

CARACTERIZACION DEL ACUÍFERO PAMPEANO MEDIANTE LA UTILIZACION DEL PERFLAJE DE ESPECTROSCOPIA GAMMA NATURAL EN UNA PERFORACIÓN DE ESTUDIO

Sierra Leonardo^{1,2}, Weinzettel Pablo^{1,3,4}, Dietrich Sebastián^{1,4}, Bea Sergio^{1,2}, Cacciabue Lucia^{1,5}

¹ Instituto de Hidrología de Llanuras "Eduardo J. Usunoff" (IHLLA), lsierra@faa.unicen.edu.ar

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

³ Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (CIC).

⁴ Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires (UNCPBA).

⁵ Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT).

Resumen

El perfilaje de espectroscopia de rayos gamma natural (NGS) es ampliamente utilizado en la industria del petróleo, y en menor escala en el ámbito de las aguas subterráneas. A diferencia del clásico perfilaje gamma natural, este permite identificar y cuantificar elementos radiactivos naturales y artificiales (U, Th y K), aportando información más diagnóstica para interpretar el tipo litológico y la mineralogía existente en el subsuelo. En este sentido, esta se convierte en una herramienta muy prometedora en la exploración hidrogeológica ya que es uno de los escasos perfilajes que se puede correr en perforaciones preexistentes entubadas. Para el caso de la problemática del arsénico (As) en el acuífero Pampeano, esta metodología facilitaría la identificación de niveles con minerales asociados a la presencia de este metaloide, permitiendo aislarlas en un diseño de perforación. El objetivo de este trabajo es presentar los primeros perfilajes NGS e interpretar su relación con análisis de laboratorio. Se utilizó una perforación de estudio de 70 m de profundidad llevada a cabo en la localidad de Tres Arroyos, provincia de Buenos Aires. La misma cuenta con un muestreo de sedimentos y de agua por cada metro perforado, de las cuales se analizaron 30 niveles seleccionados. Los resultados preliminares permiten establecer, en algunos niveles, prometedoras relaciones entre la señal geofísica, la mineralogía, y determinados elementos químicos, con potencial de ser aplicados a la prospección hidrogeológica de niveles acuíferos con escaso o nulo contenido de As.

Palabras claves: espectroscopia gamma natural, arsénico, acuífero Pampeano, perfilaje geofísico.

Abstract

Natural Gamma Ray Spectrometry (NGS) is widely used in the oil industry, and to a lesser extent, in the hydrogeologic exploration. Unlike classical natural gamma logging, it allows identifying natural and artificial radioactive elements (U, Th and K), providing a more diagnostic information to identify the lithology and mineralogy in the aquifer sediments. In this sense, it becomes a very promising tool in the hydrogeological exploration because it is one of the few geophysical methodologies that can be applied on existing tubed wells, increasing its field of application. As regards the arsenic (As) problem in the Pampean aquifer, this methodology would facilitate the identification of sediment levels enriched in minerals generally associated with this metalloid, allowing its isolation during to the drilling design. The aim of this work was to present the first NGS loggings, and their relationships with the sample measurements. It is focused on a study borehole 70 m deep located near the Tres Arroyos city, Buenos Aires province. Sediments and groundwater at each meter were collected during drilling, and a total of 30 samples were selected for analysis. Preliminary results allowed to establish, in some levels, promising relationships between the geophysical signal, mineralogy, and certain chemical elements, suggesting the potential of this methodology to be applied in the hydrogeological survey of As-low aquifers.

Keywords: natural gamma ray spectroscopy, arsenic, Pampean aquifer, geophysical logging.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de aplicar el perfilaje geofísico en un pozo es conocer la respuesta en cuanto a resistividad eléctrica, gamma natural y potencial espontáneo de los niveles acuíferos que presentan calidad química apta para consumo humano. En este sentido, de todos los registros mencionados resultan de mayor interés los de gamma natural y potencial espontáneo, ya que ellos están directamente relacionados con la presencia de arcilla y contenido salino del agua.

Para obtener una mayor definición de las características de los minerales presentes en el perfil se han realizado mediciones con una sonda de perfilaje que discrimina las litologías de acuerdo al contenido de Torio (Th), Uranio (U), y Potasio (K), llamada espectroscopía de gamma natural (Natural Gamma Spectroscopy, NGS). Esta metodología se basa en que ciertos minerales tienen concentraciones características de Th, U y K por lo que el perfilaje puede ser usado para identificar minerales o tipos de minerales (Keys, 1990). Según Schlumberger (1989), estos tres elementos radiactivos abundan en los siguientes minerales: K en micas, feldespatos, arcillas micáceas (illita), evaporitas radioactivas; Th en lutitas y minerales pesados; y U en fosfatos y materia orgánica. En relación a estos últimos, los minerales radiactivos encontrados en una formación son, en alguna medida, dependientes de su modo de sedimentación, el grado de retrabajo y alteración. De hecho, el Th tiene muy baja solubilidad y limitada movilidad por lo que tiende a acumularse en minerales pesados. Por otro lado, el U tiene gran movilidad y solubilidad por lo que puede encontrarse en fracturas y zonas en donde se produce flujo de agua.

