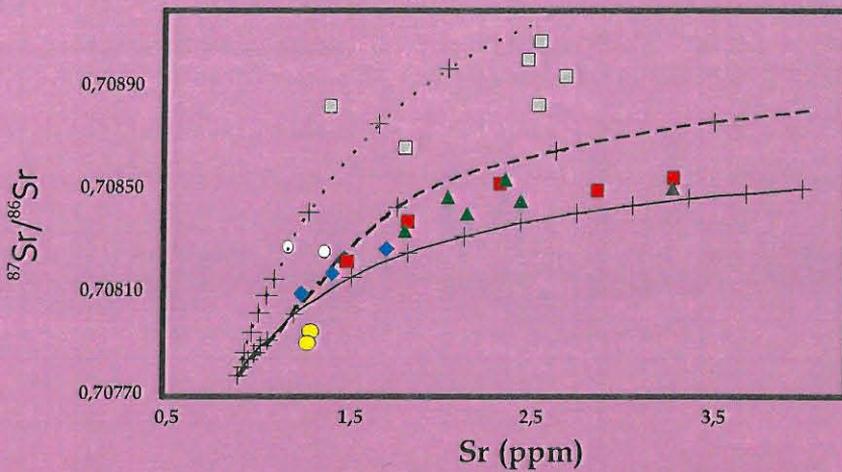


SEMINARIOS DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MINERALOGÍA

VOLUMEN 1

Geoquímica Isotópica Aplicada al Medioambiente

El Puerto de Santa María (Cádiz)
7 de julio de 2003



Editores :

Luis Barbero y M. Pilar Mata
(Universidad de Cádiz)



**Sociedad Española
de Mineralogía**

**SEMINARIOS DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE
MINERALOGÍA**

VOLUMEN 1

**GEOQUÍMICA ISOTÓPICA
APLICADA AL MEDIOAMBIENTE**

Editores:

Luis Barbero y M. Pilar Mata

Coordinadores del Seminario:

Luis Barbero, Antonio Delgado, Albert Soler, M. Pilar Mata

Este volumen ha sido subvencionado por:



COMITÉ EDITORIAL DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MINERALOGÍA

Benjamín Calvo Pérez (*Universidad Politécnica, Madrid*)
Carlos de la Fuente Cullell (*Universidad de Barcelona*)
Purificación Fenoll Hach-Ali (*Universidad de Granada*)
Constanza Fernández Nieto (*Universidad de Zaragoza*)
Isabel González Díez (*Universidad de Sevilla*)
Emilio Galán Huertos (*Universidad de Sevilla*)
Alberto López Galindo (*CSIC, Universidad de Granada*)
José López Ruiz (*Museo Nac. de Ciencias Naturales, Madrid*)
Jesús Martínez Frías (*Museo Nac. de Ciencias Naturales, Madrid*)
Salvador Mirete Mayo (*Madrid*)
Manuel Pozo Rodríguez (*Universidad Autónoma, Madrid*)
Carmelo Prieto Colorado (*Universidad de Valladolid*)
Manuel Prieto Rubio (*Universidad de Oviedo*)
Magdalena Rodas González (*Universidad Complutense, Madrid*)
Francisco Velasco Roldán (*Universidad del País Vasco*)

© Luis Barbero y M. Pilar Mata (Editores)

© Sociedad Española de Mineralogía

Depósito legal:

ISSN:

Impreso en España – Printed in Spain

2004

Impresión: Servicio de Autoedición e Impresión – Universidad de Cádiz

Presentación de la serie

Entre las actividades de la XXII Reunión de la Sociedad Española de Mineralogía, que se celebró el pasado año en Puerto de Santa María (Cádiz), se organizó un curso especializado sobre “Geoquímica Isotópica Aplicada al Medioambiente” en la que participaron como profesores invitados, investigadores del CSIC y de distintas universidades españolas. El curso fue un verdadero éxito por la calidad y actualidad de sus temas.

