

CORRELACIÓN DE METALES TRAZAS EN AGUAS SUBTERRÁNEAS SOMERAS EN LA CUENCA DEL RÍO SALADO, PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA.

G. Galindo,¹ M.A.Herrero², M.Flores,² y J.L.Fernandez Turiel³

¹ Dpto de Geol. Fac. de Cs. Ex. y Nat. U.B.A. Ciudad Universitaria, P II - CONICET

² Dpto de Producción Animal, Fac de Veterinaria, UBA.

³ Inst. Ciencia de la Tierra "Jaume Almera" - CSIC. Barcelona.

ABSTRACT

There is scarce data about participation and distribution of trace elements in shallow groundwater in Argentina. Fifty eight chemical elements (Ca, Mg, Si, Cl, SO₄, Li, Be, B, Al, P, Sc, Ti, V, Cr, Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, I, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th y U) were analyzed for the first time in 28 water samples located in an area of around 25.000 km² and distributed along the Salado River. Descriptive statistic measurements and correlation. These indicative parameters are of great interest in the definition of water quality and of processes that might modify it, as contamination processes. Special emphasis was placed in the search of some selected trace elements, according to the predominant soil type and lithology of the region, soils with contents of microcomponents Cu, Fe, Mn, Zn, among others and sediments of volcanic origin.

RESUMEN

Son escasos los datos que se poseen sobre la participación y distribución de los elementos trazas en aguas subterráneas someras en Argentina. Se analizaron por primera vez 58 elementos químicos (Ca, Mg, Si, Cl, SO₄, Li, Be, B, Al, P, Sc, Ti, V, Cr, Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, I, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th y U) en 26 muestras de pozos someros, ubicados en un área del orden de los 25.000 Km², y distribuidos a lo largo del Río Salado, utilizando medidas de estadística descriptiva y de correlación. Estos parámetros indicativos son de gran interés en la definición de la calidad del agua y de los procesos que la pueden llegar a modificar, como por ejemplo procesos de contaminación. Es motivo de este estudio la búsqueda de algunos elementos trazas seleccionados, en función del tipo de suelo y litología predominante en la región, suelos con contenidos de microcomponentes Cu, Fe, Mn, Zn, entre otros y sedimentos de origen volcánicos, piroclásticos.

INTRODUCCION

El agua subterránea adquiere su composición química de una variedad de fuentes, aumenta su disolución y suspensión de los constituyentes por contacto con gases, líquidos y sólidos que encuentran durante el pasaje del ciclo hidrológico, desde que desciende y entra en contacto con el suelo y litología de subsuelo interacciona determinando los ambientes químicos en el que se encuentran los elementos trazas.

El objetivo es determinar la presencia de elementos trazas en aguas subterráneas someras y definir los factores que gobiernan el entorno químico de estas aguas utilizando para ello correlación y estadística descriptiva.

La zona elegida para el estudio es de importancia agropecuaria, y cercana a los principales centros de consumo. Esta sujeta a la variabilidad de la hidrología de llanura.

Por otra parte los minerales son fundamentales en la nutrición animal, siendo 22 los elementos necesarios para la vida. En este aspecto se debe considerar el agua como factor de producción, por lo tanto en la ganadería es importante considerar las funciones del agua para la nutrición, producción y salud.

En la Argentina se han realizado numerosos estudios sobre la nutrición mineral en animales, los cuales identificaron distintas áreas caracterizadas por deficiencias en suelos, forrajes y detectada en los niveles de micronutrientes en suero sanguíneo. Sin embargo no existen estudios sobre el contenido en aguas ni sobre sus posibles interacciones. La información sobre calidad de aguas en áreas rurales es escasa, especialmente cuando se considera los elementos minoritarios.

La zona de investigación se ubica en la cuenca inferior del río Salado, en lo que se conoce como Pampa Deprimida. Es la región de mayor producción de secano en el país.

La aptitud de sus tierras corresponde a un 55% de uso ganadero y 34 % ganadero-agrícola, siendo las actividades agrícolas de desarrollo circunstancial situándose en las lomadas que se esparcen en toda la zona. Los últimos años, más secos, una relación favorable de precios y la cercanía a los centros de mayor comercialización agropecuaria incrementó el desarrollo de la agricultura con paquetes tecnológicos intensivos (riego, siembra directa, fertilizantes y plaguicidas), concentrada en pocos cultivos y en los suelos de mejor permeabilidad. Todos los sistemas de producción han incrementado la utilización de insumos agropecuarios y de los recursos como ser el reemplazo de los campos naturales de la región por forraje cultivado. (Fernández Cirelli, A. y otros, 1998).

