

ELEMENTOS TRAZAS EN AGUA, EN UNA ZONA RURAL DE VILLA MERCEDES, SAN LUIS. ARGENTINA.

G. Galindo¹, M. Pachoud²; M. Hellmers²; M.A. Herrero³, J.L. Fernández Turiel⁴ y D. Gimeno⁵

¹ Autor de Referencia: UBA-CONICET. Fac. de Cs. Ex y Nat. Dpto de Cs. Geológicas, Pab II, 1428, Capital Federal, Argentina. Fax y Te: 011- 4576-3329. grigace@gl.fcen.uba.ar.

² Fac. de Ingeniería y Cs Ec. Sociales. Universidad Nacional de San Luis. Argentina. 3.- Fac. de Cs. Veterinarias. UBA. Argentina. 4.- Instituto J. Almera, CSIC, Barcelona. 5.- Fac. Geología, Univ. Barcelona, España.

RESUMEN

Esta región se abastece fundamentalmente de aguas subterráneas y superficiales para los distintos usos (humano, animal, recreacional y riego). El objetivo fue conocer el origen de elementos traza en aguas subterráneas. La zona se sitúa sobre los depósitos de planicie aluvial actual del río Quinto. Se muestrearon 11 perforaciones del acuífero libre (entre 10 y 20 m de profundidad) y 4 puntos superficiales sobre el río Quinto, ubicadas con GPS. Se determinaron in situ pH, T y CE. En laboratorio se determinaron las concentraciones de elementos mayoritarios y trazas mediante espectrometría de masas con fuente de plasma acoplado por inducción. Se utilizó el Diagrama de Piper para establecer los tipos de agua. Se vio sus implicaciones en la detección de aportes naturales como antrópicos, relacionados con contaminación industrial y agropecuaria. Se analizaron para consumo humano, riego y ganadería, utilizándose las normas nacionales vigentes. La composición hidroquímica indica que las muestras de aguas superficiales y subterráneas presentan composiciones sulfatadas cloruradas sódicas, con tendencia en el caso de las subterráneas a una mayor evolución a sulfatadas. Las aguas superficiales y subterráneas con predominancia de cationes alcalino, la conductividad promedio es mayor en las subterráneas (1760 $\mu\text{S}/\text{cm}$) que en las superficiales, y con TDS promedio de 1292 mg/L, el doble que el promedio de las aguas superficiales. Las aguas subterráneas presentan exceso de sulfatos, vinculado a las evaporitas del Cretácico. En algunos sitios, los valores de cloruros, sulfatos, B, Fe, As, Be y Se, que exceden los niveles de referencia para agua de bebida, en otros se superan los niveles de B, Zn, Mo, V y U establecidos para riego; y para ganado sólo superan el Zn y V. Los excesos de Fe y Mn en agua provienen del suelo; los contenidos de B, Se, As, U, V y Zn en el agua se deben al loess pampeano, con alto contenido de sedimentos volcánicos. Los casos de contaminación puntual detectados deben ser controlados para ser minimizados o eliminados.

Palabras claves: Elementos trazas, calidad de agua, Argentina.

ABSTRACT

Different water uses as urban, irrigation, recreational are provided from surface and groundwater in this region. The aim of this work was to determinate trace origin and its migration process in groundwater. Studied zone belongs to Fifth river alluvial plane deposit. Eleven free wells (depth between 12 to 20 meters) were selected in order to obtain water samples. Four surface samples were obtained from Quinto river. Temperature, pH and Electric Conductivity was determined in situ. Traces and main elements concentration were determined in laboratory using mass spectrometer with coupled induction plasma source. Water quality was determined

with Piper diagram. Natural contributions as anthropic, were observed in relationship to industry and agronomical pollution. Samples results were analyzed since different view points, as human, irrigation and cattle applications, according to standard methods. Surface and groundwater samples analysis show sodium chloride sulfated compositions, and groundwater particularly sulfated. Both of them are alkaline, with larger conductivity in groundwater (1760 μ S) and 1292 mg/L TDS average, which duplicates surface values. SO_4 excess has relation with pollution process in Cretacic period. Cl, SO_4 , B, Fe, As, Be and Se amounts are not suitable for human consume. For irrigation applications B, Zn, Mo, V y U are over the aloud limits. For cattle drink, only Zn and V are excessive. Fe and Mn excess came from soil composition, B, Se, As, U, V y Zn due to the pampas' loess with high volcanic sediment quantity. Pollution sources must be controlled. Water quality must be determined before considering its employment in rural development.

Key words: Trace, water quality, Argentina.