Animados por este acontecimiento, la Junta Directiva de la SEM decidió que a partir de ahora los organizadores de las próximas reuniones de la SEM, incluyeran un curso de un día de duración con un tema monográfico, que permitiera actualizar los conocimientos de todos aquellos interesados en esa temática particular. Al mismo tiempo también se decidió la publicación de las ponencias presentadas que denominamos “Seminarios de la SEM”. Este es el primer volumen de la serie y que deseamos se continúe con periodicidad anual.

Los Drs. Luis Barbero y M. Pilar Mata, profesores de la Universidad de Cádiz y organizadores del Curso y de la Reunión de El Puerto de Santa María, son también los Editores de este primer volumen de la Serie. Luis y Pilar han realizado un trabajo de edición de gran categoría, que ha dado como resultado este libro, que a su excelente contenido se le une una cuidada presentación.

En nombre de la Sociedad quiero agradecer a autores y editores sus aportaciones y dedicación para que este primer volumen de la Serie “Seminarios de la SEM” pueda hoy aparecer. Auguro además muchos éxitos para estas monografías que serán “libros de consulta” para investigadores, docentes, e incluso alumnos universitarios.

Sevilla, Junio 2004

Emilio Galán Huertos
Presidente de la Sociedad
Española de Mineralogía

Prefacio

En el presente volumen se encuentran recogidas una serie de conferencias impartidas por diferentes expertos durante el I Seminario de la Sociedad Española de Mineralogía que tuvo lugar el 7 de julio de 2003 en la localidad de El Puerto de Santa María. El tema elegido para el mismo fue la Geoquímica Isotópica Aplicada al Medioambiente.

Los isótopos, especialmente los de origen ambiental, se utilizan en estudios de geoquímica de baja temperatura desde hace más de 50 años. Desde los más tempranamente incorporados a las herramientas del geoquímico (^{18}O , D, ^3H , ^{14}C , ^{13}C) hasta los de más reciente desarrollo (^3He , ^4He , ^{15}N , ^{222}Rn ...) las dos principales utilidades de los isótopos se centran en su uso como herramienta geocronológica, es decir para calcular edades de materiales y estimar tasas absolutas de procesos y como trazadores de diferentes procesos biogeoquímicos, tipos de aguas y temperaturas. En el presente volumen se presentan ejemplos de estas dos grandes aplicaciones.

En los últimos diez años, la creciente problemática de la contaminación de aguas y suelos ha favorecido un notable desarrollo de las técnicas de análisis isotópico mediante métodos de flujo continuo (EA-IRMS; GC-C/TC-IRMS; TC/EA-IRMS). Esto ha facilitado el uso combinado de nuevos isótopos ambientales (^{15}N , ^{34}S , ^{87}Sr , $^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$, $^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$, $^{13}\text{C}_{\text{mo}}$). Recientemente el análisis de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, D/H en compuestos específicos mediante cromatógrafos de gases o HPLC conectados a espectrómetros de masas (IRMS), algunas de estas técnicas aún en fase de desarrollo, promete convertirse en una potente herramienta en el ámbito del medio ambiente, permitiendo determinar el origen de los solutos y contaminantes orgánicos en aguas y los procesos biogeoquímicos acaecidos en estas. Al no estar la composición isotópica de estos compuestos influenciada por los procesos de dilución, su uso permite cuantificar el grado de impacto ambiental de las distintas actividades humanas, así como la tasa de remediación en acuíferos contaminados.

El presente volumen está estructurado en nueve capítulos siguiendo un orden lógico desde los conceptos básicos hasta el estudio de casos reales. De esta forma, en los dos primeros capítulos se explican los fundamentos de geoquímica isotópica tanto de isótopos estables (E. Reyes) como de radiogénicos (L. Barbero) que deben conocerse en cierta profundidad antes de pasar su aplicación a problemas medioambientales.

Desde el tercer al sexto capítulos se presentan diversos casos de la aplicación de los isótopos estables a problemas medioambientales. El tercer capítulo (A. Delgado y E. Reyes) está centrado en el uso de los isótopos estables como herramientas paleoclimáticas y paleohidrológicas y aborda la problemática de la

variabilidad de la composición isotópica de las aguas meteóricas aportando nuevas ecuaciones para equilibrios con carbonatos, fosfatos y arcillas.

