceptuales elaborados, apoyados con análisis estadísticos uni y multivariados, As y F son considerados componentes netamente naturales de la calidad del agua y no derivados de contaminación antrópica.

Tabla 1. Tenores de F y As al Sur de Córdoba

Acuífero Freático en la zona rural de:	TENORES DE FLÚOR [µg/l]	TENORES DE ARSÉNICO [µg/l]
Laguna Oscura	0,65 – 5,00 mg/l	Vestigios-400 µg/l
San Basilio	0,33 – 2,45 mg/l	50 – 250 µg/l
Adelia María	1,85 – 7,40 mg/l	50 – 300 µg/l
Mte. de Los Gauchos	2,00 – 4,00 mg/l	50 – 400 µg/l
Cca. alta y media Ao Achiras-Del Gato	1,3 - 5,0 mg/l	0 – 100 µg/l
Cuenca media y baja arroyo Barranquita	0,70 – 5,50 mg/l	10 – 400 µg/l
Cuenca Ao Knutsen	1,30 – 5,30 mg/l	10 – 400 µg/l
Alejo Ledesma	1,25 – 11,00 mg/l	Vestigios-1.700 µg/l
Río Cuarto	0,20 – 15,1 mg/l	0 – 700 µg/l
Cca. alta Ao Chucul	0,52 – 11,00 mg/l	0 – 400 µg/l
Cuenca Los Jagüeles	1,40 – 10,60 mg/l	20 – 500 µg/l
Gral. Levalle	0,30 – 5,40 mg/l	50 – 400 µg/l
La Colacha	1,60 – 9,50 mg/l	0 – 250 µg/l
La Brianza	0,95 - 5,00 mg/l	0 – 300 µg/l
Cca. arroyo Barreal	0,30 - 9,29 mg/l	0 – 900 µg/l
Cca. arroyo Chaján	1,75 - 18,00 mg/l	0 – 400 µg/l
Vicuña Mackenna	0,16 –10,5 mg/l	Vestigios – 300 µg/l
Coronel Moldes	2,05 – 7,20 mg/l	54 - 293 µg/l
Malena	1,53 - 8,75 mg/l	100 µg/l
Cca. media y baja Ao Achiras-Del Gato	0,31 – 6,83 mg/l	0 – 550 µg/l

Figura 1. Sectores del Sur de Córdoba con estudios de Arsénico y Flúor en aguas



En la Tabla 2 se muestran los estadísticos más representativos obtenidos en las áreas seleccionadas. Se consideró conveniente representar gráficamente la variación del fondo natural en los diferentes sitios, a través de diagramas de cajas (“box plot”) de manera de mostrar gráficamente las variaciones del valor de la mediana entre sitios y la variabilidad del As y de F respecto a la mediana en cada área seleccionada (Figura 2 A y B). Los

gráficos muestran comportamientos diferentes en cada localidad, aspectos que se describen a continuación. Se advierte que en el caso de As, los tenores muy bajos cercanos a cero, son convertidos a ese valor por el procesamiento informático en virtud de la cantidad de cifras significativas utilizadas (el límite de detección del instrumental es del orden de 0,03  $\mu\text{g/l}$ ).

### COMPORTAMIENTO DEL ARSÉNICO

Tabla 2. Estadísticos más importantes calculados para diferentes áreas estudiadas del Sur de Córdoba