INTRODUCCIÓN

Como antecedente principal de investigación se encuentra la hoja geológica 1:200.000, 24-f, San Luis, levantada por Guñazú (1961), y las primeras noticias respecto a la constitución geológica de la región se conocen desde finales del siglo XIX; de acá en adelante fueron muchos los trabajos realizados con diferentes objetivos, entre los que se destacan son los de tipo petrolíferos y posteriormente los de yacimientos metalíferos y no metalíferos. Nuestra zona de trabajo se ubica al sur de Villa Mercedes (Fig. 1), en lo que se conoce como Sierras Pampeanas Occidentales, sobre sedimentos del cuaternario. Al noroeste de la zona de estudio, se encuentra la sierra de San Luis, constituida por afloramientos del basamento cristalino, formados por esquistos de diverso tipo, gneises y migmatitas, con rocas básicas intercaladas, afectadas por episodios metamórficos y eventos magmáticos, del Paleozoico. La secuencia estratigráfica se completa con sedimentitas clásticas y evaporíticas asignadas al Cretácico, localizadas en una cadena de serranías bajas conocida como Cerrillada de Las Cabras y en cerros aislados ubicados al sur de la sierra de San Luis. Continúan por encima sedimentitas terciarias que afloran como una orla discontinua en los márgenes de la sierra de San Luis y en las cerrilladas mencionadas, predominando también depósitos fluviales en depresiones intermontanas. La columna se completa con una importante cobertura de depósitos cuaternarios derivados de procesos fluviales, eólicos y también evaporíticos. Dentro de estos se distinguen sedimentos asociados a planicies aluviales y playas. La intervención eólica está evidenciada por la abundante cobertura loessoide que cubre grandes extensiones y que alcanza también a sectores interiores de la sierra de San Luis junto con depósitos medanosos en los sectores sur y oeste.

El objetivo es conocer el origen de elementos trazas en aguas, en una zona que se abastece principalmente por agua subterránea, tanto para consumo humano como industrial y agropecuario, y en las aguas superficiales que son utilizadas mediante canales derivados para riego, que están siendo reemplazados por aguas subterráneas.

La zona de estudio se ubica entre las isohietas de 500 y 600 mm de precipitación media anual; la evapotranspiración potencial media anual es de 840 mm, de lo que resulta un balance hídrico negativo.

Los suelos son de planicies con acumulaciones arenosas, de tipo Haplustoles énticos, Ustipsamientos típicos en médanos. La zona de interés se encuentra ubicada en la Serie Villa Mercedes (VM), que pertenece al régimen de humedad ústico y temperatura térmica, según el mapa general de los regímenes de humedad y temperatura de los suelos para la República Argentina, trazado por Van Wambeke y Scoppa (1976). La morfología regional es una planicie arenosa, correspondiendo a la morfología local una unidad sobre faja aluvial. El relieve es de tipo subnormal, lomas sobre arenas eólicas de un espesor de 150 cm. Los datos analíticos del perfil VM, en el horizonte C, entre 95 y 105 cm de profundidad, los suelos contienen yeso y boro.

Los suelos presentan estructuración moderada a débil, en bloques de textura franco arenosa y permeabilidad rápida. La composición mecánica es: 10 % de arcilla, 20 % de limo total y 70 % restante, arenas (INTA, 1998). Esto le confiere una alta permeabilidad y consecuentemente, mayor vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos freáticos.

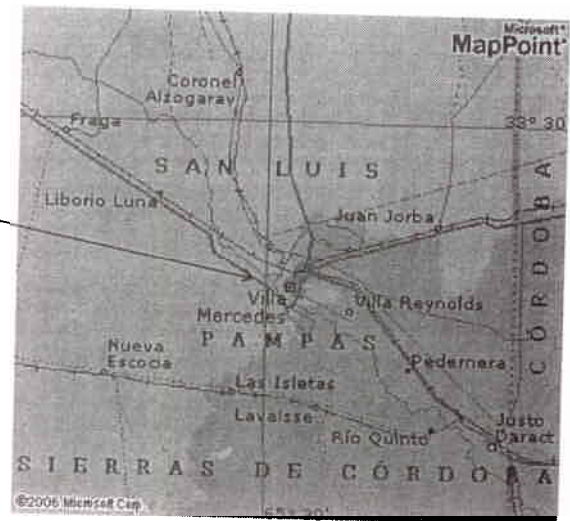
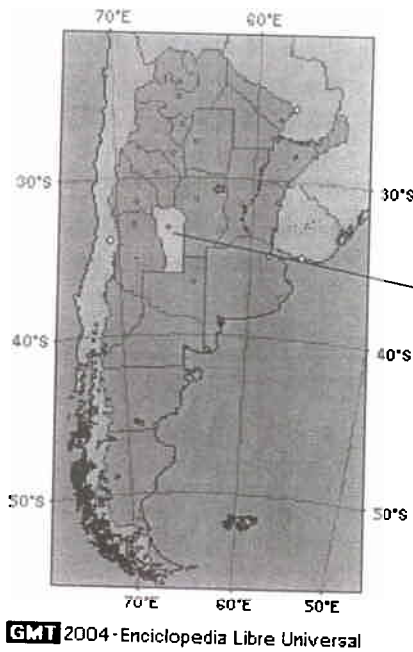


Figura 1. Ubicación del área de estudio. San Luis, Villa Mercedes.

