

Contenido de uranio en los estratos arcillosos de la cuenca de Chihuahua-Sacramento, Chih., México.

M. Reyes-Cortés^{1,2}, M. Rentarías-Villalobos², M. Valenzuela-Hernández², M. Silva-Sáenz², D. C. Burciaga-Valencia, L. Fuentes-Montero², E. F. Herrera-Peraza², I. Reyes-Cortés¹, C. Rascón-Muro³ y M. E. Montero-Cabrera^{2*}

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua, Nuevo Campus s/n, Chihuahua Chih. México.

² Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Miguel de Cervantes 120, CP 31109, Chihuahua, Chih. Mex. ³ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Ave. Universidad s/n, Chihuahua Chih. México.

Uranium content in clayey strata of the basin-Sacramento Chihuahua, Chih. Mexico.

Abstract

It is proposed that the natural contamination due to uranium in the aquifer at Northwest of Chihuahua basin may be deposited in argillaceous bodies in the subsoil, forming part of the alluvium deposits. For the study, samples were taken from layers of the aquifer, provided as fragments extracted while drilling of well perforation in the Chihuahua-Sacramento valley. The petrographic classification of these samples was performed, and they were studied in the gamma-ray spectrometer based on a NaI(Tl) detector. The specific activities for isotopes ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K were determined through the application of the Standard Stripping code, performing the decomposition of the sample spectral components by means of standards. The code calculates the specific activities of mentioned isotopes and propagates the errors and their uncertainties. Correlations between the specific activities of isotopes and the clay presence have been observed. It is suggested that the clays play a reducing role, contributing to the immobilization of uranium in form of the U^{+4} ion. ^{238}U decays to ^{234}Th and quickly to ^{234}U , which by recoil nucleus effect changes the valence to U^{+6} , that is soluble. This way, the groundwater has activity ratio $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} > 1$. The clay existence in layers of the Chihuahua-Sacramento basin, together with the abundance of uranium in the sources of recharge of the aquifer, explains the uranium contents in groundwater of the zone.

Key words: Uranium, clay, gamma spectrometry.

Resumen

Se plantea que la contaminación natural debida al uranio en el acuífero del Noroeste de la cuenca de Chihuahua puede estar acumulándose en cuerpos arcillosos en el subsuelo, formando parte de los depósitos de aluvión. Para su estudio se tomaron muestras de los estratos del acuífero, proporcionadas como esquirlas extraídas de la perforación de pozos en el valle de Chihuahua-Sacramento. Se hizo la clasificación petrográfica de estas muestras. Se estudiaron en el espectrómetro de rayos gamma de NaI(Tl). A través de la aplicación del programa Standard Stripping se determinaron las actividades específicas para los isótopos ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , mediante la descomposición de la muestra en componentes espectrales por medio de estándares. El programa calcula las actividades específicas de los isótopos mencionados y propaga los errores y sus incertidumbres. Se han encontrado correlaciones entre las actividades específicas de los isótopos y la presencia de arcillas. Se propone que las arcillas juegan un papel reductor, contribuyendo a la inmovilización del uranio en forma del ión U^{+4} . Al desintegrarse el ^{238}U pasa al ^{234}Th y rápidamente al ^{234}U , que por efecto de núcleo de retroceso cambia la valencia a U^{+6} , que es soluble. De este modo, el agua subterránea tiene una relación de actividades $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} > 1$. La existencia de arcillas en los estratos de la cuenca de Chihuahua-

* Autor de correspondencia
E-mail: elenamontero@cimav.edu.mx

Sacramento, unida a la abundancia de uranio en las fuentes de recarga del acuífero, explica los contenidos de uranio en las aguas subterráneas de la zona.

