

Geo-Temas



Sociedad
Geológica
de
España

Volumen 18



5-7 julio 2021 Vitoria-Gasteiz

X Congreso Geológico de España

eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibersitatea

Geo-Temas es una publicación de carácter no periódico en la que se recogen los resúmenes cortos o extensos de las comunicaciones presentadas en los Congresos Geológicos que celebra cuatrienalmente la Sociedad Geológica de España, así como en otros congresos, jornadas y simposios de carácter científico y organizadas por las comisiones de la SGE u otras asociaciones mediante convenios específicos. Los organizadores de cada reunión son los responsables de la obtención de los fondos necesarios para cubrir en su totalidad los gastos de edición y difusión del correspondiente número de Geo-Temas. Al no constituir una publicación de carácter periódico, Geo-Temas es distribuida exclusivamente a los inscritos en los actos a los cuales va dirigida la edición, reservándose un cierto número de ejemplares para la distribución por parte de la SGE.

La SGE no se hace responsable de las opiniones vertidas por los autores de los artículos, siendo por tanto ésta responsabilidad exclusiva de los respectivos autores.

La propiedad intelectual queda a plena disposición del autor de acuerdo con las leyes vigentes. queda prohibida la reproducción total o parcial de textos e ilustraciones de esta revista con fines comerciales sin autorización escrita de la SGE o de los autores. Se permite sin necesidad de autorización la generación de separatas para uso de los autores y la reproducción con fines docentes.

EDITORIA PRINCIPAL

Sonia García de Madinabeitia Martínez de Lizarduy

Departamento de Geología, Universidad del País Vasco UPV-EHU, 48940 Leioa, Bilbao (España)

Tel: +34 946 01 54 55; e-mail: sonia.gdm@ehu.es

EDITORES ADJUNTOS

Nieves López González

Instituto Español de Oceanografía
Centro Oceanográfico de Málaga
e-mail: nieves.lopez@ieo.es

Alberto Pérez López

Dpto. de Estratigrafía y Paleontología
Facultad de Ciencias,
Universidad de Granada
e-mail: aperezl@ugr.es

Aitor Cambeses Torres

Dpto. de Mineralogía y Petrología
Facultad de Ciencias,
Universidad de Granada
e-mail: aitorc@ugr.es

COMITÉ ORGANIZADOR

Presidente: Luís Eguiluz Alarcón. Universidad del País Vasco UPV-EHU
Martin Arriolabengoa Zubizarreta. Universidad del País Vasco UPV-EHU
Jon Errandonea Martín. Universidad del País Vasco UPV-EHU
Idoia Garate Olave. Universidad del País Vasco UPV-EHU
Sonia García de Madinabeitia Martínez de Lizarduy. Universidad del País Vasco UPV-EHU
Iván Martín Martín. Universidad del País Vasco UPV-EHU
Fernando Sarrionandia Eguidazu. Universidad del País Vasco UPV-EHU
Antonio Tarrío Vinagre. Universidad del País Vasco UPV-EHU

COMITÉ CIENTÍFICO

Juan Alcalde Martín
Juan Luís Alonso Alonso
Francisco J. Alonso Chaves
Enrique Álvarez Areces
Pilar Andonaegui Moreno
Ricardo Arenas Martín
Javier Aróstegui García
Martin Arriolabengoa Zubizarreta
Puy Ayarza Arribas
Juan Ignacio Baceta
José Manuel Baltuille Martín
Alberto Bandrés Martínez
Bet Beamud
Alfonso Benito Calvo
José María Bermúdez de Castro
David Brusi
María del Carmen Cabrera
Amelia Calonge
Carolina Canora Catalán
Alejandro Cearreta Bilbao
José Cernicharo
anuela Chamizo Borreguero
Ferrán Colombo Piñol
Juan Pablo Corella

Andrés Cuesta Fernández
Manuela Chamizo Borreguero
Ferrán Colombo Piñol
Juan Pablo Corella
Andrés Cuesta Fernández
Brais Currás Refojos
María Druet Vélez
Mathieu Duval
Luís Eguiluz Alarcón
Gemma Ercilla Zarraga
Carlota Escutía
Agustina Fernández
Concepción Fernández Leyva
Javier Fernández Lozano
Jorge Fernández Suárez
José Francisco Mediato
Alex Franco Bilbao
José Manuel Fuenlabrada Pérez
Gloria Gallastegui Suárez
Daniel García Jiménez
Fernando García García
Juan García Portero
Julián García Mayordomo
Olga García Moreno