En el capítulo cuarto (Vitoria et al.) se estudia la utilidad de los isótopos estables para evaluar los procesos de atenuación natural de un acuífero contaminado por nitratos en la comarca de Osona y se pone de manifiesto el papel que juega la oxidación de la pirita presente como catalizadora de los procesos de atenuación mediante desnitrificación.

Siguiendo con las aplicaciones de los isótopos estables, en el capítulo quinto (Palau et al.) se presentan las bases del uso de los isótopos de C como trazadores del origen de compuestos eteno clorados en acuíferos así como en la evaluación de la atenuación natural o inducida presente.

El capítulo sexto (Manzano et al.) recoge un amplio estudio multi-isotópico de las aguas contaminadas en el accidente de Aznalcóllar acaecido en abril de 1998 centrándose en el origen de los sulfatos a los que se asigna dos fuentes fundamentales: procedente de fertilizantes químicos o bien de la oxidación de sulfuros provenientes de la interacción de la balsa de lodos derramada con las aguas superficiales y subterráneas.

Los cuatro últimos capítulos se refieren al uso de isótopos radioactivos y radiogénicos. El capítulo séptimo (Soler et al.) estudia el uso de los isótopos de Sr como trazadores de contaminación y presenta un ejemplo de la cuenca del Río Llobregat.

El capítulo octavo (R. Ligeró) estudia el uso de los estudios de radioactividad ambiental, centrándose, en este caso, no en medios continentales sino en un ambiente costero. Se establece una interesante correlación entre variables radiométricas y variables litológicas o sedimentológicas. Este capítulo enlaza con el siguiente que presenta un modelo de migración vertical del ^{137}Cs en ambientes marinos Casas et al.).

Por último, el capítulo noveno (A. Navas) estudia la aplicación ambiental de los isótopos de Cs y Pb para realizar estudio sobre tasas de sedimentación y erosión. Estas son importantes cuando se estudian procesos de desertificación, conservación de suelos o incluso para el estudio del relleno sedimentario de embalses.

Para impartir el curso, además de especialistas de la Universidad de Cádiz (Dr. Rufino Ligeró, Dr. Melquíades Casas y Dr. Luis Barbero) se invitó a algunos de los mejores especialistas de España e incluso se contó con la participación de un profesor del Reino Unido el Dr. Finlay Stuart, que impartió una conferencia sobre el uso de isótopos cosmogénicos en estudio de tasas erosión que por diversas razones no ha podido ser recogida en este volumen. De la Universidad de Barcelona se contó con la presencia de los Drs. Albert Soler y Dra. Àngels Canals; De la Estación Experimental del Zaidin, CSIC, Granada, con los Drs. Emilio Reyes y Antonio

Delgado. De la Universidad Politécnica de Cartagena con la Dra. Marisol Manzano y por último de la Estación Experimental de Aula Dei, CSIC, Zaragoza, con la Dra. Ana Navas. A todos ellos les queremos agradecer desde la dirección del seminario el esfuerzo realizado en su día para impartir el curso y el que hayan querido participar en la elaboración de este primer volumen de los Seminarios de la SEM que esperamos sea de utilidad a los profesionales del medioambiente ligados a temas geoquímicos y mineralógicos. Asimismo, agradecemos a los demás coautores de diversos capítulos que por una razón u otra no pudieron asistir al seminario, su participación en este libro.

Por último, queremos agradecer a la Universidad de Cádiz tanto el apoyo económico como en forma de otros medios materiales que nos ha brindado, así como también a la Junta de Andalucía por la subvención otorgada para la edición de este volumen.

El Puerto de Santa María, Junio de 2004

Luis Barbero, Antonio Delgado, Albert Soler y M. Pilar Mata
Coordinadores del Seminario

Relación de Autores

Sra. Nuria Antich

*Dpt. Cristal·lografia, Mineralogía i Dipòsits Minerals
Universitat de Barcelona
C) Martí i Fraques s/n, 08028 Barcelona*

Dr. Luis Barbero

*Dpto. de Geología
Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales
Universidad de Cádiz
11510 Puerto Real (Cádiz)*