Palabras claves: uranio, arcilla, espectometría, gamma

Introducción

La cuenca conformada por los ríos Chuvíscar y Sacramento, que fueron los causantes de los primeros asentamientos de la ciudad de Chihuahua, en el norte de México, presenta por lo menos dos zonas en las que se han encontrado rocas con contenidos anómalos de minerales radiactivos: la sierra de Pastorías al sur-suroeste y la zona de San Marcos-Majalca al noroeste de la ciudad. (Goodell, 1985). Esta cuenca hidrológica se ha dividido por su geomorfología en dos principales subcuencas: la subcuenca Chihuahua-Sacramento y la subcuenca Tabalaopa-Aldama, considerada también como subcuenca del río Chuvíscar (Consejo de Recursos Minerales, 2001); de ellas se extrae la totalidad del agua para el consumo de la ciudad. Los primeros estudios específicos sobre contaminación radiactiva del agua para consumo humano de Villalba et al. (2006) en la ciudad en Chihuahua señalan que en los acuíferos de la subcuenca Chihuahua-Sacramento que corresponde a la subcuenca Río Chuvíscar las concentraciones específicas del uranio en agua subterránea fluctúan de 460 a 1260 Bq m⁻³ de agua. De 33 pozos analizados que abastecen a la ciudad de Chihuahua, el 80% contienen concentraciones de uranio o radio (actividad alfa total) superiores a la norma mexicana igual a 560 Bq m⁻³ (NOM-127-SSA1, 1999). Estos elementos disueltos en el agua son señal de la posible presencia de uranio en los sedimentos de los rellenos aluviales.

En un estudio anterior (Reyes Cortés et al., 2007) se propuso que el origen de la radiactividad en el agua subterránea es la mineralización de uranio hidrotermal en las rocas de la zona Noroeste de la cuenca Chihuahua-Sacramento. Esto se demostró mediante el estudio realizado a un muestreo aleatorio en rocas de tres yacimientos del área de San Marcos. También se propuso que los yacimientos uraníferos de San Marcos eran de origen hidrotermal asociado a rocas volcánicas, esto es, que las rocas ígneas que contenían uranio originalmente, fueron lixiviadas por soluciones de

origen hidrotermal y geotermal. Estas soluciones transportaron al uranio en forma de ión uranilo para depositarlo después en otras rocas de la misma localidad que presentaban condiciones de pH favorables para su precipitación (Reyes Cortés et al., 2007).

Se considera por lo tanto que el área de San Marcos existen minerales uraníferos que afloran y que también están en estratos subterráneos. Se presume que la contaminación natural debida a la movilidad de los materiales uraníferos está presente en algunos acuíferos del subsuelo del Noroeste de la cuenca de Chihuahua y su origen principal es el yacimiento de San Marcos. Los elementos radiactivos pueden estar acumulándose en cuerpos arcillosos depositados en el subsuelo formando parte de la estratigrafía de los depósitos de aluvión. Cuando estos cuerpos arcillosos contienen material carbonoso, constituyen barreras naturales o trampas que pueden capturar el uranio. Esto se debe a que el material carbonoso es reductor y puede modificar la valencia del U⁺⁶ a U⁺⁴, provocando su precipitación.

El objetivo del presente estudio es comprobar la hipótesis de que los sedimentos arcillosos presentes en los rellenos aluviales de la cuenca Chihuahua-Sacramento hacen el papel de receptáculo adecuado para la concentración de minerales radiactivos y la consiguiente contaminación radiactiva con uranio natural.

Material y métodos

En el Norte de la cuenca de Chihuahua-Sacramento en los años 2004-2006 se han perforado varios pozos para el abastecimiento de agua. La Junta Central de Agua y Saneamiento analiza para diferentes fines las muestras de los fragmentos que se extraen como esquirlas durante la perforación. Se tomaron muestras de esquirlas de roca y sedimentos de cinco pozos en el valle de Chihuahua-Sacramento. Las muestras de las columnas estratigráficas fueron tomadas cada 2 m de profundidad al realizarse la perforación del

pozo. Estas muestras fueron envasadas y etiquetadas in-situ. Se hizo la clasificación petrográfica y mineralógica de estas muestras. Un ejemplo del procedimiento de clasificación se presenta en la Fig. 1.