El clima experimenta alternancia de períodos secos y húmedos, y aún dentro de ellos, lluvias mayores o menores a la normal. Todo esto se refleja en una respuesta más o menos rápida en la dinámica de los recursos hídricos, siendo este hecho destacable para la provincia de Buenos Aires. En la región las precipitaciones medias anuales decrecen de noreste a sudeste, desde los 1000 mm/año hasta los 600 mm/año, las temperaturas medias anuales disminuyen de norte a sur, de 19°C a 15°C respectivamente. La Pampa Deprimida presenta clima húmedo a subhúmedo, mesotermal, observándose mayor sequedad hacia el oeste. Se advierte que las lluvias intensas pueden producir rápidas crecientes de ríos, arroyos y lagunas, que en períodos húmedos pueden tornarse en inundaciones de mayor duración.

Suelos. El material original de toda la región es de edad cuaternaria que rellenó y niveló las irregularidades del relieve terciario. Este sedimento madre es el denominado "Loess Pampeano", su origen es eólico, de color castaño y no consolidado. Las partículas que lo componen son de tamaño limo, con fracciones subordinadas de arcilla y arena, rico en partículas de vidrio volcánico

y con cantidades variables de carbonato de calcio. Tiene la propiedad de mantener paredes verticales en las excavaciones, esto puede incidir en la contaminación de las napas ya que por este motivo, no se aíslan adecuadamente los pozos.

Desde el punto mineralógico el material es esencialmente homogéneo y de fácil meteorización en toda la región. La misma asegura un potencial agrológico de las reservas señalando un elevado nivel de fertilidad natural.

De acuerdo a la Carta de Suelos elaborada por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, a escala 1:500.000 (INTA, 1987), se reconocen dos zonas. Una desde la desembocadura del río Salado hacia el interior hasta el Partido de Monte se encuentran suelos con mayores problemas de sodio (natracualfes y natracuoles típicos), desde la superficie hasta los 40 cm. El escurrimiento superficial es de tipo mantiforme, produciendo anegamientos muy frecuentes con depósitos de sales perjudiciales. La segunda zona es desde el Partido de Monte a Roque Pérez aproximadamente, los suelos predominantes son Argiudoles típicos someros, ocupando pequeñas lomas que emergen del plano general, siendo su principal limitante la escasa profundidad; y en menor cantidad los Natracuoles típicos someros.

En general son suelos de colores pardo oscuros a grisáceos con horizontes A de estructura franco-limosa y horizontes B con contenidos variables de concreciones de óxidos de hierro y manganeso y calcáreas. En las zonas deprimidas se observan suelos con síntomas de alcalinización y halomorfismo, debido al elevado contenido de sodio (Dangavs, 1973). La saturación de los niveles inferiores con sodio, debido al lavado de las sales solubles de los niveles superiores, provoca la dispersión de los coloides minerales y orgánicos presentes, con la consecuente migración de los mismos. El resultado final es la formación de horizontes impermeables, (solonetz) de estructuras columnares y compactas, no aptas para los cultivos en general (Peinemann, 1997).

Morfología. En la región existen numerosas lagunas que fueron clasificadas por Frenguelli (1950) y Ringuelet (1962), sin abarcar el aspecto hidrogeológico. Son de tipo arreicas, endorreicas o mixtas; en relación a las aguas subterráneas efluentes, influentes o mixtas y, por el régimen hidráulico, permanentes, intermitentes y efímeras. La génesis de estas lagunas (sistema de Las Encadenadas, Monte, entre otras) obedece al endicamiento del cauce fluvial preexistente por médanos loéssicos continentales, siendo ésta región caracterizada por ser una llanura de acumulación limosa predominantemente eólica de relieve suave y de pendiente muy escasa que en dirección SSE tiene un valor medio de 0,05 %.

Hidrogeología. La zona de estudio se ubica en la Pampa Deprimida y corresponde al tramo inferior de la cuenca tributaria del río Salado. Las pendientes son escasas, lo que provoca un escurrimiento laminar lento, terminando en pantanos o lagunas, con poca permeabilidad por la presencia de limos y arcillas. Desde el punto de vista hidrológico regional son de poco relieve y escasa pendiente, estimándose un promedio de 0,3 por mil, relativamente deprimidos, mal drenados, superficialmente predomina la descarga de agua subterráneas. Los niveles de la freática, generalmente de regular a mala calidad, se encuentran cerca de la superficie, aflorando en épocas de precipitaciones abundantes.