El significado del tipo de radiación depende de la geología de las unidades acuíferas: (1) en carbonatos, el U usualmente indica materia orgánica y fosfatos, el Th y K, la presencia de arcillas; (2) en areniscas, el Th indica la presencia de minerales pesados y arcillas, mientras que el K es usualmente asociado a micas y feldespatos; (3) en arcillitas, el K el tipo de arcilla y mica, mientras que el Th depende de la cantidad de material detrítico.

Identificar los tipos de arcillas en el subsuelo es vital para la exploración de niveles acuíferos libres de As, ya que numerosos estudios hacen referencia a la adsorción de arseniato y arsenito sobre montmorillonita, caolinita e illita (Chakraborty et al., 2007). Sin embargo, la adsorción de As sobre caolinita y montmorillonita depende de las condiciones hidrogeoquímicas (pH), y del estado redox del As (Frost y Griffin, 1977): As (V) y As (III) presentan mayor afinidad con la caolinita, y el As (V) es preferentemente adsorbido sobre ambos minerales. Además, las micas (muscovita y biotita) presentan también una fuerte afinidad para adsorber el As, y esta depende también del pH (Chakraborty et al., 2007).

Aunque no son de amplia aplicación en sucesiones sedimentarias continentales, se analizan las relaciones Th/K y Th/U como indicativas de enriquecimientos relativos según su mineralogía e indicativas de ambientes sedimentarios y condiciones oxido-reductoras (Adams y Weaver, 1958).

Por último, la sonda NGS presenta la ventaja adicional de que permite que el perfilaje sea aplicado indistintamente en pozos abiertos o entubados. Esto amplía el campo de la prospección hidrogeológica, ya que se puede realizar perfilajes en pozos de abastecimiento que generalmente cuentan con una descripción litológica, y en los se conocen las zonas donde se ubican los filtros o zonas de entradas de agua al pozo.

El objetivo del presente trabajo es investigar las posibles relaciones entre el registro de una sonda NGS y las características mineralógicas, geoquímicas e hidroquímicas en el acuífero Pampeano. Como primera aproximación se presentan los resultados obtenidos en una perforación de estudio.

ÁREA DE ESTUDIO

El sector de estudio se ubica en una zona periurbana de la ciudad de Tres Arroyos, provincia de Buenos Aires (38°21'54" S, 60°14'39" O). La columna estratigráfica es posible consultarla en Weinzettel et al., (2005), y culmina con sedimentos loessicos Pampeanos y

Pospampeanos de un espesor de 120 m estimados por geofísica (Weinzettel y Varni, 2007). En dicha zona se vienen realizando estudios para la provisión de agua (Weinzettel et al., 2005), reconociéndose aguas del tipo Na-HCO₃, y localmente del tipo Na-mixta (Cl-SO₄) con HCO₃ en zonas de descarga local vinculadas a los afluentes del arroyo Tres Arroyos.

METODOLOGÍA

Principios de medición y sonda NGS

La sonda de rayos gamma común produce un perfil con el total de la radiación gamma natural. Esta radiación es emitida por tres principales fuentes, las cuales son los isótopos ⁴⁰K, ²³²Th, ²³⁸U, y sus productos de decaimiento. Los rayos gamma emitidos por las tres series de decaimiento producen un número discreto de energía que pueden observarse en tres espectros de emisión de rayos gamma. Cada espectro caracteriza una serie de decaimiento, y cada serie tiene una firma espectral cuya presencia puede ser discernida (Serra, 1984). Se utilizó la sonda SGAM2-10279 de Robertson Geologging que posee un cristal detector de rayos gamma de yoduro de sodio (NaI). El equipo posee dos modos de registro de gamma natural y de los contenidos de Th, U y K: en modo continuo a lo largo del pozo utilizando el modo ventana, y en posición estacionaria, midiendo el espectro completo. Esto permite la corrección automática de la deriva por temperatura del cristal de NaI, problema habitual del método de ventana. El equipo registra el gamma natural en cuentas por segundo (CPS) y los contenidos de Th, U y K en Bq/kg. Estos tres últimos requieren una conversión a contenido volumétrico (ppm para U - Th y % para K), que es realizada mediante un factor de conversión propio del equipo calibrado en fábrica.