		Arsénico [ $\mu\text{g/l}$ ]	Flúor [mg/l]			Arsénico [ $\mu\text{g/l}$ ]	Flúor [mg/l]			Arsénico [ $\mu\text{g/l}$ ]	Flúor [mg/l]
<b>Cuenca Los Jagüeles</b>	media	173,0	4,2	<b>San Basilio - Monte de Los Gauchos</b>		150,0	2,5	<b>Cuenca Arroyo El Barreal</b>		107,8	2,8
	desvio	137,0	2,0			110,0	1,7			175,8	2,1
	mediana	100,0	3,6			100,0	2,2			45,0	2,2
	Percentil 2,3	20,0	1,7			50,0	0,5			14,4	0,5
	Percentil 97,7	473,0	8,5			361,0	6,6			526,3	7,7
	máx.	500,0	10,6			400,0	7,4			900,0	9,3
	mín.	0,0	1,4			50,0	0,3			0,0	0,3
<b>Vicuña Mackenna</b>	media	80,9	3,2	<b>Zona rural Río Cuarto</b>		84,0	3,0	<b>Cuenca La Colacha</b>		93,5	4,3
	desvio	96,6	1,8			162,0	4,0			57,7	2,5
	mediana	50,0	2,5			0,0	1,3			77,6	3,4
	Percentil 2,3	0,0	1,2			0,0	0,2			27,9	1,6
	Percentil 97,7	300,0	6,5			446,0	14,1			223,1	10,4
	máx.	300,0	6,5			750,0	15,1			238,9	10,5
	mín.	0,0	1,2			0,0	0,2			27,0	1,5
<b>Zona rural Alejo Ledesma</b>	media	412,0	4,0	<b>Zona rural Moldes</b>		63,0	3,4	<b>Cuenca Arroyo Chaján</b>		136,0	8,1
	desvio	417,0	2,1			57,0	2,5			116,0	4,3
	mediana	300,0	3,7			50,0	2,9			70,0	7,5
	Percentil 2,3	5,0	1,3			7,0	0,7			10,0	1,8
	Percentil 97,7	1.562,0	10,0			250,0	10,0			378,7	18,0
	máx.	1.700,0	11,0			250,0	12,0			400,0	18,0
	mín.	5,0	1,3			0,0	0,5			0,0	1,8

La localidad de Alejo Ledesma, con rasgos hidrogeológicos particulares determinados por trayectos y tiempo de tránsitos diferenciales de los flujos de circulación regionales y locales, resalta por presentar la mayor variabilidad en los tenores de As con respecto a la mediana (300  $\mu\text{g/l}$ ), con una distribución simétrica en el 50 % de los datos centrales (datos contenidos entre los percentiles 25 y 75% de 70 y 500  $\mu\text{g/l}$  respectivamente), y asimétrica con fuerte sesgo positivo en el resto de los datos comprendidos entre el percentil 2,3 y 97,7%, encontrándose tenores mínimos de 5  $\mu\text{g/l}$  y máximos fuera del intervalo de confianza, lo que determina la aparición de valores anómalos o "outliers" de hasta 1.700  $\mu\text{g/l}$ .