Las propiedades hidrológicas intrínsecas de los sedimentos no actúan aisladamente, sino formando un complejo hidrogeológico y, por lo tanto, la permeabilidad resultante es un promedio valorado del total de los componente del sistema que de esta forma se torna homogéneo.

Esta región se caracteriza por contener "acuíferos pobres" o acuitardos, están integrados por los comúnmente llamados "limos y loess pampeanos". De estos sedimento predomina la fracción más fina mientras que la psamítica se encuentra en bajos porcentajes o limitada a capas de escaso desarrollo y potencia. Por otra parte, es frecuente el afloramiento o la presencia subsuperficial de

mantos de tosca de distinto tipo, pero contribuyentes a la disminución de la permeabilidad regional. Un elemento importante en su composición mineralógica debido a su incidencia en la química del agua, es la presencia de vidrio volcánico, así como a veces carbonato de calcio y, menos frecuente, yeso.

El Pampeano, cuyos afloramientos dominan ampliamente en el área estudiada contiene, consecuentemente, a la capa freática en la mayor parte de la región. En el resto, de reducida extensión, la misma se integra en el Postpampeano. Los sedimentos pampeanos brindan caudales más bajos que las Arenas Puelches, debido a su menor permeabilidad. Si bien, además de la capa freática, presentan otros niveles productivos de carácter semiconfinado.

Los depósitos Postpampeanos, deben su origen a procesos fluviales, lacustres, marinos litorales y eólicos. Estas acumulaciones, restringidas a las depresiones interiores (valles fluviales, cuerpos lagunares) y al ámbito costero, poseen escaso desarrollo tanto en sentido vertical como areal. Las fluviales, lagunares y marinas son de granometría fina dominante (limo-arcilla) que les otorga un comportamiento de acuicludo a acuitardo con aguas de elevada salinidad.

La recarga a partir de la capa freática, es autóctona indirecta, de tipo areal y localizada preferentemente en los sectores interfluviales. La descarga de los acuíferos más profundos es hacia la capa freática, desde donde posteriormente pasa a formar parte del caudal básico del río Salado y arroyos más importantes. (Salas, 1975).

MATERIALES Y METODOS

El muestreo se realizó en áreas rurales y suburbanas de los partidos de Chascomús, Gral. Paz, Monte, Lobos y Navarro. Se recopilieron investigaciones existentes y dispersas en la cuenca. Censo de perforaciones.

Se relacionó el comportamiento hidrodinámico e hidroquímico del agua subterránea con la litología de subsuelo.

Se tomaron 28 muestras de perforaciones con bombas sapo o molinos, ubicadas geográficamente con GPS. Sus profundidades fueron entre 6 y 15 m, alcanzando los niveles freáticos, éstas son las que se usan para abastecimiento a la población rural dispersa, tanto para consumo humano como para las actividades agrícola-ganaderas. Es por consiguiente muy importante determinar su aptitud para ambos usos. La campaña fue realizada durante el mes de octubre de 1997.

Se realizaron determinaciones analíticas de campo en boca de pozo: Temperatura, pH, oxígeno disuelto, nitratos y conductividad, con equipos portátiles. Fue realizado análisis físico-químico de las muestras determinando elementos mayoritarios en laboratorio.

Estas muestras fueron analizadas simultáneamente en laboratorio con técnicas de ICP-MS en el Instituto de Ciencia de la Tierra "Jaume Almera" (CSIC, España) de los que se ha podido realizar por primera vez los intervalos indicativos de más de 40 parámetros hidroquímicos de gran interés en la definición de la calidad del agua y de los procesos que la pueden llegar a modificar, como por ejemplo procesos de contaminación. Se puso énfasis en la búsqueda de algunos elementos trazas seleccionados. (Ca, Mg, Si, Cl, SO₄, Li, Be, B, Al, P, Sc, Ti, V, Cr, Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, I, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th y U.

Se analizaron 58 variables de 28 perforaciones, aplicando estadística descriptiva de estas variables: media, desviación standard, mediana, mínimo y máximo. Se utilizó correlación de Spearman debido a que no todas las variables se distribuían normalmente.

Para consumo humano se utilizaron las normas de calidad de agua del Código Alimentario Argentino actualizado (1993).

La aptitud de agua para la ganadería se analizó según el valor del límite de seguridad y límite máximo permitido para la producción animal. Se define como límite de seguridad al valor que no afecta la producción animal, y como límite máximo al valor que no afecta la salud del animal. Se caracterizó las actividades en la zona rural, relacionando la calidad existente con el uso y manejo de las distintas fuentes en el medio rural (Herrero, M.A. y otros, 1997).