La herramienta NGS utiliza cinco ventanas de energía cubriendo el rango entre 0,1 y 3,0 MeV. Estas ventanas poseen picos distintivos generados por el decaimiento radiactivo de un elemento particular, que son utilizadas para la medición (Figura 1a). La zona de alta energía, está formada por las ventanas W3, W4 y W5, centradas en los tres picos de alta energía por el decaimiento del ⁴⁰K (1,46 MeV) y del ²¹⁴Bi (1,76 MeV) y ²⁰⁸Tl (2,62 MeV) correspondientes a las series del ²³⁸U y ²³²Th, respectivamente. Esta zona representa solo el 10% de todo el espectro en término de valor de conteo, por lo que su cálculo involucra un gran error estadístico. Una importante mejora se consigue cuando se considera el espectro completo, al medir la porción de baja energía del espectro. Esto puede observarse en la Figura 1b cuando la sonda NGS es posicionada a una determinada profundidad en el pozo.

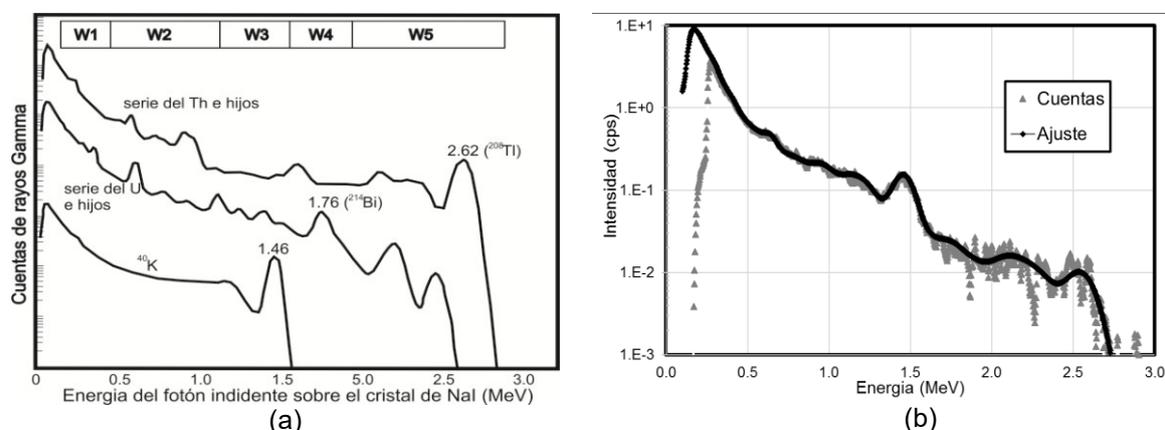


Figura 1. a) Espectros de radiación natural gamma para el ⁴⁰K y las series de decaimiento del Th y U, registrados por un detector de NaI. Se indican las ventanas de energía (W) y los picos característicos del K y de las series de decaimiento del U y Th. Modificado de Schlumberger (1989). (b). Espectro total (Th+U+K) estático medido con el equipo RG. Se indican los datos puntuales y la curva de ajuste.

No fueron necesarias correcciones por el lodo de perforación y por las variaciones de diámetro del pozo, ya que el sistema de perforación no utilizó ninguna inyección y el diámetro fue siempre el mismo.

Otra información que puede ser derivada de la NGS es el volumen de arcillas presente en el sedimento, conocido en el ambiente del petróleo como V_{shK} . En este caso se ha empleado el registro de K, como sugiere Serra (1984), aplicando una modificación de Larionov para rocas terciarias. La fórmula siguiente indica el cálculo:

¡Error! No se pueden crear objetos modificando códigos de campo. donde
¡Error! No se pueden crear objetos modificando códigos de campo.

Aplicación de la sonda

El perfilaje con la sonda NGS se llevó a cabo en una perforación de estudio (PE6), de 70 m de profundidad realizada por percusión con la obtención de testigos continuos de los sedimentos pampeanos. Se extrajeron muestras de agua en cada metro de avance mediante un muestreador tipo bailer, de las que seleccionaron 30 niveles, de un metro, para análisis de laboratorio de sedimentos de perforación y de agua poral. Los sedimentos fueron analizados para determinar el carbono inorgánico por pérdida por ignición (LOI 950°C), mineralogía por difracción de rayos x (DRX), y el contenido de metales trazas por ICP-MS (agua regia, ACME Lab.). El agua poral se extrajo de los testigos por compresión mecánica y analizada por metodologías estándar, el F por SPANDS (SM-4500D) y el As por ICP-MS.

La litología del pozo es un perfil típico del Pampeano, con alternancia de arenas limosas, limos arenosos y carbonatos. Se presentan niveles de tosca y escasa presencia de arcilla intercalada. El nivel freático oscila entre 3 y 4.5 m bajo el nivel del terreno.