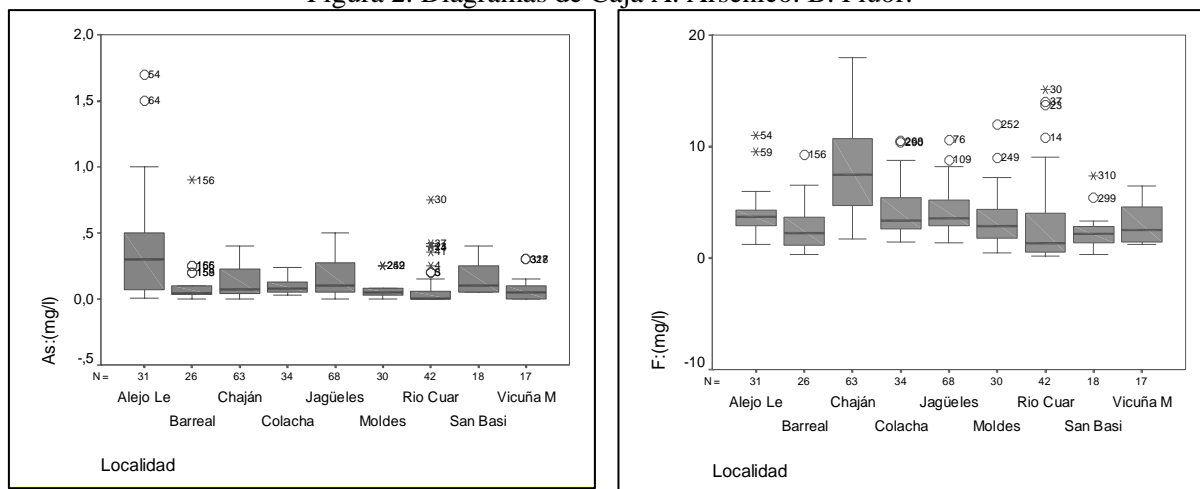
Se contraponen a este comportamiento, la localidad de Moldes que muestra la mínima variabilidad respecto a la mediana, lo que responde a la notoria homogeneidad de rasgos geológicos (litología y geomorfología) y aspectos hidrodinámicos determinados en la zona (superficie potenciométrica prácticamente planar sin circuitos diferenciales de flujo), con una mediana de 50  $\mu\text{g/l}$  y variabilidad simétrica entre el percentiles 25 y 75% (de 30 a 80  $\mu\text{g/l}$ ) con un leve sesgo negativo, con valores mínimos de 0  $\mu\text{g/l}$  y "outliers" de 250  $\mu\text{g/l}$ . Similar comportamiento refleja la cuenca del Barreal, con una mediana de 45  $\mu\text{g/l}$ , sesgo más positivo y la aparición de valores "outliers" de mayor tenor (hasta 900  $\mu\text{g/l}$ ), aspecto que refleja la geología de la cuenca que si bien tiene depósitos loésicos distribuidos homogéneamente, presenta un sector central de descarga hidrológica en donde se aloja un humedal con características particulares.

Con una tendencia similar en la variación de los tenores de As se pueden citar las cuencas Chaján, Jagüeles y la zona rural de San Basilio - Monte de los Gauchos (medianas 70, 100 y 100  $\mu\text{g/l}$  respectivamente) y tenores variables del conjunto de datos comprendidos entre los percentiles 25 y 75% entre 40 y 225  $\mu\text{g/l}$ , 50 y 263  $\mu\text{g/l}$  y 50 y 238  $\mu\text{g/l}$  respectivamente, sin la ocurrencia de "outliers" y máximos dentro del intervalo de confianza de 400, 500 y 400  $\mu\text{g/l}$  respectivamente. En los tres casos abundan los materiales loésicos en el acuífero freático estudiado y la variabilidad de los datos responde a la aparición de aspectos locales como paleoderrames de materiales finos sepultados. Debe advertirse que en el caso de Chaján aparecen valores de casi 0  $\mu\text{g/l}$  para las nacientes serranas en donde no hay materiales loésicos sino afloramientos rocosos. Similar comportamiento a este grupo se muestra en la cuenca La Colacha aunque la caja se encuentra achatada mostrando menor

variabilidad en los datos. Vicuña Mackenna es un caso intermedio entre el comportamiento del grupo anterior y el reflejado en Río Cuarto (que se describe más adelante) con una mediana de 50 µg/l, y variabilidad simétrica entre el percentil 25% (coincidente con tenores mínimos de casi 0 µg/l) y 75% (100 µg/l), y leve sesgo hacia valores altos de hasta 282 µg/l en el intervalo de confianza (percentil 97,7%) y la presencia de “outliers” de 300 µg/l estos últimos vinculados a aguas sulfatadas sódicas en plena zona de descarga hidrológica regional.