Sr. Manuel Barrera

*Dpto. de Física Aplicada
Universidad de Cádiz
11510 Puerto Real (Cádiz)*

Dra. Àngels Canals

*Dpt. Cristal·lografia, Mineralogía i Dipòsits Minerals
Universitat de Barcelona
C) Martí i Fraques s/n, 08028 Barcelona*

Dr. Jordi Carrera

*Dpto. de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica
Universidad Politécnica de Cataluña
C) Jordi Girona 1-3, 08034 Barcelona*

Dr. Melquíades Casas-Ruiz

*Dpto. de Física Aplicada
Universidad de Cádiz
11510 Puerto Real (Cádiz)*

Sr. Cristóbal Corredor

*Dpto. de Física Aplicada
Universidad de Cádiz
11510 Puerto Real (Cádiz)*

Dr. Emilio Custodio

*Instituto Geológico y Minero de España
C) Ríos Rosas 23, 28003 Madrid*

Dr. Antonio Delgado

*Estación Experimental del Zaidín
CSIC, Dpto. Ciencias de la Tierra y Química Ambiental*

*Laboratorio de Biogeoquímica de Isótopos Estables,
C) Prof. Alabareda 1, 18008 Granada*

Sr. Francisco Feria

*Dpto. de Física Aplicada
Universidad de Cádiz
11510 Puerto Real (Cádiz)*

Dr. Rufino Ligeró

*Dpto. de Física Aplicada
Universidad de Cádiz
11510 Puerto Real (Cádiz)*

Dra. Marisol Manzano

*Dpto. de Ingeniería Minera, Geológica y Cartográfica
EUITC, Universidad Politécnica de Cartagena
Paseo Alfonso XIII, 52, 30203 Cartagena (Murcia)*

Dra. Ana Navas

*Dpto. de Edafología
Estación Experimental Aula Dei
CSIC, Apartado 202, 50080 Zaragoza*

Sr. Jordi Palau

*Dpt. Cristal·lografia, Mineralogía i Dipòsits Minerals
Universitat de Barcelona
C) Martí i Fraques s/n, 08028 Barcelona*

Dr. Emilio Reyes

*Estación Experimental del Zaidín
CSIC, Ciencias de la Tierra y Química Ambiental
Laboratorio de Biogeoquímica de Isótopos Estables,
Prof. Alabareda 1, 18008 Granada*

Dr. Albert Soler

*Dpt. Cristal·lografia, Mineralogía i Dipòsits Minerals
Universitat de Barcelona
C) Martí i Fraques s/n, 08028 Barcelona*

Sra. Laura Vitoria

*Dpt. Cristal·lografia, Mineralogía i Dipòsits Minerals
Universitat de Barcelona
C) Martí i Fraques s/n, 08028 Barcelona*

ÍNDICE

Presentación de la serie	
Prefacio	
Geoquímica de isótopos estables: fundamentos, técnicas y aplicaciones (E. Reyes)	1
Fundamentos y aplicaciones de la geoquímica de isótopos radiogénicos a problemas medioambientales (L. Barbero)	21
Isótopos estables como indicadores paleoclimáticos y paleohidrológicos en medios continentales (A. Delgado y E. Reyes)	37
Uso de los isótopos ambientales (N, S, C, O) en la determinación del papel de las piritas como catalizadoras de procesos de atenuación natural de aguas contaminadas por nitratos: Ejemplo de Osona (NE España) (Vitoria et al.)	55
Los isótopos de carbono como trazadores del origen de compuestos eteno clorados y su utilización en el control de la atenuación (Palau et al.)	63
Estudio isotópico del origen del sulfato del agua subterránea en la zona afectada por el vertido minero de Aznalcóllar (SO España), (M. Manzano et al)	71
La relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ una nueva herramienta medioambiental para trazar el origen de la contaminación: el ejemplo del Río Cardener, cuenca del Río Llobregat (A. Soler et al.)	89
Radioactividad ambiental: utilización de trazadores en sedimentos costeros (R. Ligeró)	97
Un modelo de migración vertical del ^{137}Cs (M. Casas et al.)	107
Uso del ^{137}Cs y ^{210}Pb en estudios de erosión y sedimentación en ambientes semi áridos y templados (A. Navas)	149