Para los fines de esta investigación se obtuvo también información de los registros eléctricos realizados durante la perforación, lo que permite deducir la litología de los estratos que atraviesan los pozos.



Figura 1. Clasificación de las muestras del pozo Riveras de Sacramento 6. a) Material arcilloso de fondo lacustre. b) Material arenoso de aluvión. c) Esquirlas de roca ignimbrítica riolítica.

La información combinada de los registros eléctricos y de la petrografía permitió hacer la clasificación de varios barrenos de la zona, como aparece en la Fig. 2. Se procedió a moler las rocas en una trituradora de discos hasta obtener un diámetro de partícula de 1.8 milímetros; el tamaño de la partícula se seleccionó por medio de un tamiz de esta apertura. Las densidades volumétricas de las muestras de pozos variaron entre 1.56 y 1.64 gr cm^{-3} con un promedio de 1.58 gr cm^{-3} . Debido a la pequeña masa de muestra a analizar por espectrometría gamma (200 g ó menos) y el número de muestras muy grande (más de 300), la decisión de usar detectores de centelleo para la determinar la radiactividad natural se consideró una opción viable. Las condiciones en que se realizaron los experimentos y las características del programa de cálculo computarizado utilizado se describen a continuación. Los sedimentos se empacaron en geometría cilíndrica, en contenedores de polietileno. Los contenedores se colocaron prácticamente en contacto con un detector de NaI(Tl) marca BICRON de 10 cm de altura x 10 cm de diámetro, blindado por 6 cm de Pb con capa interior de Cu. Después de empacadas se sellaron y permitieron pasar 4 semanas hasta

alcanzar el llamado equilibrio secular de la actividad entre el ^{226}Ra y sus hijos. Se comprobó experimentalmente para este caso particular la afirmación de Horowitz et al., (1974) de que los coeficientes de absorción de los rayos gamma en rocas, sedimentos y suelos dependen solamente de la energía y no de la matriz.

Para aplicar un método relativo en la determinación de la actividad de los sedimentos se necesita conocer la dependencia de la eficiencia de detección con la altura de la muestra dentro del contenedor, ya que se mantuvo la geometría de medición fija. Para ello se hizo el cálculo de la eficiencia del pico de absorción total o fotopico por el código Monte Carlo EGS4 para diferentes alturas o espesores de la muestra, para energías de los rayos gamma de 80 a 2800 keV. Se demostró que no hay diferencias significativas en las muestras de rocas con densidad constante para alturas que van desde 0.75 a 4.00 cm, para energías mayores de 500 keV. Una vez satisfechas todas estas condiciones, se aplicó el método relativo para la determinación de la actividad de