La zona rural aledaña a Río Cuarto se muestra totalmente diferente con una distribución muy asimétrica y con fuerte sesgo positivo, su mediana coincide con el valor mínimo y el percentil 25% (0 µg/l), y los percentiles 75% y 97,7% son de 60 y 446 µg/l respectivamente, se observa mayor aparición de outliers, algunos de ellos superan en más de tres veces la longitud de la caja intercuartílica, y alcanzan tenores máximos de 750 µg/l. Este comportamiento está claramente condicionado por la fuerte huella litológica que se presenta en la zona sobre la calidad del agua. En esta área se distinguen dos ambientes hidrogeológicos diferentes: uno constituido por arenas gruesas y gravas de origen fluvial en donde no se registra valores de As (lo que justifica el valor de la mediana de 0 µg/l), y otro correspondiente a la planicie eólica, conformado por litologías de granulometrías finas de tipo loésicas en donde se determinan los valores extremos de hasta 750 µg/l.

Figura 2. Diagramas de Caja A. Arsénico. B. Flúor.



## COMPORTAMIENTO DEL FLÚOR

En cuanto al Flúor, los “box plot” muestran un comportamiento que resalta por su gran variabilidad en la cuenca del arroyo Chaján (percentil 2,3 y 97,7% de 1,8 y 18 mg/l respectivamente), con una mediana de 7,5 mg/l, sin outliers y valores máximos (18 mg/l) dentro del intervalo de confianza. Esto se debe a que si bien As y F tienen alta afinidad porque ambos están relacionados a la composición mineralógica del loess, en el caso de F se ha demostrado ya que hay también una condicionante importante a partir de minerales derivados de rocas ígneas y metamórficas. Éstos, por procesos de disolución e intercambio iónico pueden aportar F<sup>-</sup> al agua (Villalba, 1999, Andreazzini, 2002 y Cabrera y Blarasin, 2005) tanto en acuíferos en medio fisurado (basamento) como en materiales acuíferos no loésicos, por ejemplo paleocauces de materiales areno gravosos. En el caso del Chaján la alta dispersión en F se debe justamente a que es una cuenca de gran extensión que atraviesa muy diferentes ámbitos geológicos en todos los cuales se ha registrado algún tenor de F, a diferencia de lo que ocurre con As que estaba restringido a algunos sectores.

La cuenca del Barreal, La Colacha, Los Jagüeles, la zona rural de Moldes y Mackenna presentan comportamientos similares con medianas de 2,2; 3,4; 3,6; 2,5 y 2,9 mg/l respectivamente, algo asimétricas con leve sesgo hacia los valores altos y aparición de outliers de hasta 9,3; 10,5; 10,6 y 12 mg/l respectivamente, excepto V. Mackenna que no registra outliers. En general, todos comparten la característica de un acuífero conformado por materiales loésicos muy homogéneos a escala regional, aunque algunos datos de bajo tenor se corresponden con intercalaciones de estratos delgados de materiales más gruesos o alguna zona de recarga cercana. Alejo Ledesma y San Basilio-Monte de los Gauchos presentan similar variabilidad entre ellas, con medianas de 3,7 y 2,2 mg/l pero San Basilio muestra una caja más achatada y outliers de menor tenor lo que en términos generales demuestra menor variabilidad de sus datos, coherente con el hecho de los diversos circuitos de flujo ya mencionados para Alejo Ledesma.

Río Cuarto se destaca por presentar una mediana cuyo valor (1,3 mg/l) es bajo respecto de las restantes localidades, con fuerte sesgo positivo, con máximos fuera del intervalo de confianza cuyos tenores alcanzan los 15,1 mg/l. Esto se explica por la fuerte huella litológica ya explicada para Río Cuarto, aunque a diferencia de lo

que ocurre para el As, los valores de F para el ambiente fluvial nunca son cero (los clastos de minerales de rocas ígneas y metamórficas aportan tenores de F<sup>-</sup> al agua, en el orden de 1 mg/l o menos).