Se utilizó un perfilador marca Robertson Geologging con 500 m de cable, una central Micrologger que procesa los datos adquiridos, y una polea con trípode que controla la profundidad y velocidad de avance de la sonda en el pozo. El perfilaje se registra desde el software Winlogger (Robertson Geologging, 2016). La sonda NGS debe descender dentro del pozo a velocidades bajas para evitar un número insuficiente de conteo de rayos gamma que crearía variaciones estadísticas excesivas. Esta velocidad fue de 1 m/min, obteniéndose una resolución vertical de 1 cm.

En algunos sectores del perfil se midió con la sonda durante un tiempo determinado, para obtener un espectro estático (Figura 1b). A pesar de las bajas velocidades de descenso, fue necesario filtrar los datos con una media gaussiana de 10 valores por encima y por debajo de cada profundidad (Davies y Elliott, 1996). Posteriormente fueron calculadas las relaciones Th/K y Th/U. Para facilitar su comparación con los análisis de sedimentos y utilizó una media gaussiana de 50 valores por encima y por debajo de cada profundidad (Figura 3).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis en sedimentos

En la Figura 2 se presentan los resultados integrados de la mineralogía (DRX en muestra total), y tres gráficos con los registros de U, Th y K de la sonda NGS. Conjuntamente con los datos en bruto (curva gris), se muestra una media gaussiana (n: 100) para facilitar la interpretación y comparación con los análisis de laboratorio. Además, en cada gráfica se indica las concentraciones del mismo elemento medido sobre muestras de sedimentos. Así como en cada una el contenido de As en sedimento.

En general se obtuvo una buena concordancia entre la curva de Th, y los contenidos de As y Th medidos en el sedimento (Figura 2c). Sin embargo, tanto el K como el U de los sedimentos muestran valores inferiores al registro de la sonda NGS, posiblemente

relacionado con el tipo de digestión parcial a la que fueron sometidos los sedimentos (agua regia), previo al análisis por ICP-MS (Figura 2b y 2d).

Los análisis de DRX acusan un predominio de cuarzo, plagioclasas y arcillas sobre el resto de los minerales (Figura 2a). Seguidos por variables contenidas de feldespato potásico y calcita, según la porción del perfil. Es notable la disminución de los registros de NGS de U, Th y K en los niveles calcíticos entre los 9 y 17 m de profundidad, excepto entre los 10 y 11 m con un pico de Th y de U entre los 11 y 12 m, posiblemente asociados a niveles ricos en minerales pesados y con materia orgánica, respectivamente.