Se confeccionaron diagrama de Piper y mapas temáticos de isocontenidos mediante la utilización del Software Surfer v.5.

RESULTADOS Y DISCUSION

Del diagrama de Piper, se caracteriza a las aguas subterráneas someras, como bicarbonatadas sódicas, estas las convierte en aguas malas para el riego, porque fijan el sodio en el terreno y crea medios alcalinos. Sólo cuatro muestras son de tipo sulfatadas sódicas, que se ubican en los alrededores de la laguna de Chascomús.

En general los valores de conductividad aumentan de oeste a este, existiendo un crecimiento salino desde las zonas de recarga a las de descarga ya que el recorrido del agua por sedimentos acuitados favorecen el enriquecimiento en sales, al igual que los nitratos, cloruros y fósforo total.

El 75 % de las muestras son muy duras, debido a la disolución de Ca^{++} contenido en el Loess Pampeano.

Los valores promedio de pH, sales totales, cloruros, dureza, nitratos, y arsénico no presentan problemas para el consumo de animales. Sin embargo en la región se han hallado muestras con valores extremos que superan aquellos permitidos tanto para la producción como la salud de los animales que las consumen.

Otro aspecto a remarcar es la interacción entre minerales que podría inducir a la carencia de unos por exceso de otros. Según los resultados presentados por Rucksan, 1985; la presencia de contenido de sulfatos mayores a 200 mg/l en aguas de bebidas para animales originará una carencia inducida de cobre. Las muestras analizadas corresponden a una área típica de carencia de cobre siendo en este caso determinado un 22 % de las muestras que exceden el valor admitido de sulfatos y llegando como valor máximo a 2154 mg/l.

Las concentraciones de elementos en aguas subterráneas reflejan la composición general de la fases geológicas que han obrado recíprocamente con el agua. Los elementos más comunes en el sistema de aguas subterráneas se recopilan en orden decreciente de abundancia en la Tabla No.1. Según Bert Allard (1995).

La información química detallada en lo que respecta a las concentraciones de partes totales es escasa, para la mayoría de los elementos en concentraciones por debajo de $0,1 \mu\text{g l}^{-1}$. A su vez los trabajos publicados en relación a las propiedades químicas de estos elementos en aguas subterráneas en ambientes inalterados, así como los factores que inciden en la presencia de la mayoría de los otros elementos presentes a altos niveles de concentraciones, es en principio en base al conocimiento químico común y de sus equilibrios químicos, siendo rara vez realizados

sobre observaciones directas de campo, especialmente en áreas rurales y de población dispersa. Muy pocos publicaron estudios de sistemas de agua subterráneas incluyendo análisis cuidadosos de los componentes trazas, y, consecuentemente, hay pocos datos precisos de concentración de elementos trazas en sistemas de agua subterránea no contaminados. Este hecho limita el número de elementos que pueden describirse, a excepción de discusiones generales de propiedades químicas también de comportamiento predicho en sistemas de agua subterráneas. Unos únicos elementos con las concentraciones de antecedentes en su mayor parte en el rango de 0,1 a 100 $\mu\text{g l}^{-1}$ bajo condiciones naturales se seleccionan para la discusión para este trabajo (V, U, Se, Sb, Mo, Cr, Cu, Zn, As, Fe, Mn, Si, Cd, Hg, y Pb).

Tabla 1. Nivel de concentración de elementos ($\mu\text{g l}^{-1}$) en el sistema de aguas subterráneas

> 1000	Ca, Cl, K, Mg, Na, S, Si
100-1000	Al, F, Fe
10-100	B, Ba, Br, N, P, Sr, Zn
1-10	Cu, I, Li, Mn, Rb, Ti
0,1-1	Ag, As, Be, Ce, Co, Cr, La, Mo, Nd, Ni, Pb, Sb, Se, U, V, Zr
0,01-0,1	Bi, Cd, Cs, Ga, Hf, Hg, Sc, Sm, Th, W, Yb
< 0,01	Au, Eu, Lu, Sn, Ta, Tb

Para el tratamiento estadístico de los datos obtenidos se realizaron dójimas de correlación no paramétricas de Spearman, debido a la falta de normalidad de las variables y se seleccionaron las altamente significativas ($p < 0.01$) para interpretar los resultados obtenidos. Esta no normalidad puede deberse a que el agua proveniente de perforaciones ubicadas en un área muy extensa manifiestan cambios hidroquímicos relacionados al desarrollo de los diferentes tipos de suelo de la región. Otra causa podría ser la relacionada a sectores donde se presentan mezclas de aguas de diferente origen.