Antonio García-Casco
Pedro Pablo Gil Crespo
José Luís Granja Bruña
Francisco Gutiérrez Santaolalla
Gabriel Gutiérrez Alonso
Nemesio Heredia Carballo
Pedro Pablo Hernáiz Huerta
Nadia Herrero Martínez
Álvaro Jiménez Berrocoso
Ruth Jiménez San Pedro
Jesús F. Jordá Pardo
María José Jurado
Pilar Llanes Estrada
Iván Martín Rojas (UA)
Blanca María Martínez
Javier Martínez Martínez
Luis Miguel Martínez Torres
Roberto Martínez-Orio
Pilar Mata del Campo
Teresa Medialdea Cea
Tania Mochales
Manuel Monge Ganuzas
Alfonso Muñoz Martín
Belén Oliva Urcia

Inmaculada Palomera
Josep M. Parés
Aitor Payros
Francisco J. Pérez Torrado
Joaquín A. Proenza
Oscar Pueyo
Isabel Rábano Gutiérrez del Arroyo
Roberto Rodríguez Fernández
Lidia Rodríguez Méndez
Francisco Javier Rodríguez Tovar
Ana Ruíz Constán
Sonia Sánchez Martínez
Teresa Sánchez-García
Esther Sanz Montero
Pablo-Gabriel Silva Barroso
Luís Somoza Losada
Susana Timón Sánchez
Susana Torrecusa Villaverde
José Ignacio Valenzuela Ríos
Blas Valero
Juan Tomás Vázquez Garrido
Néstor Vegas Tubía
Juan José Villalain Santamaría
Iñaki Yusta Arnal

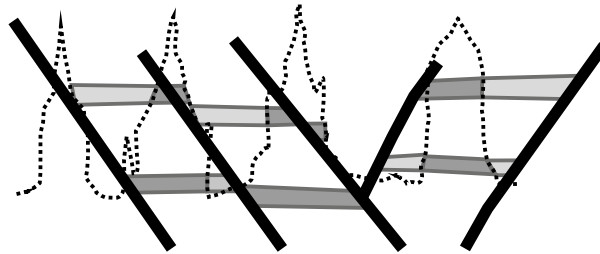
SEDE EDITORIAL

Sociedad Geológica de España:

Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca. Plaza de la Merced, s/n. 37008 Salamanca, España.
<http://www.sociedadgeologica.org>

Imagen de portada: Slump en flysch negro, Armintza, Bizkaia.
Fotografía cedida por Roberto Pinedo Vadillo (@luminaterris).

Geo-Temas



X CONGRESO GEOLÓGICO DE ESPAÑA
5-7 julio 2021 Vitoria-Gasteiz

Editores:

Jon Errandonea Martín

Idoia Gárate Olave

Sonia García de Madinabeitia

Fernando Sarrionandia Eguidazu

Vol. 18 (2021)

Geo-Temas

Vol. 18 (2021)