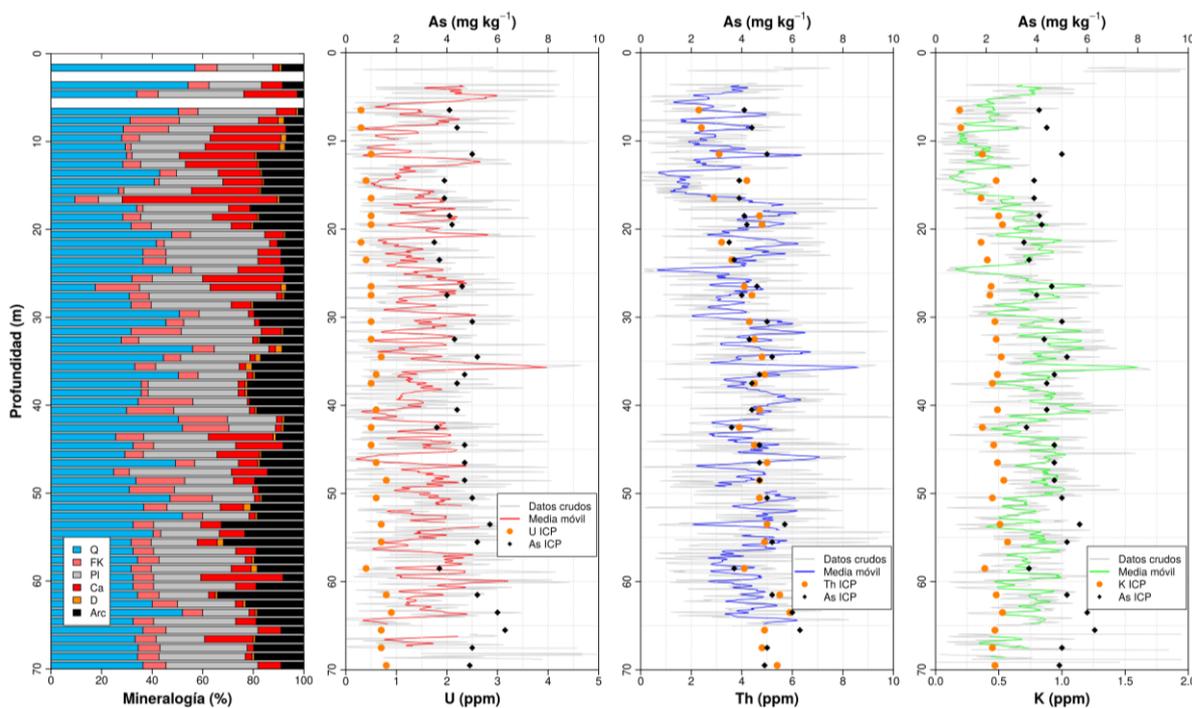


Figura 2. a) Composición mineralógica por DRX muestra total: cuarzo (Q), feldespato potásico (FK), plagioclasas (PI), calcita (Ca), dolomita (D) y arcillas (Arc). b) Registro de NGS completos y sobre media gaussiana ($n = 100$) de U (ppm) y contenidos puntuales U y As (ICP-MS). c) Th (ppm, NGS e ICP-MS). d) K (%), NGS e ICP-MS).

Composición de las arcillas y relación Th/K

La Figura 3 muestra los datos de las medias móviles de K y Th en los campos mineralógicos definidos por Quirein et al., (1982). Se observa una dominancia de arcillas interestratificadas ($3.5 < Th/K < 12$), variables cantidades de esmectitas (montmorillonita) e illita según el intervalo, y escasa clorita y caolinita, en niveles aislados.

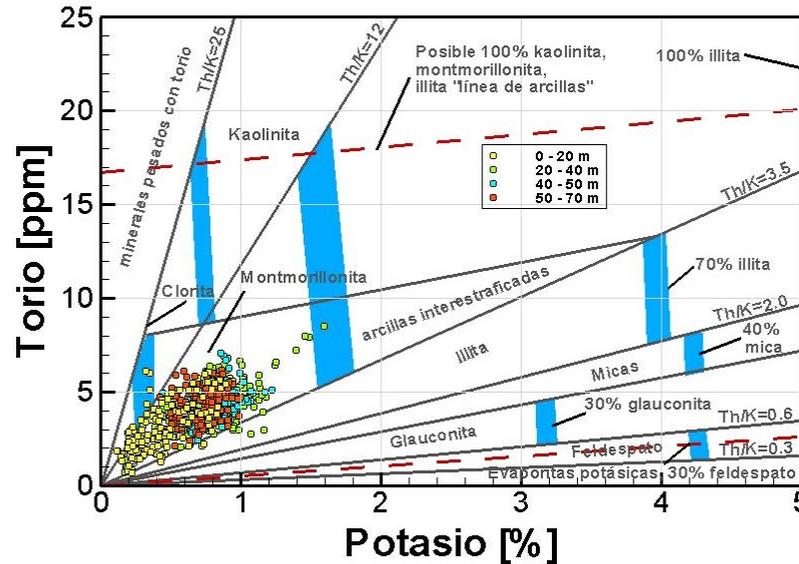


Figura 3. Relación entre el K (%), y el Th (ppm) para determinar el tipo de arcilla. Se grafican los datos de las medias móviles para diferentes intervalos de profundidad (Schlumberger, 1989).

Debido a la relativa homogeneidad de los sedimentos Pampeanos, sería favorable orientar las investigaciones a desarrollar una clasificación con mayor detalle del campo de las arcillas interestratificadas, sobre los cuadros de uso en la industria del petróleo.

En la Figura 4 se muestra la mineralogía de las arcillas obtenida mediante (DRX), el volumen de arcillas (V_{shK}), las relaciones Th/U y K/U y el registro de Th junto a análisis de Fe y Mn de los sedimentos. Al igual que lo observado en la Figura 3, las arcillas se componen mayoritariamente de illitas, esmectitas e interestratificados. Sin embargo, a partir de los análisis de DRX fracción arcilla es posible reconocer cambios en las proporciones relativas a los 30 m. En la sección superior predominan illitas e interestratificados illita-esmectita mientras que en la sección inferior predominan esmectitas.