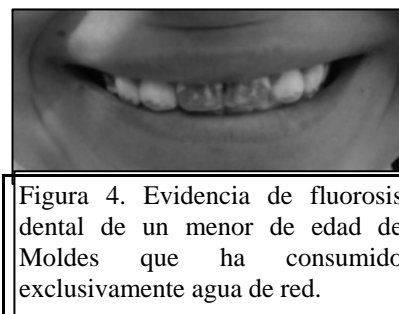
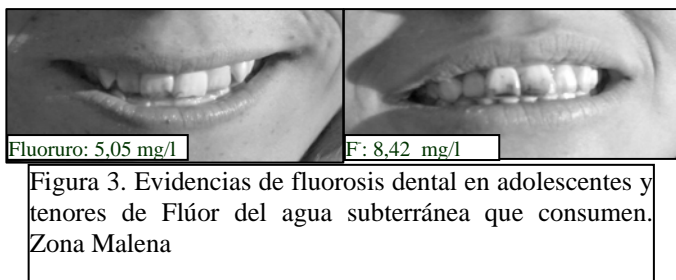
## EFFECTOS DE FLÚOR EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO AL SUR DE CÓRDOBA

En áreas urbanas, algunos municipios o cooperativas de aguas, para dar solución a este grave problema, han implementado sistemas de potabilización del agua (ósmosis inversa) o han invertido en estudios hidrogeológicos exploratorios (por ejemplo, Alejandro Roca) para la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento con la calidad apropiada. En otros casos, los encargados de la distribución de agua de algunas localidades, aunque conocen la mala calidad del recurso, no invierten en tecnologías ni en estudios específicos para dar solución a este problema. Ante esta situación hay pobladores, sobre todo los de bajos ingresos, que consumen el agua, ya sea por desconocimiento o aún conociendo su escasa aptitud, mientras que otros la utilizan para otros fines (lavado, riego, etc.). En algunas localidades el agua de red presenta tenores de F<sup>-</sup> que superan el límite establecido para consumo humano por el CAA. Vinculado a ello se observa que niños que sólo han consumido agua de red, presentan síntomas de fluorosis dental (Figura 7), aspecto oportunamente avisado a los involucrados.

En áreas rurales esta problemática es aún más preocupante ya que la mayor parte de los pobladores consume agua que no es apta y por lo tanto es necesario realizar estudios de exploración hidrogeológica para conseguir nuevas fuentes de abastecimiento que sean potables o desarrollar tecnologías de escala doméstica y económicas para el tratamiento de aguas.

Si bien en el presente trabajo se acompañan los datos hidrogeológicos sólo con evidencias de fluorosis dental (Fig. 3 y 4) al Sur de Córdoba (por tratarse de un resultado en la salud más sencillo de documentar y perceptible aún por no especialistas), no implica que no haya casos de HACRE, sino que para descartarlos sería necesario contar con estadísticas y estudios epidemiológicos específicos para la zona.

## CONCLUSIONES



Se necesita una gran dosis de conocimiento geológico y geoquímico que permita entender el origen y movilidad de metales o elementos trazas en el ambiente y sus relaciones e implicancias en la salud humana y/o animal, ya que como se ha indicado para que los elementos estén biodisponibles, primero deben estar geodisponibles.

En relación al As y F, dos elementos ampliamente distribuidos en aguas subterráneas (en menor medida en aguas superficiales), los estudios hidrogeológicos llevados a cabo en la llanura del Sur de Córdoba permitieron determinar que su presencia está sujeta a diversos aspectos, por ejemplo litología y mineralogía del acuífero en explotación y ambiente geoquímico. En general, se ha establecido que As y F<sup>-</sup> en aguas subterráneas tienen un origen relacionado a los componentes principales de los sedimentos loésicos (vidrio, minerales y fragmentos líticos volcánicos). F además puede derivar de minerales ígneos y metamórficos. Además, su disolución en el agua (geodisponibilidad) y los más altos tenores, están favorecidos por las bajas velocidades de circulación del agua subterránea, pH preferiblemente altos (7,70-8,50), ambientes oxidantes y aguas bicarbonatadas sódicas.