ÍNDICE

Geología Estructural y Tectónica

Desde el cinturón de pliegues y cabalgamientos al prisma de acreción en el sur de Taiwán: estructura cortical	33
J. Alvarez-Marron, D. Brown, J. Alcalde, I. Marzán, H. Kuo-Chen, P. Ayarza, y R. Carbonell	
Reparto de la deformación en el límite Zonas Internas-Externas de la transversal de Ronda (Béticas occidentales).....	34
J.C. Balanyá, I. Expósito, A. Jiménez-Bonilla, M. Díaz-Azpiroz, M. Sánchez-Gómez, y A. Crespo-Blanc	
El Diapiro de Salinas del Rosío (Cuenca Vasco-Cantábrica)	38
J. Belenguier Oliver, O. Ferrer, y K. McClay	
Estructura, formación y reactivación del Margen Continental Noribérico (Golfo de Vizcaya)	39
P. Cadenas, G. Manatschal, y G. Fernández-Viejo	
Pliegue recumbente dúctil (fold nappe) en el Cretácico superior del macizo de Eaux-Chaudes (Pirineos centro-occidentales).....	40
N. Caldera, A. Griera, P. Labaume, M. Guardia, A. Lahfid, y A. Teixell	
Las remagnetizaciones interpliegue como herramienta cuantitativa de restitución en cuencas sedimentarias invertidas	41
P. Calvin, A.M. Casas-Sainz, J.J. Villalain, T. Román-Berdiel, T. Mochales, P. Santolaria, B. Moussaid, A. Gil, B. Oliva, A. Pocoví, S. Torres, E. Izquierdo, F. Bógalo, I. Falcón, V.C. Ruiz-Martínez, H. El Ouardi, E. Sánchez-Moreno, M. Marcén, Á. Herrejón, y Á. Jimenez	
Migración de fluidos en la deformación supra-sal de la Falla de Jumilla (Zona Prebética).....	42
I. Cantarero, D. Cruset, F.O. Escosa, T. Espinoza, y A. Travé	
<i>Afar Triple Junction (Ethiopia): Review & Open Questions</i>	43
R. Carbonell, P. Ayarza, F. Tornos, J.R. Hanchar, M.T.D. Hanchar	
Reapretamiento de estructuras variscas durante la compresión alpina en la Zona Axial Pirenaica (Valle de Arán, Lleida).....	44
P. Clariana, J. García-Sansegundo, y A. Rubio-Ordóñez	
Variaciones laterales en el basamento y cobertera de los Pirineos Centrales	45
P. Clariana, R. Soto, C. Ayala, A.M. Casas-Sainz, T. Román-Berdiel, A. Margalef, B. Oliva-Urcia, E.L. Pueyo, E. Beamud, C. Rey-Moral, y F. Rubio	
Inyecciones clásticas en la base del manto del Esla (Zona Cantábrica, NO de Iberia)	46
M.I. de Paz-Álvarez, S. Llana-Fúnez, y J.L. Alonso	
<i>Cambrian-Ordovician Transition in the Northern Domains of Central-Iberian Zone; Tectonics Constrains</i>	47
R. Dias, C. Coke, R. Teixeira, A. Ribeiro, F. Amaral, and F. Corfu	
La influencia de los modelos cinemáticos en el análisis de tectonitas.....	50
M. Díaz-Azpiroz, C. Fernández, D.M. Czeck, E. Druguet, y J. Carreras	
<i>Local embrittlement related to hydrothermal activity in the Cap de Creus ductile fold-and-shear belt</i>	51
E. Druguet, D.M. Czeck, and J. Carreras	
<i>Recent tectonic activity and relief rejuvenation in the Betics foreland (Sierra Morena of Córdoba)</i>	54
I. Expósito, A. Jiménez-Bonilla, J.C. Balanyá, F. Moral, and M. Rodríguez-Rodríguez	
Nuevas cartografías temáticas del sector norte de la Fosa de Teruel.....	58
L. Ezquerro, C.L. Liesa, A. Luzón, L.E. Arlegui, y J.L. Simón	
Nuevos datos litoestratigráficos y tectónicos en el borde sur de la Zona Centro Ibérica (Serra de S. Mamede Portugal).....	59
P. Ferreira, J. Romão, R. Dias, y A. Ribeiro	
Aproximación experimental a la reactivación contractiva de márgenes pasivos con sal	63
O. Ferrer, J.A. Muñoz, E. Roca, y J. Ramirez	

Depósitos gravitacionales paraglaciares en Torre de Babia (Cordillera Cantábrica).....	269
A. Rodríguez, A. Suárez, y V. Alonso	
Cronología de formas periglaciares relictas conservadas en la Cordillera Cantábrica central.....	273
L. Rodríguez-Rodríguez, V. Rinterknecht, D. Bourlès, G. Aumaître, y K. Keddadouche	
Las superficies de erosión neógenas en la Cordillera Ibérica: más diversas y complejas de lo que pensábamos.....	274
J.L. Simón	
Relación entre la variación del albedo y la temperatura de superficie (LST) en los glaciares negros de la región del Khumbu (Himalaya)....	275
I. Vidaller, F. Pérez-Cabello, R. Montorio, L. Carcavilla	