En cuanto a la geomorfología, la zona de estudio se ubica al sur de Villa Mercedes, que está inserta en la parte norte de la denominada "zona medanosa austral" (González Díaz, 1981), aledaña al valle del río Quinto, desde Fraga hasta Justo Daract. Constituye una monótona superficie medanosa ligeramente ondulada, siendo raras las típicas cuencas de deflación y lagunas correspondientes, características de gran parte de la zona medanosa austral. En general la morfología primaria de los médanos está mal conservada, excepto al sur de Fraga, donde las formas son más definidas, fijadas por la vegetación, observándose no obstante movilizaciones de arenas actuales o "médanos vivos" sobre los cultivos, desde una dirección nornoreste.

Sin lugar a duda, el rasgo fisiográfico más importante en el área, es el valle del río Quinto que se desplaza dentro de la llanura "loessoide", con un rumbo noroeste-sureste, a partir de Fraga, mostrando un desplazamiento lateral siguiendo inflexiones rectas (diseño rectangular) y evidenciando al menos dos terrazas (Gerth, 1914). Este comportamiento del río se debe a una adaptación a un sistema de fracturas del basamento subyacente, cuya expresión topográfica, más evidente es el alto estructural de Juan Llerena y la parte austral de la Sierra de Morro-Yulto. A unos 25 km, aproximadamente al sur de Villa Mercedes, a la altura de Sayape, comenzaría el sector de lagunas que cubre gran parte de la zona medanosa austral; las mismas son producto de la acción eólica (cuencas de deflación) que produce el afloramiento de la capa freática.

Marco Geológico

La estructura de subsuelo en la cuenca de Mercedes, fue reinterpretada por Kostadinoff y Gregori (2004), mediante datos gravimagnetométricos definiendo la forma, estructura interna y profundidad de la cuenca. Se determinó que esta se halla formada por dos depocentros: estancia Centenario (4.400 m) y estación Nueva

Escocia (3.700 m) y una extensión más somera hacia el este que se denominó Villa Valeria (2.500 metros). La existencia de anomalías magnéticas de baja amplitud en la zona de los depocentros permite inferir la existencia de rocas básicas dentro del paquete sedimentario.

Dado que las aguas superficiales y subterráneas (área de recarga) se originan en el sector de las sierras al NO del área de estudio, imprimiendo la huella química de las mismas dejando ver la litología por donde circularon. En el Cuadro 1, se observa la geología de subsuelo y las características hidrogeológicas de las unidades correspondientes. (Ivkovic K.I. et al, 2000).

	UNIDAD GEOLÓGICA	APTITUD HIDROGEOLÓGICA
Cuaternario Q V	Qsa Depósitos evaporíticos Qav Depósitos de playas salinas Qal Depósitos de planicies aluviales actuales Qmd Planicies medanosas Qls Planicies loessoides con red deposición aluvial Qta Depósitos de abanicos aluviales Qpd Depósitos pedemontanos	En conjunto estos depósitos poseen elevada porosidad primaria y constituyen las zonas de recarga, almacenamiento y descarga de las cuencas de agua subterráneas.
Terciario y Cuaternario inferior Tpd IV	Rocas sedimentarias psefiticas, arenolimosas, grava y arena cementadas con yeso, conglomerados, areniscas muy finas, areniscas gruesas conglomerádicas margas, conglomerados y fanglomerados	En general estas rocas poseen valores importantes de porosidad primaria, aunque la misma se halla en partes ocluida por cementación y compactación. Normalmente están asociadas a zonas de borde de las serranías más importantes y por ello suelen contener cierta proporción de agua que ceden a través de manantiales.
Terciario Tvt III	Complejo andesita, traquiandesita	Permeabilidad variable
Mesozoico K II	Limolitas, areniscas y arcillitas; tobas	Estas rocas sedimentarias poseen baja porosidad primaria residual ya que por cementación y/o compactación la han perdido, a pesar de ello suelen tener una importante porosidad de tipo secundaria. A estos materiales se asocian algunos manantiales de bajo caudal y pobre calidad del agua.
Paleozoico y Precámbrico C-D-PC I	Rocas que conforman al basamento cristalino de granitoides, metabasitas, migmatitas, gneisses, filitas y esquistos antiguas	Por su antigüedad y origen carecen por completo de porosidad primaria, pero por efecto de los procesos tectónicos que las han afectado, los afloramientos principales poseen importantes valores de porosidad secundaria. Estas rocas se asocian con numerosos manantiales de caudales y calidad variables. Forman el basamento de las cuencas de agua subterránea.