Los elementos trazas de las aguas subterráneas fueron comparados con trabajos de investigación en la zona de la llanura sudoriental de la provincia de Córdoba (Nicolli, et al 1985). Además se revisó las características químicas de las aguas subterráneas, (Catalán Lafuente, 1981) y en base a la mineralogía que constituyen los sedimentos de la región se intentó explicar la composición química del agua, (Dana-Hurlbut, 1960).

Los datos obtenidos se presentan en las tablas 2, 3, 4 y 5. Debido a la limitante de espacio en la publicación solo se exponen aquellos elementos de mayor importancia.

El **Arsénico** se correlaciona con el Boro, Vanadio, Wolframio, Molibdeno, Calcio y Hafnio. Está presente en el 64 % de los pozos, el valor medio es de 129.38 $\mu\text{g/l}$, valor que supera lo estipulado de 50 $\mu\text{g/l}$ por el Código Alimentario Argentino (1993), la necesidad de delimitar la concentración del arsénico en aguas para consumo viene impuesto como consecuencia de su alta toxicidad. El origen del arsénico se presume volcánico, pero si se lo sigue en el tiempo habría que ver si aumenta, ya que este factor quedaría minimizado respecto al aporte que se hace como consecuencia de su utilización con pesticidas (los arsenitos como herbicidas y arseniatos como insecticidas), cuyo uso no es frecuente en la región.

El **Vanadio** se correlaciona con Calcio, Boro, Arsénico, Molibdeno, Antimonio, Hafnio y Holmio. El valor medio registrado fue de 226.45 $\mu\text{g/l}$. No hay normas sobre el contenido de vanadio en aguas potables, sin embargo, ejerce un papel bioquímico muy importante tanto en los vegetales como animales, realizan en estos últimos al parecer una acción importante en la calcificación ósea,

siendo por otra parte un inhibidor de la biosíntesis del colesterol. Comparado con otras investigaciones en regiones de Argentina los valores encontrados son mucho más bajos. Su origen posiblemente se debe a la presencia de minerales arcillosos que provienen de la meteorización de rocas ígneas.

Tabla 2

Variable	Media	Desv. Est.	Mediana	Mínimo	Máximo
As	129.379	181.777	64.725	12.79	797.32
U	26.548	42.598	13.76	6.41	215.46
V	226.452	150.781	174.35	55.03	671.49
Se	158.617	149.528	117.72	40.9	762.44
Sb	0.326	0.218	0.26	0.15	1.01
Mo	35.433	70.572	13.95	1.55	359.24
Si	25.897	4.094	25.985	17.86	36.29

Nota: los valores están expresados en µg/l

Tabla 3 : Matriz de Coeficientes de correlación de Spearman

	As	U	V	Se	Sb	Mo	Si
As	1.0000						
U	0.18632	1.0000					
V	0.88923	0.2588	1.0000				
Se	0.01265	0.26427	0.14051	1.0000			
Sb	0.46718	0.20634	0.64096	0.21902	1.00000		
Mo	0.66564	0.46598	0.69641	0.14803	0.30677	1.0000	
Si	-0.25949	0.01538	-0.29641	0.32034	-0.24919	-0.3812	1.0000

Nota: los valores resaltados corresponden a una correlación altamente significativa ($p < 0.01$)

Tabla 4

Variable	Media	Desv. Est.	Mediana	Mínimo	Máximo
Cd	0.232	0.163	0.165	0.06	0.69
Zn	159.297	257.683	56.765	6.49	1394.68
Cu	17.175	20.178	10.89	1.88	90.25
Cr	8.681	11.296	6.18	0.01	57
Fe	81.169	124.353	20.575	5	499.57
Mn	152.492	450.504	9.265	0.62	1997.15
Pb	3.582	12.7	0.525	0.14	65.46
Si	25.897	4.094	25.985	17.86	36.29

Nota: los valores están expresados en µg/l

Tabla 5 : Matriz de Coeficientes de correlación de Spearman

	Cd	Zn	Cu	Cr	Fe	Mn	Pb	Si
Cd	1.000							
Zn	0.368	1.000						
Cu	0.236	0.339	1.000					
Cr	0.405	0.262	0.194	1.000				
Fe	0.577	0.542	0.427	0.042	1.000			
Mn	0.199	0.1	0.167	-0.229	0.356	1.000		
Pb	0.15	0.507	0.382	0.171	0.278	-0.029	1.000	
Si	0.146	0.271	0.223	0.552	-0.015	-0.212	0.049	1.000

Nota: los valores resaltados corresponden a una correlación altamente significativa ($p < 0.01$)

Para el **Uranio** no se encontró correlación altamente significativa con otros elementos analizados, la media es de 26.55 µg/l, estos valores son mayores que los encontrados en otras regiones de Argentina. El origen del uranio según la bibliografía consultada puede deberse a que son constituyentes de vidrios volcánicos, en nuestra zona su presencia puede explicarse por constituir elementos minoritarios en materiales arcillosos.