Hidrología e Hidrogeología

Impacto del cambio climático en el régimen de sequías en España.....	276
L.M. Barranco, y A. Justel	
Variaciones temporales y espaciales en el intercambio entre aguas subterráneas y superficiales: El humedal de La Charca de Suárez. Granada, España.....	277
A.M. Blanco-Coronas, M. López-Chicano, M.L. Calvache, J. Benavente, y C. Duque	
Hidrogeología de acuíferos profundos: una investigación necesaria.....	278
C. Camuñas, J. del Pozo, J. Hornero, F. Ruíz, O. García, y M. Mejías	
Respuesta hidrológica ante la transformación en riego. Barranco de Lerma.....	283
J. Causapé, D. Merchán, y J.M. Orellana	
<i>Detection and classification of snowmelt episodes in the Aragón River from the analysis of seismic data.....</i>	285
J. Díaz, P.S. Sánchez-Pastor, and M. Ruíz	
Caracterización hidroquímica e isotópica del acuífero kárstico carbonatado de la Sierra del Aramo (Asturias, NO España).....	289
T. Esolá-Muñiz, y B. González-Fernández	
Contribución de la prospección geofísica y del análisis del MDT a la definición geométrica de un acuífero neógeno: el caso del acuífero de Benalup (provincia de Cádiz).....	290
S. García-López, M. Vélez-Nicolás, V. Ruiz-Ortiz, M. García, y M. Rodríguez	
Datación del agua del manantial de Meliones (provincia de Málaga) y su integración en un modelo hidrogeológico conceptual de carácter regional.....	294
J.M. Gil-Márquez, M. Mudarra, J.F. Martín-Rodríguez, F. Carrasco, L. Linares, y B. Andreo	
Respuesta hidrológica del sistema kárstico Güixas-Rebeco ante las precipitaciones (Villanúa, Pirineo Central).....	299
R. Giménez, M. Bartolomé, A. Moreno	
Cartografía predictiva de ecosistemas dependientes de aguas subterráneas mediante algoritmos de clasificación supervisada.....	300
V. Gómez-Escalonilla, P. Martínez-Santos, E. Montero	
Evidencia de la idiosincrasia del transporte de fármacos en aguas subterráneas a partir de datos de manantiales.....	301
M. Gros, J. Mas-Pla, M. Celic, A. Menció, D. Brusi, y M. Petrovic	
Variaciones estacionales de la salinidad del agua subterránea en las márgenes de la Salina Grande de Villafáfila (Zamora).....	302
P. Huerta, P. Carrasco, I. Armenteros, C. Recio, y J.C. González	
Caracterización hidrogeoquímica e isotópica preliminar de los manantiales epiperidotíticos de las Peridotitas de Ronda.....	303
P. Jiménez-Gavilán, I. Vadillo-Pérez, y R. Scapini-Gallardo	
Integración de información litoestratigráfica e hidrogeológica en un único documento gráfico: columnas hidro-estratigráficas.....	308
J. López-Gutiérrez, A. de la Hera-Portillo, C. Marín-Lechado, A. Ruíz-Constán, F. Rubio, y F. Bohoyo Muñoz	
Evolución hídrica de las Lagunas Reales (Cuenca del Duero, España) durante los siglos XX y XXI.....	309
R. Mediavilla, J.I. Santisteban, V. Borrueal, A. de la Hera-Portillo, M.T. López, y J.C. Gumiel	
La compartimentación del acuífero kárstico del Parque Nacional de los Picos de Europa: factores condicionantes.....	310
M. Meléndez, D. Ballesteros, y M. Jiménez-Sánchez	
Análisis de la influencia de las aguas subterráneas en la hidrología de lagunas de nueva creación (La Pletera, Girona).....	311
W. Meredith, X. Casamitjana, X. Quintana, M. Bas-Silvestre, M. Antón-Pardo, D. Boix, J. Pascual, M. Martinoy, D. Brusi, J. Mas-Pla, y A. Menció	
Origen de las aguas subterráneas hipersalinas asociadas al complejo olistostromico del Guadalquivir (Andalucía).....	312
F. Moral Martos	
Las aguas subterráneas del Paisaje Protegido de la Sierra de Santo Domingo-Salinas (Pirineo Occidental).....	316
C. Oliván, E.L. Pueyo, E. Garrido-Schneider, A. Azcón, E.M. Sánchez-Moreno, J.C. Larrasoña, y F. Compaired	
Cartografía geológica de la cuenca de Gallocanta (España).....	317
J. Ramajo, J.M. Orellana, C. Galé, y J. Causapé	

Caracterización hidrogeoquímica e isotópica preliminar de los manantiales epiperidotíticos de las Peridotitas de Ronda.

Preliminary hydrogeochemical and isotopic characterization of the epiperidotites springs of the Ronda Peridotites.

P. Jiménez-Gavilán¹, I. Vadillo-Pérez¹ y R. Scapini-Gallardo¹

¹ Grupo de Hidrogeología y Departamento de Ecología y Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga. pgavilan@uma.es; vadillo@uma.es; rocio-sg97@hotmail.com

Resumen: En los macizos de Sierra Bermeja y Alpujata, que forman parte de uno de los afloramientos más importantes de peridotitas del mundo (Las Peridotitas de Ronda), se ha realizado una caracterización preliminar de las aguas subterráneas clasificadas como epiperidotíticas, a partir de los datos hidroquímicos e isotópicos de 39 manantiales muestreados en los años 2015 y 2019. Este estudio hidrogeoquímico e isotópico preliminar ha permitido definir algunos de los principales procesos hidrogeoquímicos que tienen lugar en los dos macizos, así como la existencia de, al menos, dos modelos de flujo subterráneo diferentes.