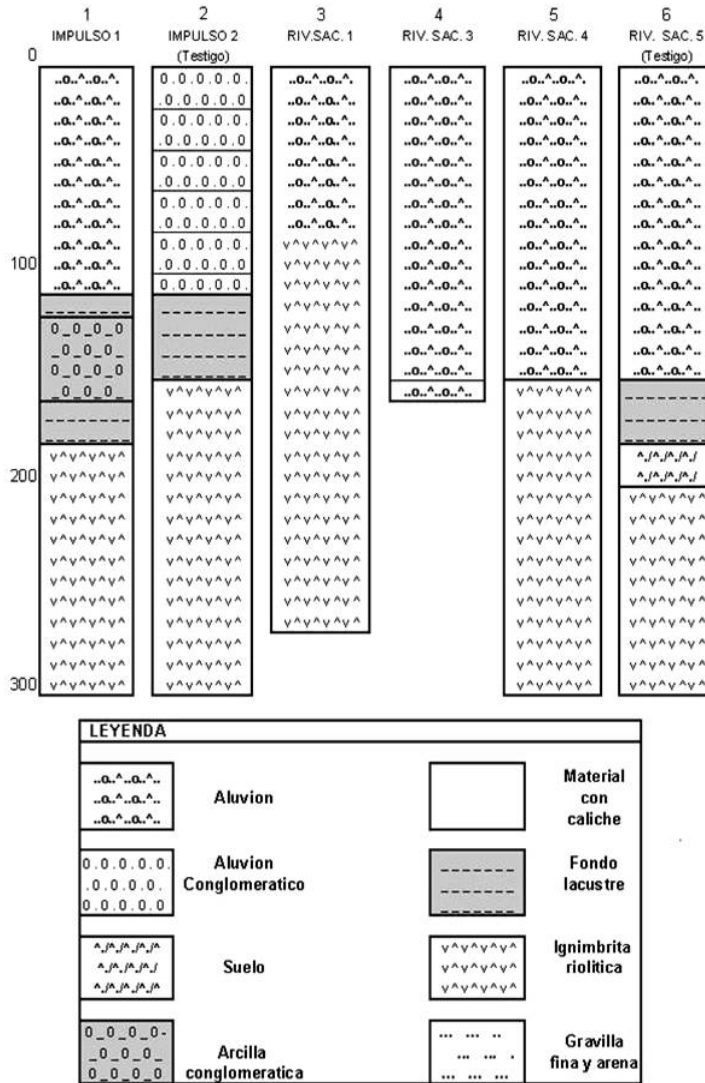


Figura 2. Litología generalizada de los perfiles litológicos de barrenos de pozos profundos para la producción de agua ubicados en el norte de la cuenca de Chihuahua-Sacramento. La escala de la izquierda indica la profundidad de la que fue extraída muestra en metros.

las diferentes series radiactivas, suponiendo que la transición gamma de mayor energía de la cadena es representativa de la actividad de cualquier isótopo en equilibrio de la serie. Se aplicó la siguiente ecuación para el cálculo de la actividad por el método relativo:

Donde Actm es la actividad de la muestra, Anm es el área del fotopico en la muestra, te tiempo de medición de la muestra, Ans es el área neta de fotopico, A0 es la actividad del estándar, ts es el

tiempo de medición del estándar. Para implementar el cálculo se midieron durante largos tiempos los cuatro espectros de los estándares del IAEA Standard Reference Materials RGK-1

(40K), RGTh-1 (^{232}Th) y RGU-1 (^{238}U) y el fondo radiactivo del laboratorio. La Fig. 3 muestra el espectro obtenido para el estándar de uranio RGU-1. Se escribió y puso a punto el programa de computadora en Visual Basic 6.0® para el cálculo de actividades Standard Stripping NaI(Tl). Este programa hace el cálculo de actividades de las series del ^{232}Th , ^{238}U y ^{40}K por medio de la descomposición en partes del espectro experimental, empleando espectros estándares de los isótopos analizados.

En resumen, el programa realiza las siguientes operaciones a partir del espectro de la muestra en estudio:

-Sustrae el fondo, con un peso proporcional al tiempo de medición de la muestra.

-Determina el área del pico de absorción total y su incertidumbre de la transición gamma de mayor energía de cada serie radiactiva.

-Determina la actividad de la serie radiactiva con su incertidumbre por el método relativo.

-Sustrae el espectro del estándar correspondiente, con un peso proporcional al tiempo de medición de la muestra y de la actividad obtenida.

-Calcula el χ^2 del procedimiento de ajuste.

El programa fue aplicado a cientos de muestras, con χ^2 reducidos siempre menores o iguales a 2.