Cuadro 1. Estratigrafía y características hidrogeológicas de las unidades. (Ivkovic K.I. et al, 2000).

Hidrogeología

Las nacientes del Río Quinto se ubican en el núcleo central de la Sierra de San Luis donde actúa como colector del agua que se vierte por numerosos ríos y arroyos con transporte de agua permanente entre los que se destacan los Ríos Grande y Cañada Honda; una vez que desemboca a la zona de llanura se suman el río Cortaderas, el río Rosario y el arroyo el Morro.

Los terrenos del Cuaternario están conformados por mantos de sedimentos fluviales y aluvionales, depo-

sitados en las fajas pedemontanas de las elevaciones montañosas; éstos gradan en su granulometría desde materiales psefíticos hasta psamíticos a medida que se alejan de las zonas de aporte. A este heterogéneo conjunto de sedimentos se suman terrenos eólicos, que constituyen en sitios localizados médanos de gran altitud (superior a 25 m) y de loess en capas intercaladas de hasta 2 m de potencia. La deposición de los terrenos del Cuaternario está fuertemente influenciada por una serie de bloques del basamento cristalino (diferencialmente desplazados) que conforman fosas y pilares tectónicos por lo que el espesor de los sedimentos varía entre uno y otro. Los registros geofísicos realizados y las perforaciones existentes revelan la estructura subterránea antes mencionada y definen potencias de 10 m hasta superar los 200 m.

A nivel provincial, es una de las cuencas hidrogeológicas de mayor importancia. Se describe solamente los depósitos sedimentarios Terciario y Cuaternario, por la incidencia que tienen sobre la calidad del agua subterránea, estos son de origen continental, constituyen rellenos de bolsones o antiguos abanicos aluviales, compuestos por areniscas cuarzosas con yeso, con intercalaciones de tobas y areniscas conglomerádicas de color pardo rojizo.

La recarga desde superficie, proviene desde los cauces fluviales y también de los cuerpos de médanos aunque esta última es sensiblemente menos importante; subterráneamente se agregan los aportes por el subálveo de los ríos y por la conexión lateral con otras cuencas. El agua subterránea circula por los sedimentos de los depósitos aluviales actuales y planicies medanosas, del Cenozoico-Cuaternario, constituidos por capas irregulares de toscas, conglomerados, areniscas con limos y arcillas, de la meteorización de los granitos, metamorfitas y andesitas, por encima están los sedientos holocénicos de composición loessoides con arenas y gravas conglomerádicas.

La cuenca de agua subterránea se descarga naturalmente hacia el sudeste, en el territorio cordobés y hacia el sur supera los límites de la cuenca hidrológica superficial ingresando a la vecina cuenca de la Llanura Sur. Los numerosos pozos que explotan el recurso hídrico almacenado permiten conocer los parámetros hidráulicos de este reservorio como el caudal específico variable entre un mínimo de 0,4m³/h/m hasta un máximo de 23,2m³/h/m. Su transmisividad es desconocida.

Además hay que tener en cuenta que en esta zona se ubican yacimientos metalíferos y no metalíferos, imprimiendo la huellas química de las mismas, dejando ver la incidencia de los sedimentos del Terciario y Cuaternario, de origen continental, compuestos por areniscas cuarzosas con yeso, feldespatos y micas, con intercalaciones de tobas y areniscas conglomerádicas de color pardo rojizo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se muestrearon 11 perforaciones de carácter libre (entre 10 y 20 m de profundidad) y 4 puntos superficiales sobre el Río Quinto, ubicados con GPS. Se determinaron *in situ* pH, temperatura y conductividad eléctrica. En laboratorio las concentraciones de elementos mayoritarios, y se determinaron por primera vez 40 elementos químicos (Si, Li, B, Al, P, Fe, Mn, Ni, Cu, Zn, AS, SE, Br, Rb, Sr, Cs, Ba, Ag, Be, Cd, Co, Cr, U, V, Hg, Mo, Pb, Se y Tl), en el área rural, utilizando espectrometría de masas con fuente de plasma acoplado por inducción (ICP-MS) y espectrometría de emisión óptica con fuente de plasma acoplado por inducción (ICP-OES) y potenciometría de electrodos específicos.