Palabras clave: Peridotitas, manantiales epiperidotíticos, flujo subterráneo, hidrogeoquímica, isótopos.

Abstract: *In the Sierra Bermeja and Alpujata massifs, which form part of one of the most important outcrops of peridotite in the world (Las Peridotitas de Ronda), a preliminary characterization of the groundwater classified as epiperidotites has been carried out based on the hydrochemical and isotopic data of 39 springs sampled in the years 2015 and 2019. This preliminary hydrogeochemical and isotopic study have been defined some of the main hydrogeochemical processes occur in the two massifs, as well as at least the existence of two different subsurface flow models.*

Keywords: *Peridotites, epiperidotites springs, groundwater flow, hydrogeochemistry, isotopes*

INTRODUCCIÓN Y ZONA DE ESTUDIO

En la parte occidental de la provincia de Málaga, al sur de la Península Ibérica (Fig. 1), se encuentra uno de los mayores afloramientos de lherzolitas orogénicas del mundo (Obata, 1980), aunque también se encuentran harzburgitas, dunitas y capas máficas (Hernández-Pacheco, 1967), que se conocen en su conjunto como las Peridotitas de Ronda, y cuya presencia constituye uno de los principales argumentos para la futura declaración de parte de esta área como Parque Nacional.

El macizo peridotítico presenta un grado generalizado de serpentización, si bien se diferencia una de origen interno (debida a emanaciones hidrotermales), y otra como resultado de la transformación atmosférica del olivino (hidratación superficial) y, que como resultado incluye la presencia de magnesita, clinocloro y forsterita, entre otras asociaciones minerales (Obata, 1980).

El área de estudio abarca una superficie de 450 km², si bien sólo se ha trabajado en dos de los macizos: Sierra Bermeja y Sierra Alpujata, en los que se han generado valles, en forma de V y asimétricos (Fig. 1), por donde circulan los ríos Padrón, Castor, Velerín, Guadalmanza, Guadalmina y Guadaiza y los ríos Real, Ojén y Alaminos, respectivamente.

Las peridotitas de Ronda son rocas ígneas plutónicas, poco permeables y con una porosidad primaria inferior al 1%,

que favorecen por tanto los fenómenos de escorrentía y que no constituyen acuíferos propiamente dichos. No obstante, el elevado grado de fracturación que presentan los afloramientos peridotíticos, además de favorecer un proceso de serpentización superficial, permite el desarrollo de una capa de alteración más o menos importante, en función de las características geomorfológicas, que da lugar a niveles acuíferos de diferente entidad (Andreo y Gervilla, 2007). Estos niveles se drenan a través de manantiales de caudal poco importante, mayoritariamente, inferior a 5 L/s, y cuya situación parece estar más ligada a cambios de pendiente (Fig. 1), como demuestra la inexistencia de manantiales en la parte meridional del sector central de Sierra Bermeja debido al importante encajamiento de la red fluvial a estas cotas (Fig. 1). Por otro lado, debido a la cercanía de las peridotitas con los acuíferos aluviales y carbonáticos como Sierra de las Nieves-Prieta y Sierra Blanca (Fig.1), existe la posibilidad de que haya transferencia de agua desde estos acuíferos hacia los niveles permeables peridotíticos, que alterarían la hidroquímica y el contenido isotópico de los manantiales que surgen en estos últimos.

Un primer estudio hidroquímico del conjunto de las surgencias existentes en estos macizos (Vadillo *et al.*, 2015) ha permitido distinguir dos grandes tipologías de aguas subterráneas: una minoritaria, relacionadas con flujos de largo recorrido y profundos, en un sistema cerrado al O₂ y al CO₂, que provoca una mineralización de las aguas, ade-

Esta reacción, como resultado de la infiltración del agua de lluvia a través de la peridotita serpentinizada en condiciones de CO₂ atmosférico, aumenta el contenido en Mg y H₄SiO₄ y, en menor medida, el pH del agua que conduce a aguas ligeramente alcalinas (pH > 8) y enriquecidas en los contenidos en Mg²⁺ y HCO₃⁻ (Marques *et al.*, 2008; Paukert *et al.*, 2012). Así, se observa que la relación entre estas variables hidroquímicas para las aguas de facies bicarbonatadas magnésicas es muy alta (Fig. 3A), lo que obliga, en parte, a invocar un mismo proceso hidrogeoquímico para explicar el aumento de las concentraciones de ambas variables.