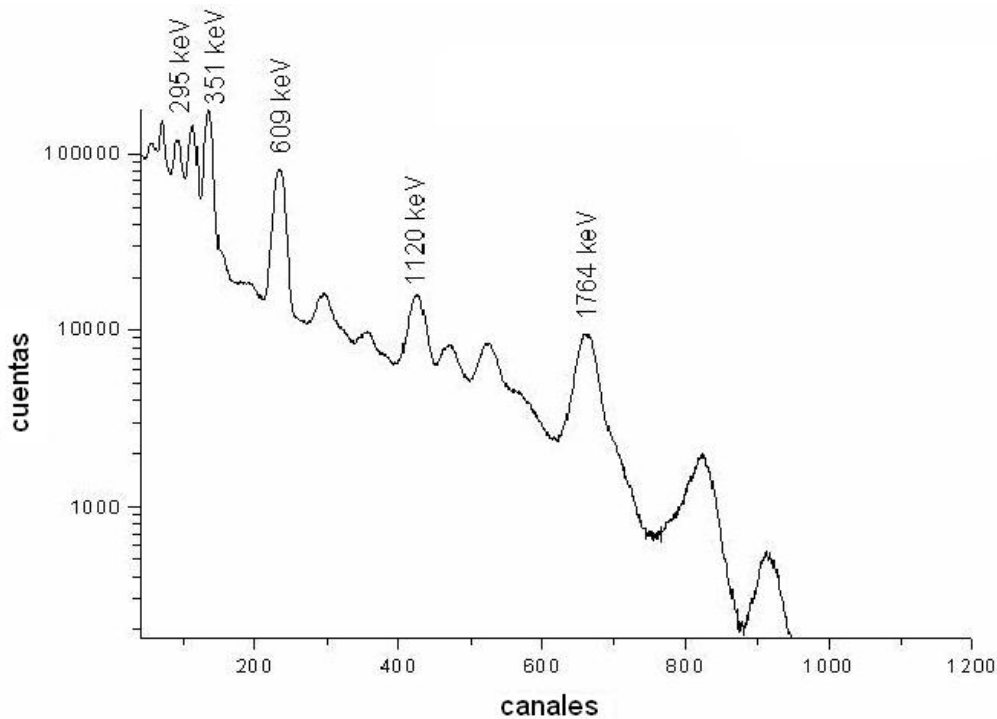


Figura 3. Espectro de rayos gamma emitido por el material de referencia certificado RGU-1, de la serie del ^{238}U , registrado por el detector de NaI(Tl) BICRON en la geometría de muestras cilíndricas para rocas extraídas durante la perforación de pozos de agua.

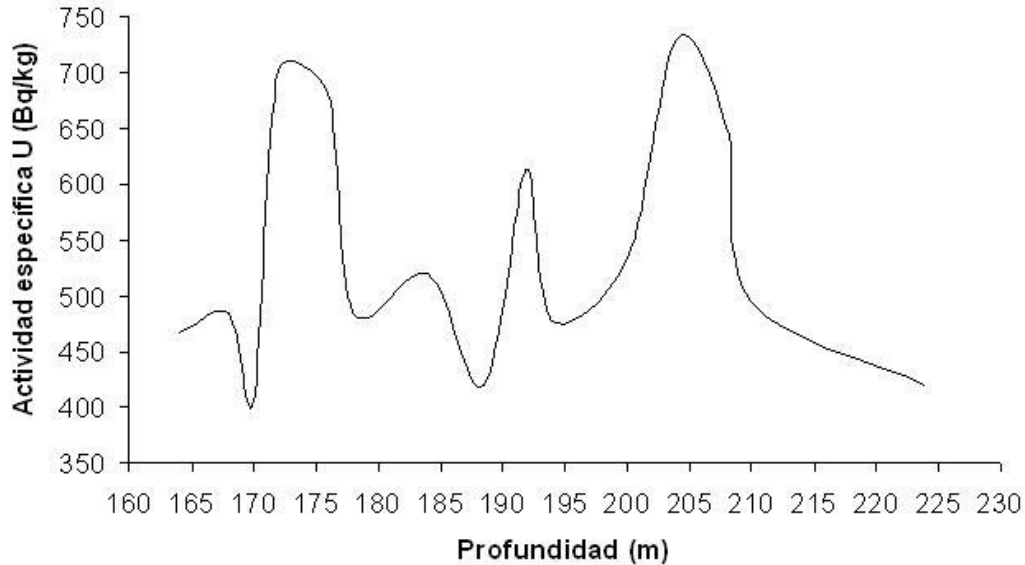


Figura 4. Actividad específica de la serie del uranio en Becquerel por kg de roca en las muestras extraídas durante la perforación del pozo Riberas del Sacramento 5. En el eje de las abscisas está la profundidad de la que se extrajo la muestra.