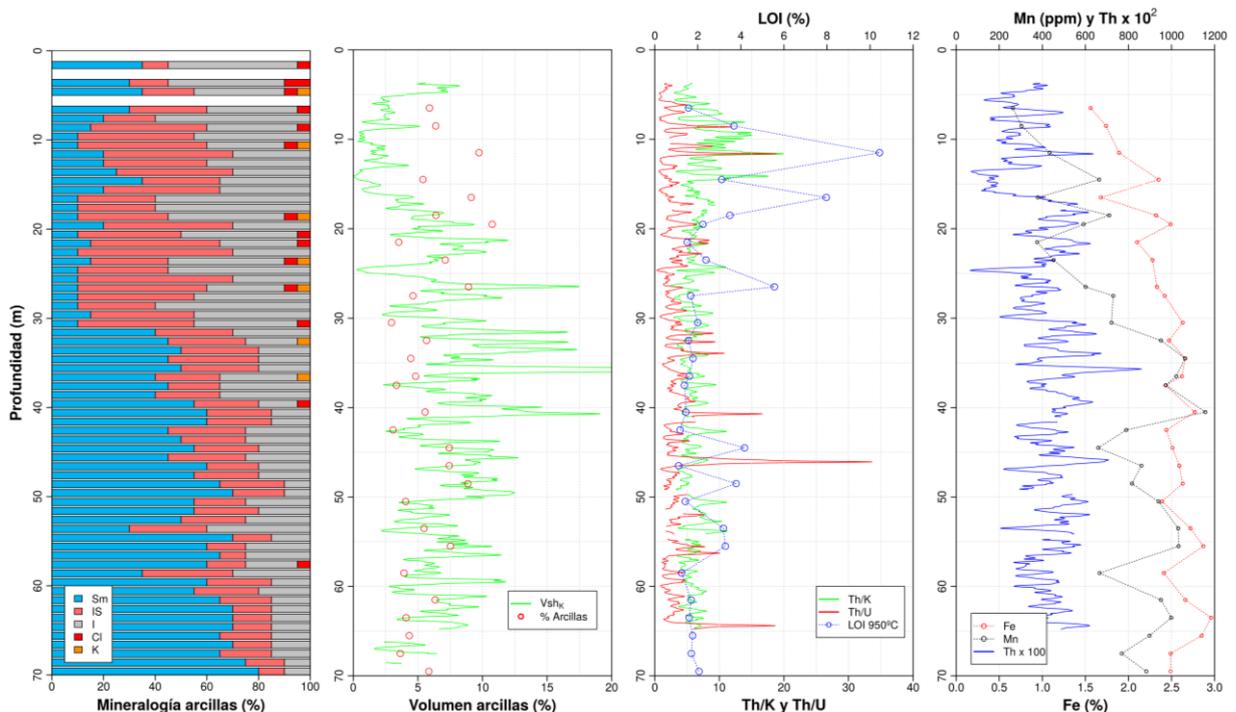


Figura 4. a) Composición de las arcillas; b) Volumen de arcillas calculado con el registro NGS de K (V_{shK}) y el volumen de arcillas medido con un difractor láser; c) relaciones Th/K y Th/U junto a LOI 950 °C; 4) registro de Th en relación al contenido de Fe y Mn en los sedimentos.

Se observa que la estimación realizada de V_{sh_K} es sumamente coherente con las mediciones del difractorómetro laser. Existe una desviación entre los datos observada en la porción superior (hasta los 19 m) e intermedia (20 a 43 m), posiblemente originada por problemas de desagregación de partículas en el método de laboratorio. En la primera podría existir una sobreestimación por exceso de carbonatos de grano muy fino. Mientras que la segunda podría deberse a una subestimación del contenido de arcillas por aglutinamiento de arenas limosas con intercalaciones de arcillas.

Otra relación interesante es la de Th/U (Adams y Weaver, 1958), que permitiría identificar condiciones oxidantes y reductoras en el ambiente de depositación, así como niveles carbonáticos. En caso de que los niveles posean condiciones reductoras se espera una relación baja (<2), por un aumento en el registro de U. Sin embargo, debido a la movilidad de U en ambientes oxidantes es una relación de difícil aplicación (Hampson et al., 2005), por lo que requiere mayores investigaciones. En el caso de los carbonatos, se ha incluido los datos de la pérdida por ignición (LOI) a 950°C que es indicativa de la presencia de carbonatos. En general, los mayores valores del LOI se correlacionan con una disminución en la relación Th/U.

Respecto del contenido de Fe y Mn en los sedimentos, la Figura 4 muestra una estrecha relación entre estos y el registro de Th. Esto se interpreta como un aumento en el contenido de óxidos e hidróxidos secundarios de Fe y Mn en la porción inferior del pozo (>30 m) que es acompañada por la señal de Th. Según fue comentado anteriormente, el Th se asocia a minerales pesados, que si bien no han sido hallados mediante DRX ($<5\%$), podrían estar asociados en forma minoritaria con estos minerales secundarios de Fe y Mn o como impurezas. Adicionalmente, los aumentos en los contenidos de Fe y Mn se relacionan en la mayoría de los casos con los picos observados en la relación Th/U.