En este sentido, prácticamente todas las muestras de agua de los dos macizos tienen índices de Mg²⁺/HCO₃⁻ similares o superiores a los definidos por la disolución de la forsterita (Fig. 3B), así como una relación rCa²⁺/rMg²⁺ característica del campo de la disolución de las serpentinita (Fig. 3C), por lo que la disolución de los minerales de Mg (como los piroxenos, olivinos y serpentinas), explicarían el aumento progresivo del contenido en Mg²⁺ y HCO₃⁻ de las aguas drenadas (Margiotta *et al.*, 2012), y se erige como el proceso hidrogeoquímico más destacado.

Por otro lado, las relaciones iónicas características que se muestran en la figura 3 apuntan a que la disolución de litologías de naturaleza dolomítica es el principal proceso hidrogeoquímico que explica la facies hidroquímica de las surgencias de Fuente Burbuja y Fuente Algaida. En cambio, otras surgencias de este mismo macizo, como Fuente

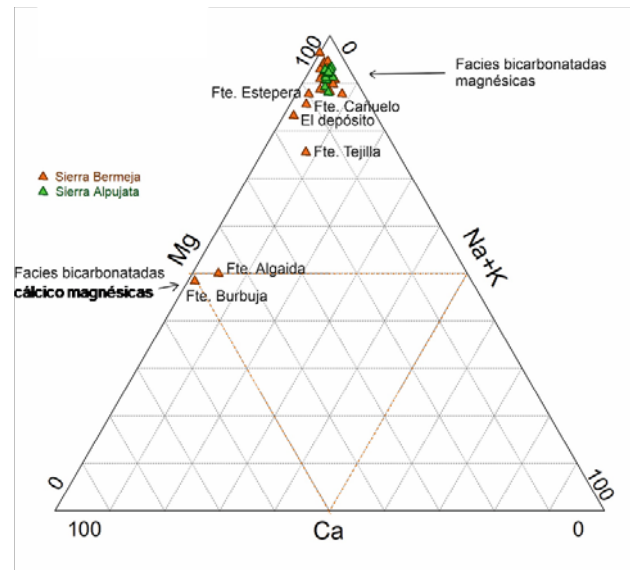


FIGURA 2. Representación de los valores medios de las dos campañas realizadas en los manantiales epiperidotíticos en el diagrama de cationes de Piper.

Tejilla, Fuente Algaida y Fuente Estepera, que también muestran una facies hidroquímica bicarbonatada magnésica (Fig. 2) y que se sitúan cercanos al contacto de las peridotitas con materiales de naturaleza carbonática, presentan un mayor contenido en Ca²⁺, si bien las relaciones iónicas características (Fig. 3) no permiten diferenciar una