El **Selenio** se correlaciona con el Níquel, Cromo y Talio. La media es de 158.62 µg/l, el 85 % de la muestras contienen Selenio, y no son aptas para consumo humano porque superan los límites establecidos. Los valores son similares a otras regiones de Argentina, su presencia se debe probablemente a que forma parte del vidrio volcánico presente en la región. Es un nutriente esencial según se cree para la nutrición de los animales siendo además un agente desintoxicante de ciertos metales pesados en especial el Cadmio. Por otra parte dosis excesivas de Selenio son perjudiciales provocando síntomas de intoxicación parecidas al Arsénico. Su toxicidad ante exposiciones prolongadas puede originar la muerte. También se ha demostrado que la presencia de Arsénico en aguas de bebida acentúa la toxicidad del Selenio. (Catalán Lafuente, 1981) Los procesos de potabilización tienen poco efecto en la eliminación de este elemento siendo recomendado no más de 10 µg/l.

El **Antimonio** se correlaciona con Vanadio, Boro, Tulio y Holmio. La media es de 0.33 µg/l. Los valores son menores en comparación con otras regiones. La información relativa a la presencia de Antimonio en aguas subterráneas es muy escasa, y no están establecidas las normas de potabilidad respecto a éste elemento.

El **Molibdeno** se correlaciona con Boro, Vanadio, Arsénico, Wolframio. La media es de 35.43 µg/l. Los valores son menores a los encontrados en otras regiones, no existe normas para el consumo de bebida. Su presencia en aguas subterráneas se explicaría por la existencia de materiales piroclásticos en los sedimentos. Es importante en la osificación de los animales, ejerciendo por otra parte un efecto inhibitor específico sobre las fosfatasas. Es muy importante su acción catalítica para fijación del nitrógeno atmosférico por medio de las bacterias. Por otra parte suelos alcalinos y de salinidad media promueven su absorción.

El **Cinc** se correlaciona con el Plomo y el Hierro. La media es de 159.30 µg/l. Los valores encontrados no superan los establecidos por el Código Alimentario Argentino. Es un elemento esencial de la biosfera. En pequeñas concentraciones estimula el crecimiento de las plantas, mientras que en grandes cantidades es muy tóxico para la mayoría de ellas. Algunas veces está concentrado en las plantas. Se explica su presencia en las aguas subterráneas debido a que el sedimento loésico está integrado por anfíboles y piroxenos entre otros minerales.

El **Cadmio** se correlaciona con la Conductividad, Sulfato, Hierro, Níquel, Bromo, Litio, Titanio, Disproso, Holmio, Erblio y Talio. La media es de 0.23 µg/l, en nuestra región ninguna muestra supera el límite de potabilidad. Como el Cinc, el Cadmio es uno de los constituyentes del piroxeno y anfíbol de las fracciones psamíticas, que sería uno de los orígenes de su presencia en el agua, cuando superan ciertos valores se podría decir que se debe a la corrosión de las tuberías galvanizadas, esto se da más que nada en las zonas con alta densidad de población.

El **Cobre** se correlaciona con el Titanio, Cobalto,, Estaño, Itrio y Cerio. La media es de 17.17 µg/l. En ningún caso supera el límite de potabilidad. Es un microcomponente constante de las plantas y animales, en pequeñas cantidades estimula el crecimiento de los vegetales, mientras que en grandes cantidades es venenoso. Es esencial para el crecimiento de muchos animales herbívoros. El sulfato de cobre hidratado se utiliza para tratar el agua, por su acción bactericida y algicida. La presencia de cobre en el suelo se encuentra en mayor concentración en capas superficiales, siendo en general un elemento poco soluble. La absorción relativa entre el Cu y Mo hace que ciertas especies forrajeras manifiesten una carencia inducida de Cu por exceso de Mo. Los suelos de alta alcalinidad favorecen la absorción del Mo en reemplazo del Cu especialmente en épocas lluviosas (Rucksan, 1985).