Se determinaron valores máximos, mínimos y se calculó el valor promedio de 11 muestras de aguas

subterráneas y 4 superficiales

La variabilidad de la composición hidroquímica de las aguas superficiales y subterráneas se analizó con el diagrama de Piper. La calidad química de estas aguas se valoró desde el punto de vista de sus aptitudes para consumo humano, riego y ganadería. Para ello se han utilizado las normas de calidad de agua para fuentes de agua de bebida humana con tratamiento convencional del Decreto 831/93 sobre la reglamentación de la Ley 24.051 de residuos peligrosos (IA, 2004) y la normativa para consumo humano del Código Alimentario Argentino actualizado de 1994 –agua potable y aguas minerales- (MSA-ANMAT, 2004). Las normas para las aguas para irrigación y para bebida de ganado utilizadas son las del Decreto 831/93 sobre la reglamentación de la Ley 24.051 de residuos peligrosos (IA, 2004).

RESULTADOS

La variabilidad de la composición hidroquímica, de acuerdo al Diagrama de Piper, indica que las muestras de aguas superficiales y subterráneas presentan composiciones sulfatadas cloruradas sódicas, y en el caso de las subterráneas tienden a ser más salinas evolucionando a sulfatadas (Figuras 2 y 3), debido al contacto con las areniscas cuarzosas con yeso. Las aguas superficiales y subterráneas presentan predominancia de cationes alcalino, la conductividad promedio es mayor en las subterráneas con 1760.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que en las superficiales, y con TDS promedio en aguas subterráneas de 1292.45 mg/L, el doble que el promedio de las aguas superficiales. (Tabla 1).

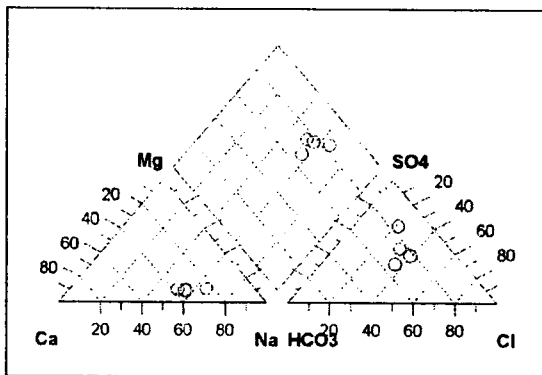


Figura 2. Aguas superficiales.

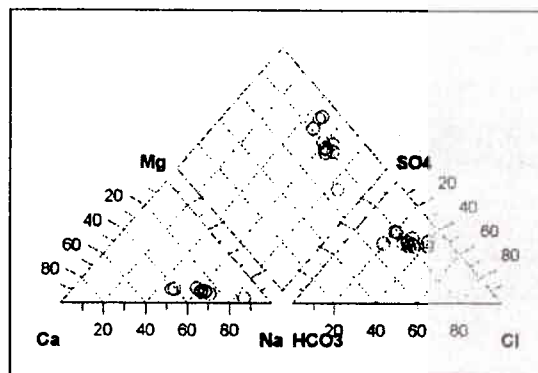


Figura 3. Aguas subterráneas.

La realización de los intervalos indicativos de 40 parámetros hidroquímicos, expuestos en la Tabla 1, es de gran interés en la definición de la calidad de agua, diferenciando los procesos que la pueden llegar a modificar, ya sea de tipo natural o por contaminación antrópica.