Una buena aproximación al establecimiento de línea de base ambiental de la calidad del agua en una zona, es definir fondos naturales para cada elemento. En el caso de As y F, la experiencia de haber calculado el fondo natural con la mediana como parámetro más ilustrativo del valor de un componente, si bien es parte de un estudio estadístico descriptivo, permitió tener resultados de gran utilidad para comparar las medianas de muestras correspondientes a distintas localidades y la variabilidad en cada una de ellas. Así, los diagramas de caja ("box plot") permiten visualizar la variabilidad de As y F en diferentes sitios y para un mismo sitio la variabilidad en los diferentes componentes de la calidad del agua. Los valores atípicos ("outliers") obtenidos son parte del fondo natural de la composición del agua.

Un aspecto a destacar es que la mediana como parámetro ilustrativo del valor característico de As en el acuífero freático resultó muy similar para todo el Sur de Córdoba entre casi 0 y 100 µg/l destacándose sólo como valor más alto la mediana de Alejo Ledesma con tenor de 300 µg/l. Todas las localidades muestran sesgo positivo

lo que indica dispersión de valores por encima de este valor característico y que exhiben más valores extremos o “outliers” aquellas en donde hay más heterogeneidad litológica y de circuitos de flujo del agua.

Para F, se observa mayor variabilidad de la mediana (entre 1,3 y 7,5 mg/l), destacándose la cuenca del Chaján con la más alta (7,5 mg/l) y la de Río Cuarto con la más baja (1,3 mg/l) en ambos casos determinadas por la fuerte huella litológica. Además, una característica importante de todas las muestras es la mayor variabilidad con respecto a este estadístico central.

El estudio del recurso hídrico subterráneo al Sur de Córdoba y específicamente del estado de la calidad del agua, permitió confirmar que son numerosos los pobladores rurales y en algunos casos urbanos, que consumen aguas no aptas para bebida, en la mayoría de los casos por desconocimiento de la calidad y/o las posibles afectaciones que a la salud produce la presencia de determinados elementos o compuestos químicos. Por ser esencial para sostener la vida humana, los habitantes de la región deben tener acceso al conocimiento de la calidad del agua que consumen y a los trastornos que a la salud genera el consumo de aquella no apta.

La ética profesional obliga a los investigadores de diversas disciplinas a encontrar posibles soluciones a esta problemática y a poner en conocimiento de la sociedad los resultados de las investigaciones, de un modo claro y comprensible para el público en general, debiendo contar para ello con el apoyo institucional. Esto generaría el consenso necesario en la gente que obligue a los gobernantes a la toma de decisiones para una mejor calidad de vida.

Es necesario desarrollar en la región estudios que relacionen el conocimiento hidrogeológico de las diferentes fuentes de abastecimiento (acuífero freático, confinados, semiconfinados) en cuanto a materiales que lo componen, calidad del agua, profundidades y diseños de las captaciones, etc., con las patologías que presentan los habitantes que las utilizan (aspecto que además, es variable de una región a otra). De esta manera se podrán determinar más acabadamente las relaciones entre el agua que se bebe y la salud para poder tomar las correspondientes medidas.

Una herramienta clave en esta cuestión es incorporar y vincular en los procesos de gestión y planificación del recurso hídrico un enfoque integrado del problema en el que participen políticos, profesionales (hidrogeólogos, médicos, trabajadores sociales, etc), y la gente involucrada, tratando de determinar más acabadamente las relaciones causas-efectos.

En el conocimiento que los pobladores tienen de esta problemática, juega un rol importante el periodismo, aunque la experiencia al Sur de Córdoba indica que es necesario mejorar la llegada de información a la gente, ya que aparece en muchas ocasiones muy distorsionada y agravada. Así, los pobladores, muestran cierta tendencia a mencionar al Arsénico como causa de la mayoría de las enfermedades, lo que se aleja ostensiblemente de la verdad.