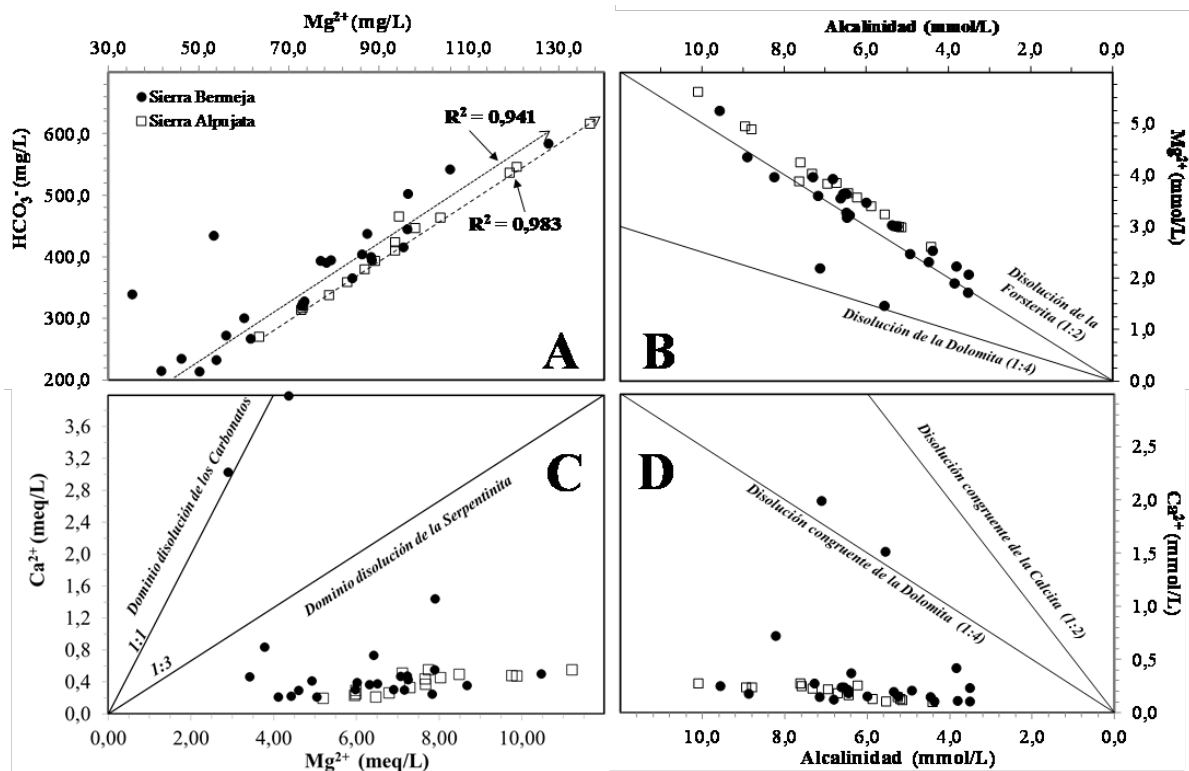


FIGURA 3. (A) Relaciones entre los contenidos en Mg²⁺ y la alcalinidad (como HCO₃⁻) e iónicas Mg²⁺/Alcalinidad (B), Ca²⁺/Mg²⁺ (C) y Ca²⁺/Alcalinidad (D) de las aguas subterráneas de los manantiales epiperidotíticos de Sierra Bermeja y Sierra Alpujata.

tipología de aguas que sea característica de un proceso hidrogeoquímico diferente a los anteriormente descritos.

En cuanto a los resultados isotópicos, las aguas de los manantiales de Sierra Alpujata muestran valores promedio de $\delta^{18}\text{O}$ más pesados que los de Sierra Bermeja (Fig. 4), como consecuencia de su mayor cercanía al mar. Además, en ambos macizos se observa un fraccionamiento isotópico debida a la altitud de recarga (efecto altitudinal), mientras que en Sierra Bermeja debido a su mayor tamaño y su posición con respecto a las entradas de los frentes nubosos se observa un efecto continentalidad que produce un fraccionamiento isotópico desde el SW al NE (Fig. 4).

Las aguas subterráneas epiperidotíticas de ambos macizos muestran valores de $\delta^{13}\text{C}$ bajos (-14,06‰ a -19,85‰) y valores de HCO_3^- (Fig. 5) relativamente altos (> 200 mg/L). En la relación entre ambas variables (Fig. 5) se asume que: 1) el CO_2 atmosférico actual tiene valores de $\delta^{13}\text{C} \sim -10\text{‰}$; 2) que el suelo y la vegetación genera un CO_2 empobrecido en este isótopo que da valores entre -22‰ y -25‰ y 3) que la incorporación del CO_2 en el agua tiene lugar principalmente en un sistema abierto y a un pH en el que predomina el HCO_3^- . Con todo ello, se observa una relación exponencial decreciente para las aguas subterráneas epiperidotíticas de ambos macizos (Fig. 5), que permite diferenciar dos tipologías de aguas subterráneas diferentes: una con menor concentración de bicarbonatos e isotópicamente más pesada (entre -14‰ y -17,5‰), que pone de manifiesto el dominio del CO_2 atmosférico frente al procedente del suelo, como consecuencia de una circulación más superficial del agua subterránea que permite un equilibrio con la atmósfera; y otra con mayor cantidad de bicarbonatos y valores de $\delta^{13}\text{C}$ más ligeros (característicos de una mezcla isotópica con mayor participación del CO_2 del suelo que de la atmósfera), lo que puede indicar, a priori, una circulación subterránea que dificulta que se produzca una señal isotópica en equilibrio con la atmósfera y, por tanto, característica de una mayor profundidad de circulación y tiempo de tránsito.

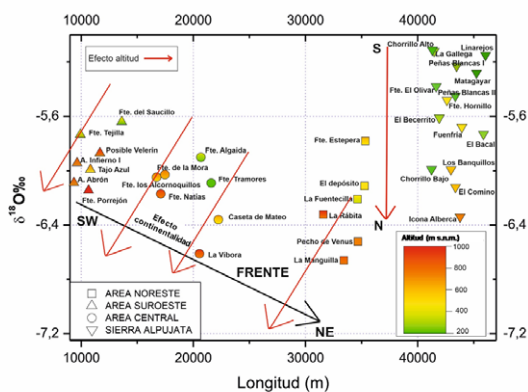


FIGURA 4. Variación longitudinal de $\delta^{18}\text{O}$ de oeste a este (tomando como referencia el punto de descarga más al oeste -5°13'27.36"O-) en los manantiales muestreados (se indica la altitud aproximada) de las tres áreas de Sierra de Sierra Bermeja (ver división en la Figura 1) y Sierra Alpujata.