Unidad	Nivel de referencia			Aguas subterráneas			Aguas superficiales (n=4)		
	humano	riego	animal	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
pH				7,1	7,6	7,4	7,4	7,9	7,7
Cond μ S				1280,0	2433,0	1760,7	860,0	1420,0	1102,5
Dureza mg/l	400*			1,0	7,6	4,0	1,3	2,8	2,3
TSD mg/l				821,0	1980,0	1292,4	509,0	754,0	668,2
Ca mg/l				31,3	238,4	122,4	37,0	88,1	73,1
Mg mg/l				6,8	41,2	23,1	10,4	15,0	13,1
Na mg/l				172,0	376,6	273,7	118,0	164,1	135,2
K mg/l				10,1	17,7	13,4	5,7	13,2	10,1
Si mg/l				30,6	41,3	34,9	2,8	24,9	16,3
Cl mg/l	350*			97,0	420,8	219,8	61,0	164,4	122,7
SO ₄ mg/l	400*			340,5	725,1	499,1	200,2	240,4	225,1
NO ₃ mg/l	45*			5,0	5,0	5,0	5,0	20,0	10,0
HCO ₃ mg/l				154,0	282,5	223,7	76,8	262,7	166,1
Li μ g/l		2500		47,4	114,3	72,6	18,7	34,8	29,7
B μ g/l	1000	500	5000	527,9	1185,7	855,4	342,1	398,0	379,1
Al μ g/l	200*	5000	5000	3,0	2160,7	201,1	18,3	51,0	29,7
P μ g/l				4,8	154,9	40,6	44,1	367,3	128,9
Fe μ g/l	300*	5000		12,7	3494,1	485,5	31,1	220,5	80,2
Mn μ g/l	100*	200		0,2	58,5	8,6	14,7	660,4	183,9
Ni μ g/l	25	200	1000	0,7	3,1	1,9	1,1	1,7	1,4
Cu μ g/l	1000*	200	1000	8,8	91,2	26,0	4,0	5,8	5,2
Zn μ g/l	5000*	2000	50	6,7	297,4	91,9	3,4	14,4	6,7
As μ g/l	50*	100	500	11,1	103,2	34,5	7,0	8,1	7,5
Br μ g/l				299,7	1262,8	632,0	188,5	290,3	253,7
Rb μ g/l				2,4	9,6	6,1	2,3	5,1	4,0
Sr μ g/l				287,4	1602,9	957,0	361,8	634,1	551,9
Cs μ g/l				0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
Ba μ g/l	1000			13,3	71,5	33,7	28,7	92,0	67,4
Ag μ g/l	50*			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Be μ g/l	0,039	100	100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cd μ g/l	100*	10	20	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Co μ g/l	50	50	1000	0,0	1,3	0,3	0,1	0,3	0,2
Cr μ g/l	50*	100	1000	0,6	4,3	1,6	0,1	0,9	0,6
Hg μ g/l	1*		3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
Mo μ g/l		10	500	4,2	41,1	15,5	4,3	7,2	5,8
Pb μ g/l	50*	200	100	0,1	4,0	0,6	0,1	0,4	0,2
Se μ g/l	10	20	50	6,9	14,7	10,6	3,0	3,8	3,4
Tl μ g/l	18			0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
V μ g/l		100	100	26,9	164,4	72,2	6,5	20,9	14,2
U μ g/l	100	10	200	4,38	26,9	15,2	2,6	5,1	3,8

Tabla 1. Composición de las aguas superficiales del Río Quinto y aguas subterráneas. Niveles de referencia del Decreto 831/93 de la Ley 24.051 (IA, 2004), salvo los indicados con asteriscos que corresponden al Código Alimentario Argentino de 1994 (MSA-ANMAT, 2004). Se marcaron en negrita los elementos comentados en el texto por exceder algún nivel de referencia.

En algunos sitios, los valores de Cl, SO₄, B, Fe, As, Be y Se, que exceden los niveles de referencia para agua de bebida, en otros se superan los niveles de B, Zn, Mo, V y U establecidos para riego; y para ganado sólo superan el Zn y V.

Los contenidos de B, Se, As, U, V y Zn en el agua, se deberían al loess pampeano con alto contenido de sedimentos volcánicos.

En las aguas superficiales se observa que, solamente el Mn (660,40 μ g/l) en la muestra 4 supera los límites de aptitud para consumo humano y riego (100 μ g/l y 200 μ g/l, respectivamente). Este valor podría estar relacionado con descargas de las industrias de la zona.

Para dar una explicación referente al origen y procedencia de los elementos que superan los niveles guías establecidos para diferentes usos, como el Cl, SO₄, B, Al, Fe, Mn, Zn, As, Be, Mo, Se, V y U, se recurre a un modelo conceptual, donde las aguas superficiales y subterráneas se originan en la Sierra de San Luis, al noroeste del área de estudio, allí se ubica el área de recarga del agua subterránea que luego circula por los sedimentos de los depósitos aluviales actuales y planicies medanosas, del Cenozoico-Cuaternario, constituidos por capas irregulares de toscas, conglomerados, areniscas con limos y arcillas, de la meteorización de los granitos, metamorfitas y andesitas. En forma suprayacente se encuentran los sedimentos holocénicos de composición loessoides con arenas y gravas conglomerádicas. En este recorrido, desde el área de recarga, conducción y descarga, el agua va transformando su quimismo.

Siguiendo el flujo subterráneo de noroeste a sureste, se observa el aumento en salinidad, debido al contacto del agua con evaporitas terciarias, explicando el exceso en SO₄ y Cl. En cuanto a los excesos de los demás elementos trazas, es posible asociarlos a la meteorización de materiales volcánicos como el As, Se y V, loésicos, como sucede en diferentes ambientes hidrogeológicos de Argentina, como la llanura Tucumana (Galindo, et al. 2005), noreste de Buenos Aires, (Galindo, et al. 2002), gran parte de la Llanura Pampeana (Fernández Turiel, et al. 2005), con valores de trazas elevados asociados a este tipo de sedimentos (Galindo, et al. 1999) y pegmatitas graníticas que aportan en diferentes cantidades los demás elementos trazas, como el Be, Zn, Mo, Al, Fe, V y U.