Un instrumento importante para reducir el riesgo a la exposición de aguas de consumo no aptas es invertir en los estudios hidrogeológicos para la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento de alta calidad y en el diseño de sistemas económicos que permitan el tratamiento de aguas no aptas cuando la geología del lugar no ofrece aguas de buena calidad. **La provisión de agua de buena calidad, a partir de captaciones bien ubicadas y diseñadas, sobre la base de investigaciones geológicas e hidrogeológicas locales, no requiere tratamiento y es la opción más barata.**

Los organismos internacionales y nacionales deberían revisar los criterios al establecer los valores límites de aptitud en agua de bebida asumiendo riesgos aceptables para diferentes tiempos de exposición compatibles con las realidades hidrogeológicas y socioeconómicas de la región, basándose en estudios epidemiológicos locales. La actualización de estos límites debería realizarse acompañados de políticas socio-económicas que permitan a los habitantes suplantar su fuente de abastecimiento, lo que evidencia la necesidad de mejorar la concreción de políticas públicas para solucionar este problema.

#### AGRADECIMIENTOS

A Secyt UNRC y Agencia Córdoba Ciencia por subsidiar la investigación.

#### REFERENCIAS

- Andreazzini, J.** 2002. “Estudio de Impacto Amb. en Minería, con énfasis en los Asp. Geológ. Caso de estudio: mina de fluorita Co Negros. Sa. de Comechingones, Cba.”. Tesis de Lic. UNRC. Inédito.
- Aswathanarayana, U.**, 1995. Geoenvironment, an introduction. Balkema.
- Biagini R., Salvador M., de Querio R., Torres C., Biagini M. y A. Diez.** 1993. Hidroarsenicismo crónico. Casos diagnosticados en el período 1972-1993. Arch. Arg. Dermat. 1995; 45: 47 – 52.
- Blarasin, M.**, 2003. Geohidrología ambiental del Sur de Córdoba, con énfasis en la ciudad de Río Cuarto y su entorno rural. Tesis Doctoral. UNRC. Inédito.
- Cabrera, A. y M. Blarasin,** 2005. “Evaluación sobre posible contaminación del río Quillinzo en inmediaciones de Villa Cañada del Sauce”. Informe técnico. UNRC.
- Código Alimentario Argentino,** 1994. Res.494/94. Bol.Of. N° 27.932, 1a Sección. Art. 982 modif.



- DIPAS**, 1993. Normas de calidad de aguas. Dirección Provincial de Aguas y Saneamiento.
- Edmunds W.** 1996. Indicators in the groundwater environment of rapid environmental change. En *Geoindicators, Assessing rapid environmental changes in earth systems*. 135-150. Editorial
- Hernandez, M., Giacconi y N. González**, 2002. Línea de base amb. para las aguas subt. y superf. en el área minera de Tandilia. "Groundwater and human development". ISBN 9875440639
- Manzano, M., E.Custodio y P. Nieto**, 2003. El fondo de la calidad del agua subterránea. I Sem. Hisp.-Latinoam. de temas actuales de Hidrol. Subt. Rosario. ISBN 9506733953.
- Ng J., J Wang, and A. Shraim**, 2003. A global health problem caused by arsenic from natural sources. *Chemosphere* 52, 1353-1359. Pergamon.
- Nicolli, H., P. Smedley & J. Tullio**, 1997. Aguas subterráneas con altos contenidos de F, As y otros oligoelementos en el Norte de La Pampa. Congreso Internacional del Agua. Bs. As. Arg.
- Nriagu, JO.** 1994. *Arsenic in the Environment, Parts I, Cycling and characterization*. New York. John Wiley and Sons Inc. 430 pp.
- Smedley P. and D.Kinniburgh**, 2002. Source and behaviour of arsenic in natural waters British Geological Survey, Wallingford, Oxon OX10 8BB, U.K.
- Villalba, G.** 1999. "Estudio geohidrológico con énfasis en la geoquímica del fluor de la cuenca del arroyo El Talita. Dpto. Río Cuarto, Córdoba". Trabajo Final de Licenciatura. UNRC. Inédito.

[Volver a: Aguas de bebida](#)