Resultados y discusión

En la Fig. 4 se muestra el gráfico de la actividad específica del uranio para las diferentes profundidades del pozo Riberas del Sacramento 5. Se puede comprobar que las actividades son significativamente mayores en la zona entre 170 y 200 m de profundidad, donde se corresponde con la presencia de fondo lacustre y suelo, ambos materiales arcillosos. En los diferentes pozos se han encontrado correlaciones entre las actividades específicas de los isótopos y la presencia de arcillas. Se interpreta como que las arcillas juegan un papel reductor, contribuyendo a la depositación del uranio en forma del ión U^{+4} . De esta forma el uranio queda inmovilizado en los estratos arcillosos. Al desintegrarse el ^{238}U pasa al ^{234}Th y rápidamente al ^{234}U , que por efecto de núcleo de retroceso cambia la valencia a U^{+6} , que es soluble. De este modo, el agua subterránea tiene una relación de actividades $^{234}U/^{238}U > 1$. Con la información generada respecto a la desintegración de las series en equilibrio del uranio en aguas subterráneas así como también del torio en los

sedimentos, se están tratando de establecer las diferentes etapas y mecanismos de transporte de estos elementos radiactivos y su influencia hidrogeológica.

Conclusiones

La existencia de arcillas en los estratos de la cuenca de Chihuahua-Sacramento, unida a la abundancia de uranio arrastrado desde topografías positivas hasta las fuentes de recarga del acuífero explica los contenidos de uranio en las aguas subterráneas de la lista.

Agradecimientos

Se agradece la entrega de las muestras de perforación de pozos, la información de los registros eléctricos y la localización a la Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua, sin cuya colaboración hubiera sido imposible realizar este trabajo, y en particular al Ingeniero Guillermo Escobar Marín.

Bibliografía

- Consejo de Recursos Minerales, 2001. Carta Chihuahua clave H13-C66 escala 1:50,000, Estado de Chihuahua. Cartografía geológico minera y geoquímica.
- Goodell, P. C., 1985. Chihuahua city uranium province, Chihuahua Mex. In uranium deposits in volcanic rocks. Proc. Tech. Comm. MTG. El Paso Texas 2 – 5 April 1984 IAEA Vienna IAEA – TC – 490 / 19, pp. 97 – 124.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1 de la Secretaría de Salud, 1999. “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”. Diario Oficial de la Federación, 16 de diciembre de 1999, pp.80-87.
- Reyes-Cortés, M., Montero-Cabrera, M. E., Rentería-Villalobos, M., Fuentes-Montero, L., Fuentes-Cobas, L., Herrera-Peraza, E. F., Esparza Ponce, H., Rodríguez-Pineda, A., 2007. Radioactive Mineral Samples from the Northwest of Chihuahua City, Mexico. *Revista Mexicana de Física*, S53: 23-28.
- Villalba, L., Montero-Cabrera, M. E., Manjón-Collado, G., Colmenero-Sujo, L., Rentería-Villalobos, M., Cano-Jiménez, A., Rodríguez-Pineda, A., Dávila-Rangel, I., Quirino-Torres, L., Herrera-Peraza, E. F., 2006. Natural Radioactivity in Groundwater and Estimates of Committed Effective Dose due to Water Ingestion in the State of Chihuahua (Mexico). *Radiation Protection Dosimetry*, 121: 148-157.