Se puede señalar además, que los valores elevados de Zn y Cu podrían ser justificados por las cercanías de criaderos de animales en feed lot ubicado aguas arriba, reconocidos contaminantes por los sistemas intensivos de alimentación.

La principal actividad del área bajo estudio es la agricultura y ganadería, sin embargo hay que tener en cuenta también la existencia de otras actividades que que generan elementos contaminantes, los cuales se introducen en el medio saturado y pueden provocar variaciones y sustancias que suponen una degradación de la calidad física, organoléptica, química y biológica del agua. Estas actividades son: un barrio sin sistema de cloacas, un predio de residuos sólidos urbanos, lagunas de efluentes, industrias de tipo alimenticias, hierro y aceros, curtiembres, farmacéuticos, feedlot, entre otros. También hay que tener en cuenta que en la zona de recarga de los acuíferos, en las estribaciones de las sierras de San Luis y alrededores se encuentran explotaciones de yacimientos minerales metalíferos, que pueden relacionarse a los excesos de alguno de los elementos trazas, ya sea por evacuaciones de aguas de minas y lavaderos de mineral, lavado de escombreras por agua de lluvias o por agua superficiales.



Figura 4. Ubicación de las muestras, y dirección de flujo regional (Google earth, 2007).

Los párrafos precedentes advierten sobre la presencia de un contexto socioeconómico complejo que interactúa con el sistema hídrico modificando sus características y dificulta la identificación de las causas que modifican la calidad de las aguas, especialmente las subterráneas. Sin embargo, esto no justifica no continuar investigando en profundidad el origen de los elementos trazas presentes en las aguas subterráneas. Por el contrario, los resultados obtenidos muestran la necesidad de: inventariar y caracterizar la amenaza asociada

a las fuentes de contaminación existentes en el área y definir la línea base ambiental actual de los recursos hídricos –y en lo posible las características de la calidad natural-, como paso inevitable para encarar eventuales medidas de mitigación, remediación y monitoreo.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, se considera importante investigar el origen del Cu y Zn, dado que puede ser de tipo natural o por las actividades de cría de ganado intensivas, debido a las raciones provistas en ganadería intensiva, lo que puede generar problemas por la acumulación de estos elementos, ya que la mayoría son excretados. Resulta conveniente además adecuar las explotaciones agropecuarias a fin de reducir la contaminación observada de boro.

Debido a los contenidos presentes observados, se recomienda conocer la calidad del agua para definir la aptitud según su uso, ya sea humano, agropecuario o industrial.

Se sugiere cuantificar el tipo de elemento que esta involucrado en el agua. Además de identificar el o los acuíferos involucrados en los estudios futuros.

Tanto en aguas subterráneas como superficiales se observan valores de alto contenido de fósforo, por lo que para iniciar medidas de mitigación un punto de fácil detección serían los controles de escorrentía en explotaciones agrícolas intensivas, pues los casos de contaminación puntual detectados deben ser controlados para ser minimizados o eliminados.

Se recomienda hacer una planificación para la prevención y remediación de la calidad de agua superficial y subterránea.

REFERENCIAS

- CECI, J.H. Y CRUZ CORONADO, M.D. 1981.** Recursos Hídricos Subterráneos. En Geología de la Provincia de San Luis, VIII Con.Geol. Arg.;Rel.: 301-322.
- FERNÁNDEZ-TURIEL, J.L., GALINDO, G., PARADA, M.A., GIMENO, D., GARCÍA-VALLÈS, M. Y SAAVEDRA, J. (2005).** Estado actual del conocimiento sobre el arsénico en el agua de Argentina y Chile: origen, movilidad y tratamiento. En: G. Galindo, J.L. Fernández-Turiel, M.A. Parada, D. Gimeno Torrente (eds.), Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. Taller. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea – IV Congreso Hidrogeológico Argentino. Río Cuarto, 25-28 octubre 2005. Argentina.
- GALINDO G., HERRERO M.A., FLORES M., FERNÁNDEZ TURIEL J. L. (1999).** Correlación de metales trazas en aguas subterráneas someras de la Cuenca del Río Salado, Provincia de Buenos Aires, Argentina. In: A. TINEO (Ed.), Hidrología Subterránea, II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano Argentino sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. Serie Correlación Geológica nº 13, Instituto de Correlación Geológica – CONICET, Fac. Cs. Nat. e Inst. Miguel Lillo de la Univ. Nac. de Tucumán, 251-261.
- GALINDO G., SAINATO C., DAPENAC, FERNÁNDEZ-TURIEL J.L., GIMENO D., POMPOSIELLO M.C. PANARELLO H., (2002).** Natural and anthropogenic features influencing water quality in NE Buenos

Aires, Argentina. In: Bocanegra E., Martínez D., Massone H. (eds.) *Groundwater and Human Development*. 300-308.