Relación entre agua y sedimento

En la Figura 5 se muestra la mineralogía de arcillas en relación al flúor (F) medido en solución mediante bailer, la proporción de calcita en relación al U y el As del agua poral, con el pH y el As del agua poral y el contenido de Fe y Mn en los sedimentos. En general se observa una buena concordancia en la señal de Th de la sonda NGS y los contenidos de As en agua poral. La misma observación puede realizarse entre el comportamiento del F medido en el agua, el contenido de esmectitas y de óxidos de Fe y Mn, que aumentan en la porción inferior del perfil. La mayor proporción de carbonatos en la porción superior explicaría el menor contenido de F controlado por el equilibrio con fluorita (CaF_2).

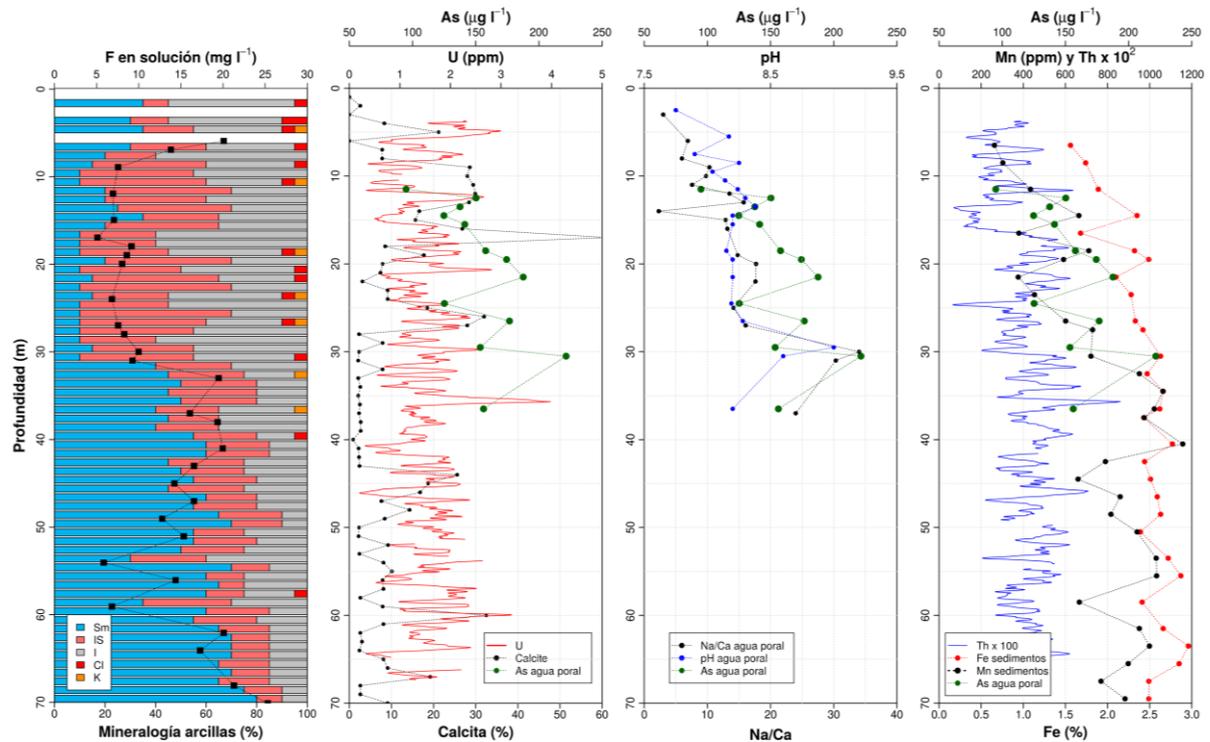


Figura 5. a) Mineralogía de arcillas en relación al Flúor hallado en solución mediante bailer b) Porcentaje de calcita en relación con el registro de U y el As obtenido en el agua poral; c) Relación Na/Ca, pH y As medidos en el agua poral; d) Contenido de Fe y Mn en los sedimentos, registro de Th de NGS y As en el agua poral.

Como se mencionó anteriormente, el U se vincula con la presencia de carbonatos, según lo indica el contenido de calcita (Figura 5b). Sin embargo, no es posible apreciar una relación clara entre ambos y el contenido de As en la solución. Tampoco se aprecia que el pH esté controlado por la calcita, debido a la falta de correlación entre ambos. Sin dudas, una de las mejores relaciones halladas proviene de la relación Na/Ca y el pH del agua poral. Según Smith et al. (2002) y Masue et al. (2007), el aumento de Na, en detrimento del Ca por intercambio catiónico, podría originar una movilización del F y As. Esto se debe a una disminución en la concentración de las densidades de cargas positivas alrededor de la superficie de los óxidos e hidróxidos de Fe y Mn. En el caso de estudio, la relación Na/Ca muestra en general una buena correlación con el contenido de As en el agua poral.