El **Cromo** se correlaciona con el Talio, Escandio Sílice, Selenio, Plata y Lantano. La media es de 8.68 µg/l. Sólo el 4 % de las muestras superan el límite establecido. Su presencia en el agua puede deberse a los componentes de piroxenos, anfíboles y biotitas de las fracciones psamíticas que se liberan durante la meteorización. Cuando es muy elevado el contenido en Cromo es por contaminación industrial de talleres de cromado y curtiembres.

El **Hierro** se correlaciona con Calcio, Cloruros, Sulfatos, Titanio, Bromo, Rubidio, Estroncio, Níquel, Cadmio, Cobalto, Cesio, Yterbio, Itrio, Cinc, Praseodimio, Disproso y Erblio. La media es de 81.17 µg/l. Sólo el 10 % de las muestras superan el límite establecido. Su presencia en el agua se le atribuye a los suelos que están constituidos por concreciones de hierro y manganeso. Además es un elemento muy difundido en la naturaleza, encontrándose sensiblemente en todos los terrenos.

El **Manganeso** se correlaciona con el Titanio únicamente. La media es de 152.49 µg/l. Sólo el 15 % de las muestras superan el límite establecido. Como se mencionó anteriormente se encuentra

en los perfiles de suelo de la región formando concreciones. Otra de las explicaciones sería que el sulfuro de manganeso se disuelve enseguida en forma de bicarbonato por la acción de las aguas que contienen dióxido de carbono y sustancias húmicas, considerando que las aguas se clasifican como bicarbonatadas sódicas. Es indicador de contaminación industrial.

El **Mercurio** no se correlacionó por tener valores inferiores a 0.001 µg/l en todas las muestras. Su presencia puede deberse a las arcillas y minerales piroclásticos.

El **Plomo** se correlaciona con el Vanadio, Boro, Estaño y Cinc. La media es de 3.58 µg/l. Sólo el 4 % de las muestras superan el límite establecido, siendo proveniente de un molino de mas de 50 años. La presencia en las aguas subterráneas puede deberse a la interacción con las plagioclasas presentes en los sedimentos psamíticos. Los valores obtenidos coinciden con los estudios realizados en otros países.

La **Sílice** se correlaciona con el Cromo y la Plata. La media es de 25.90 pum. Todas las muestras superan el límite. La presencia de la sílice en el agua subterránea se relaciona con los sedimentos arcillosos y los minerales formadores de roca como anfíboles, piroxenos y micas, que están presentes en la región en la fracción psamítica. Los silicatos solubles en el agua son los de sodio y potasio. La sílice es llevada en solución, por meteorización de los minerales presentes en la región como los feldespatos de las fracciones psamíticas que se altera formando carbonato potásico y arcillas.

Para relacionar las muestras obtenidas con el uso y manejo de las fuentes agua, se realizó un cuestionario al propietario. Las muestras fueron clasificadas según uso permanentemente para humanos (P), frecuente para humanos (F) y eventual (E). De las 28 muestra obtenidas se distribuyeron según estas categorías en P= 61 % , F = 29 % y E= 10 %. Fue considerado el contenido de nitratos como una de las limitantes para el consumo de la población, hallandose en P un 56 % de muestras no aptas, en F un 37, 5 % y en E un 33 % que no serian aptos.

En el caso de los pozos correspondiente a P la presencia de casas, pozos ciegos, corrales de animales y galpones explicarían la elevada presencia de nitratos; por el contrario las muestras de consumo eventual fueron generalmente molinos distanciados a mas de 100 m de fuentes de contaminación. Estos factores de contaminación son importantes en esta región donde las perforaciones son someras.

Se realizaron 16 mapas de isocontenidos para conocer la distribución geográfica de los diferentes elementos trazas contenidos en el agua subterránea.

Si se compara la distribución observada en los mapas de isocontenido obtenidos y teniendo en cuenta las correlaciones analizadas anteriormente se definieron tres grupos: el primero constituido por molibdeno, vanadio y antimonio (Figura 1); se observa una distribución areal en sentido noreste-sudoeste, o sea desde las inmediaciones de Chascomús hacia Monte al sudoeste. El segundo constituido por selenio, cadmio, cromo y sílice; abarca un área de noroeste a sudeste, desde Monte a General Belgrano (Figura 2). Y un tercer grupo constituido por hierro, cinc, plomo, manganeso y cobre; este se concentra en el sector norte, entre Chascomús y Monte. (Figura 3).

La distribución del arsénico no se ubica en ningún grupo ya que manifiesta niveles máximos cercanos a la desembocadura del Río Salado y mínimos hacia el este de la región. Se observo un comportamiento antagónico a la presencia del selenio.