GALINDO G., FERNÁNDEZ TURIEL J.L., GIMENO D., (2005). El arsénico en las aguas termales del sur de la cuenca del río Salí, Tucumán, Argentina. En: G. Galindo, J.L. Fernández-Turiel, M.A. Parada, D. Gimeno Torrente (eds.), *Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. Taller. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea – IV Congreso Hidrogeológico Argentino*. Río Cuarto, 25-28 octubre 2005. Argentina.

GERTH, E. (1914). Constitución geológica hidrológica y minerales de aplicación de la Prov. De San Luis. An. Minist. Agric. Sec. Geol. Min. Y Minería, X, No. 2, Bs. As.

GONZÁLEZ DÍAZ, E. F. (1981). Geomorfología. Geol. de la Prov. de San Luis, VIII Cong. Geol. Arg.; Rel.: 193-236.

GUIÑAZÚ, J. (1961). Descripción Geológica de la Hoja 24f, San Luis. Dir. Nac. Geol. y Min., Bs. As. <http://earth.google.com/Images> © Digital Globe © 2007 Google Inc.

IA (INGENIEROAMBIENTAL.COM) (2004). "Leyes ambientales". <http://www.ingenieroambiental.com/?cate=31> [Consulta: 27-10-04].

INTA (1998). Carta de suelos y vegetación de la provincia de San Luis E.E.A. San Luis. ISBN en trámite.

IRIGOYEN, M., ORTIZ, A. Y MANONI, R. (1989). Cuencas sedimentarias de San Luis. *Cuencas Sedimentarias Argentinas*. Ed. Chebli, G.A. y Spalletti, L. A. Serie de Correlación Geológica 6:203-220. Tucumán.

IVKOVIC K.I., DAMIANI O.A., MIRÓ R. ET AL. (2000). Los Recursos Hidrológicos Subterráneos de la Provincia de San Luis. Un Proyecto de Cooperación Técnica Argentino-Australiano. Informe No.6. Bureau of Rural Sciences Agriculture, Fisheries and Forestry Australia.

KOSTADINOFF, J. Y GREGORI, D.A. (2004). La cuenca de Mercedes, provincia de San Luis. Comunicación. *Revista de la Asoc. Geol. Arg.*, 59 (3): 488-494.

MSA-ANMAT (2005). (Ministerio de Salud y Ambiente – Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica). Código Alimentario Argentino-Capítulo XII – Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificada - Agua Potable - Artículo 982 - (Res Msyas N° 494 Del 7.07.94). <http://www.anmat.gov.ar/principal.html> [Consulta: 20/06/2005].

VAN WAMBEKE A. AND C.O. SCOPPA. (1976). Los regímenes térmicos e hídricos de los suelos argentinos, calculados sobre la base de registros climáticos. *INTA, IDIA Sup.* 33: 388-401.

V Congreso Argentino de Hidrogeología

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ENTRE RÍOS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

Editores

Eduardo L. Díaz
Jorge R. Tomás
María Santi
Marta Paris
Oscar Dalla Costa

V Congreso Argentino de Hidrogeología - 1a ed. – compilado por Eduardo L. Díaz, Jorge R. Tomás, María Santi, Marta Paris y Oscar Dalla Costa. Buenos Aires : Asociación Civil Grupo Argentino de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos - AIH, 2007.

476 p. ; 26x21 cm.

ISBN 978-987-23936-3-2

1. Hidrogeología. 2. Hidrología. 3. Acuíferos. I. Díaz, Eduardo L. comp. II Tomás, Jorge R, comp. III Santi, María, comp. IV Paris, Marta, com. V Dalla Costa, Oscar, comp.

CDD 551.48

Fecha de catalogación: 05/10/2007



**Grupo Argentino
Asociación Internacional
de Hidrogeología**

Primera Edición – Octubre 2007

Tirada: 500 ejemplares

Fecha de aparición: 10/2007

ISBN: 978-987-23936-3-2

Diseño y Diagramación: Impresos S.A.

Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723

Impreso en Argentina – Printed in Argentina

Queda prohibida la reproducción total o parcial del texto de la presente obra en cualquiera de sus formas, electrónica o mecánica, sin el consentimiento previo y escrito del/los autores y/o del/los editores.

PI

El...
del cono
científica

Este á
el estudio
hídricos
el marco

Los t
da al agu
los recur
ricanos y
Congres

Espe
llar nuev
les, dar
de inves
los resp
hídricos

Fin
ción y c
de este
Hidrog
Nacion
ción de
los que
Hidrog