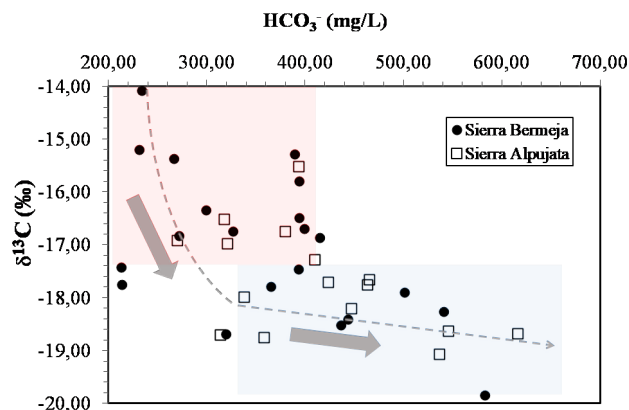


FIGURA 5. Relación del $\delta^{13}\text{C}$ y de la alcalinidad (como contenido en HCO_3^-) en los manantiales muestreados.

CONCLUSIONES

La caracterización hidrogeoquímica e isotópica de los manantiales epiperidotíticos de Sierra Bermeja y Sierra Alpujata ha puesto de manifiesto que los dos macizos funcionan como sistemas independientes. Además, en ambos macizos se observan los mismos procesos hidrogeoquímicos, en los que la disolución, por aguas subterráneas poco profundas (equilibradas con el CO_2 y el O_2 atmosférico), de los minerales magnesianos que componen la peridotita explica el aumento progresivo del contenido en Mg^{2+} y la alcalinidad de las aguas subterráneas, si bien la combinación de datos hidroquímicos e isotópicos ha permitido definir, de manera preliminar, dos modelos de flujo subterráneo con características de profundidad de circulación y tiempo de tránsito diferentes.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución al Grupo de Hidrogeología de la UMA (RNM-308) y a los proyectos del Plan Propio y de Fondos FEDER de la UMA (UMA18-FEDERJA-101): "Hidrogeoquímica de las Peridotitas de Ronda: Caracterización de las aguas subterráneas y del metano asociado". Asimismo, se agradece a un revisor anónimo las recomendaciones para la mejora de este manuscrito.

REFERENCIAS

Andreo, B. y Gervilla, F. (2007): Las Peridotitas de Ronda. En: *Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Málaga*. IGME-Diputación de Málaga, Madrid, 2: 212-216.

Barnes, I. y O'Neil, J.R. (1969): The relationship between fluids in some fresh alpine type ultramafics and possible modern serpentinization, western United States. *GSA Bulletin*, 80(10): 1947-1960

Hernández-Pacheco, A. (1967): Estudio petrográfico y geoquímico del macizo ultramáfico de Ojén (Málaga). *Estudios Geológicos*, 23: 85-143.

Margiotta, S., Mongelli, G., Summa, V., Paternoster, M., Fiore, S. (2012): Trace element distribution and Cr(VI) speciation in Ca- HCO_3 and Mg- HCO_3 spring waters from

the northern sector of the Pollino massif, southern Italy. *Journal of Geochemical Exploration*, 115: 1–12.

Marques, J.M., Carreira, P.M., Carvalho, M.R., Matias, M.J., Goff, F.E., Basto, M.J., Graça, R.C., Aires-Barros, L., Rocha, L. (2008): Origins of high pH mineral waters from ultramafic rocks, Central Portugal. *Applied Geochemistry*, 23: 3278-3289.

Obata, M. (1980): The Ronda peridotite: garnet-, spinel-, and plagioclase-lherzolite facies and the P–T trajectories of high temperature mantle emplacement. *Journal of Petrology*, 21: 533–572.

Paukert, A.N., Matter, J.M., Kelemen, P.B., Shock, E.L., Havig, J.R. (2012): Reaction path modeling of enhanced in situ CO₂ mineralization for carbon sequestration in the peridotite of the Samail Ophiolite, Sultanate of Oman. *Chemical Geology*, 330: 86-100.

Vadillo, I., Urresti, B., Jiménez, P., Martos, S., Durán, J.J., Benavente, J., Carrasco, F. y Pedrera, A. (2015). Caracterización hidrogeoquímica preliminar de las peridotitas de Ronda (provincia de Málaga). En: *SIAGA 2015*: 515-525.