CONCLUSIONES

El perfilaje NGS mostró ser una herramienta útil para la diferenciación de litologías y mineralogías de los sedimentos del acuífero Pampeano, presentado un gran potencial para su aplicación en la exploración de acuíferos con alta concentración de As.

Como toda técnica geofísica de perfilaje su utilización deberá complementarse con otros tipos de sondas para lograr un diagnóstico con mayor respaldo del sitio de exploración.

Es posible tipificar los tipos mayores de argilominerales a partir de las relaciones entre el contenido de Th y K.

La señal de Th presenta estrechas relaciones entre los contenidos Fe y Mn, las cuales pueden ser asociadas a óxidos e hidróxidos de Fe y Mn. Estos minerales pueden ser susceptibles de contener y liberar As fácilmente al agua. Lo expuesto debería ser confirmado mediante la realización de perfilajes en nuevas perforaciones.

En perfiles relativamente homogéneos como los del acuífero Pampeano, sería conveniente orientar las investigaciones a desarrollar relaciones propias de U, Th, y K especialmente para el caso de las arcillas interestratificadas.

AGRADECIMIENTOS

Estudios financiados por el PID 075-2011 a través el Consejo Hídrico Federal (COHIFE) y la ANPCyT. Un especial agradecimiento al Dr. Poiré (CIG) por los análisis de DRX y al personal del IHLLA: Lic. Altolaguirre, Lic. Floriani, Ing. Arias y N. de Líbano.

REFERENCIAS

- Adams, J. A., y Weaver, C. E.,** 1958. Thorium-to-uranium ratios as indicators of sedimentary processes: example of concept of geochemical facies. *AAPG Bulletin*, 42(2), 387-430.
- Chakraborty, S., Wolthers, M., Chatterjee, D., y Charlet, L.,** 2007. Adsorption of arsenite and arsenate onto muscovite and biotite mica. *Journal of Colloid and Interface Science*, 309(2), 392-401.
- Davies, S. J., y Elliott, T.,** 1996. Spectral gamma ray characterization of high resolution sequence stratigraphy: examples from Upper Carboniferous fluvio-deltaic systems, County Clare, Ireland. Geological Society, London, Special Publications, 104(1), 25-35.
- Frost, R. R., y Griffin, R. A.,** 1977. Effect of pH on adsorption of arsenic and selenium from landfill leachate by clay minerals. *Soil Science Society of America Journal*, 41(1), 53-57.
- Hampson, G. J., Davies, W., Davies, S. J., Howell, J. A. y Adamson, K. R.,** 2005. Use of spectral gamma-ray data to refine subsurface fluvial stratigraphy: late Cretaceous strata in the Book Cliffs, Utah, USA. *Journal of the Geological Society*, 162(4), 603-621.
- Keys, W. S.,** 1990. Borehole geophysics applied to ground-water investigations, U.S.G.S. *Techniques of Water-Resources Investigations*, Book 2, Chapter E2, 150 pp.
- Masue, Y., Loeppert, R. H. y Kramer, T. A.,** 2007. Arsenate and arsenite adsorption and desorption behaviour on co-precipitated aluminium: iron hydroxides. *Environ. Sci. Technol.* 41, 837-842.
- Quirein, J. A., Gardner, J. S. y Watson, J. T.,** 1982. Combined natural gamma ray spectral/litho-density measurements applied to complex lithologies. In *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
- Robertson Geologging Ltd.,** 2016. WinLogger 1.4.496 Software Operating Manual. V1.0.3. 41pp
- Schlumberger Ltd.** 1989. *Log Interpretation Principles/Applications*. Schlumberger Services.
- Serra, O.,** 1984. *Fundamentals of Well-Log Interpretation, 1: The Acquisition of Logging Data*. Developments in Petroleum Science, 15, 1-423.
- Smith, E., Naidu, R. y Alston, A.M.,** 2002. Chemistry of inorganic arsenic in soils: II. Effect of phosphorous, sodium and calcium on arsenic sorption. *J. Environ. Qual.* 31, 557-563.
- Weinzettel, P. A., Varni, M. y Usunoff, E.,** 2005. Caracterización hidrogeológica del área urbana y periurbana de la ciudad de Tres Arroyos, provincia de Buenos Aires. En M. Blarasin, A. Cabrera y Matteoda E. Editores, *Actas IV Congreso Argentino de Hidrogeología*, Rio Cuarto, Córdoba, Argentina, 171-180.
- Weinzettel, P. A. y Varni, M.,** 2007. Aporte al conocimiento del subsuelo de la cuenca del arroyo Claromecó, provincia de Buenos Aires. En: C. Sosa, J. Ainchil Editores, *Taller de Geofísica Aplicada a la Hidrogeología*; *Actas V Congreso Argentino de Hidrogeología*, Paraná. 13-23.