Se destaca que en zonas donde hay mayor contenido en cobre, hierro y plomo, no hay selenio y cromo, siguiendo un comportamiento antagónico. Estas distribuciones de los elementos trazas en aguas subterráneas no responden a la dirección de flujo como era de esperar.

Las aguas subterráneas interactúan con el suelo, por lo que se la considera que integran un sistema multifase, donde intervienen factores físicos y geológicos principalmente. Los procesos que interactúan con la fase acuosa cambia con la atmósfera y biosfera, y las interacciones con las fases mineralógicas determinan la composición de las aguas subterráneas desde el punto de vista de componentes disueltos.

Los factores físicos a tener en cuenta serían el tiempo de residencia del agua y dirección del flujo por el sistema, que están íntimamente relacionados porque afectan la evolución química del agua.

Los factores geológicos son el tipo de suelo y litología de subsuelo, meteorización y distribución de los mismos, estos interactúan con el agua, se producen asociaciones de elementos trazas con grupos minerales para definir su composición química, o sea que se habla de un control geológico referido a las aguas subterráneas. Estos factores son de especial importancia en la interpretación de estos resultados por la gran incidencia que tienen los diferentes tipos de suelos presentes en la calidad química del agua subterránea someras. Otros factores que inciden en este caso son las fluctuaciones de los niveles freáticos como consecuencia de la variabilidad climática típica de la región.

CONCLUSIONES

Se utilizó la correlación de Spearman debido a que no todas las variables se distribuyen normalmente, esta no normalidad se puede deber a que las perforaciones en un área muy extensa manifiestan sus cambios hidroquímicos, o que provienen de origen diferente.

La distribución de los elementos trazas no responden a la dirección de flujo regional, probablemente respondan a la morfología, distribución de los diferentes tipos de suelo y las variables climáticas. Las aguas subterráneas interactúan con el suelo, por lo que se la considera que integran un sistema multifase, donde intervienen factores físicos y geológicos principalmente.

Por lo que sería una etapa a seguir en la investigación, pero en forma sectorial o a nivel de subcuencas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el marco de un Proyecto Integrado, subsidiado por la Universidad de Buenos Aires. Se deja constancia de la colaboración en el muestreo a las Lic. A.M.Fazio y P.Miretsky; y a los Med. Vet. V. Maldonado y A. Orlando.

BIBLIOGRAFIA

- Allard, B. 1995. Groundwater. Salbu, B. and Steinnes, E. (Ed.): Traces elements in natural water, pp:151-176. Ed. CRC Press, Florida.
- Catalán Lafuente, J. 1981. Química del Agua. 423 pp. Ed Alonso. Madrid.
- Código Alimentario Argentino Actualizado. 1993. - Cap XII art.982, pp.331. De la Canal y Asoc. de Buenos Aires.
- Dana-Hurlbut 1960. Manual de Mineralogía. 600 pp. Ed Reverte.

- Dangavs, N. V. 1973. Estudios geológicos en la Laguna de S. M. del Monte. Rev. del Mus. de La Plata. Tomo VIII:281-311.
- Fernández Cirelli, A., Galindo, G., Herrero, M. A. y Korol, S. 1998. Caracterización físico-química y microbiológica para la definición de áreas críticas en la Cuenca del Río Salado, Provincia de Buenos Aires. Argentina. 4º Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Montevideo, Uruguay. Tomo 2:
- Frenguelli, J. 1950. Rasgos generales de la morfología y la geología de la provincia de Buenos Aires, Publ. L.E.M.I.T., Ser,2 (33):35-39.
- Herrero, M. A. y otros 1997. Protagonistas del desarrollo sustentable: El agua en el sector agropecuario, caracterización de la Pradera Pampeana. EUDEBA - pag 53 a 81, Bs. As. - Argentina.
- INTA 1987. Carta de suelos de la Rep. Arg. - Hoja 3560-30-Pag 1-19.
- Peinemann, N. 1997. Formación, clasificación, manejo y recuperación de suelos salinos y sódicos. Ediciones Sur, pag.120. La Plata, Rep.Arg.
- Ringuelet, R. A. 1962. Ecología acuática continental. EUDEBA, 138 pp.
- Rucksan, B. 1985. Mapa de microelementos en forrajeras de Argentina. Rev. Arg. Prod. An. Vol 4 Supl.3 :89-98
- Sala, J. M. 1975. Recursos hídricas (Especial mención de las aguas subterráneas). VI Cong.Geol. Arg. Bahía Blanca:169-251.
- Siegel Sidney 1970. Diseño Experimental no paramétrico. Editorial Trillas.



