

Serie / NOVA TERRA

Geoquímica y geocronología de las ofiolitas de Galicia

Sonia Martínez Sánchez

INSTITUTO UNIVERSITARIO DE GEOLOGÍA “ISIDRO PARGA PONDAL”
ÁREA DE XEOLOXÍA E MINERÍA DO SEMINARIO DE ESTUDOS GALEGOS

A Coruña 2009

ISSN: 1131-8503
ISBN: 978-84-9749-333-8
Depósito Legal: C 1024-2009
Imprime: Tórculo
A Coruña, 2009

Ilustración de cubierta:
Lámina delgada de anfíbolita de la Unidad de Purrido (Cabo Ortegal, Coruña, España)

Editor científico: Juan Ramón Vidal Romaní
Maquetación: Sonia Sánchez Martínez
Portada: J. R. Vidal Romaní

FICHA DE CATALOGACIÓN

SÁNCHEZ MARTÍNEZ, Sonia

Geoquímica y geocronología de las ofiolitas de Galicia / Sonia Martínez Sánchez. Instituto Universitario de Geología, 2009.

360 pp.: 121 fig.; 29 lam.; 51 tablas (Serie Nova Terra; 37)

Tesis Doctoral de la Universidad Complutense de Madrid. – Bibliografía: p. 341-357 – Incluye índice. [Editor científico: Juan Ramón Vidal Romaní]

ISBN: 978-84-9749-333-8 D.L.: C 1024-2009

ISSN: 1131-8503

1. Geoquímica y Geocronología de Galicia 2. Ofiolitas 3. Complejos alóctonos de Galicia 4. Edad U-Pb de circón

I. Vidal Romaní, Juan Ramón, ed. II. Instituto Universitario de Geología (Universidad de Coruña), ed. III. Laboratorio Xeolóxico de Laxe, Área de Xeoloxía e Minería do Seminario de Estudos Galegos, ed. IV. Universidad Complutense de Madrid, ed. V. Serie (Nova Terra, 36) VI. Tít.

Agradecimientos

Son muchas las personas que de una u otra manera han contribuido a que esta Tesis Doctoral haya podido concluir felizmente y es a todas ellas a quienes deseo dedicar las siguientes líneas.

Mi más especial agradecimiento va dirigido al director principal de este trabajo, el Profesor Ricardo Arenas. Su estrecha colaboración y su apasionado interés por el tema de investigación que hemos desarrollado me han servido de impulso para seguir adelante y obtener unos resultados con los que jamás habría soñado. Como buen director ha sido capaz, con una gran dosis de paciencia, de evitar que me desviase del camino trazado, y ha tratado de inculcarme sus extensos conocimientos acerca de la geología del Cinturón Varisco Europeo. Junto a él he podido viajar aun más atrás en el tiempo, reconstruyendo océanos perdidos para aproximarnos al hasta ahora para nosotros desconocido mundo de Rodinia. Espero que este fascinante viaje no haya hecho más que empezar.

He tenido la suerte de contar con otros tres directores más, cuyos enfoques, cada uno diferente, han contribuido a enriquecer sustancialmente este trabajo. Del Profesor Javier Fernández Suárez, nuestro gurú del U-Pb, he aprendido todo lo que sé sobre circones, el arte de la separación mineral, el manejo del Isoplot y la interpretación de los diagramas de concordia. Su colaboración fue también indispensable para que las dataciones que son parte fundamental de esta Tesis pudieran llevarse a cabo. La Profesora Pilar Andonaegui fue la que me introdujo en el tratamiento de los datos geoquímicos de roca total, ya durante la realización del trabajo de DEA. Su cuidadosa corrección del manuscrito final ha contribuido a mejorarlo. Los amplios conocimientos acerca de la geología de los complejos alóctonos de Galicia del Profesor José Ramón Martínez Catalán, adquiridos durante largos años de trabajo en colaboración con otros miembros del equipo de investigación, han sido fundamentales para realizar con eficacia los muestreos que son la base de este trabajo. Espero que nuestra colaboración pueda mantenerse en el futuro y siga aprendiendo cosas de todos vosotros.

A la Doctora Teresa Jeffries le agradezco la oportunidad que me brindó de trabajar bajo su supervisión en los laboratorios del *Natural History Museum* de Londres, donde llevé a cabo las dataciones U-Pb. La obtención de los datos isotópicos no habría sido posible sin su compromiso y ayuda. La gran profesionalidad que demostró, incluso en las condiciones más adversas, ha supuesto una importante lección para mí. *Thank you very much indeed*. También agradezco la colaboración del resto del personal del servicio de *Analytical Chemistry* del NHM, en especial a Raquel García Sánchez, que me trató con gran simpatía y me echó una mano en la adquisición de datos.

Agradezco al Profesor Julian Pearce por tener la amabilidad de acogerme en la *Cardiff University* durante dos meses y ayudarme a comprobar la validez de nuestros datos geoquímicos. Las discusiones que mantuvimos me aportaron ideas que resultaron de gran utilidad para la realización de esta Tesis y de varias publicaciones.

Quiero agradecer a todos los miembros del equipo de investigación del que he formado parte durante estos últimos seis años por haberme dado la oportunidad de colaborar con vosotros y haberme encomendado la satisfactoria tarea de estudiar las ofiolitas de Galicia. Es un privilegio poder trabajar con un grupo de profesionales tan buenos científicos como amigos. Florentino Díaz García fue nuestro guía de excepción introduciéndonos en la geología de dos de las ofiolitas del Complejo de Órdenes. Es de agradecer la ayuda que nos brindó durante el muestreo de la Ofiolita de Careón, que fue la primera ofiolita de supra-subducción descrita en el NW del Macizo Ibérico, y a la cual como descubridor tiene tanto cariño. A Pedro Castifeiras y Jacobo Abati por su colaboración

en el muestreo de varias de las ofiolitas estudiadas en esta Tesis, y en especial al primero por su asesoramiento en cuestiones informáticas que han servido de orientación para la edición de este volumen.

Agradezco la labor realizada por los responsables del TIMS de los laboratorios de la *Memorial University of Newfoundland*, Marc Poujol y Alain Potrel. Los e-mails de Alain acerca del método Sm-Nd y del significado de los datos isotópicos me resultaron de gran utilidad.

A la directora del CAI de Geocronología de la UCM, Carmen Galindo, y al resto del personal del laboratorio, Chema y José Antonio, por introducirme en la metodología de dilución isotópica y análisis de Sm-Nd mediante TIMS.

A todo el personal del Laboratorio de Preparación de Muestras de la Facultad de Geología de la UCM, especialmente a Carmen Valdehita, por aligerar la pesada tarea que supone la molienda de muestras.

A todos los miembros del Departamento de Petrología y Geoquímica de la UCM que a través de los años se han convertido para mí en una gran familia, sobre todo en los tiempos difíciles en que nuestra convivencia se hizo aun más estrecha al tener que compartir nuestra "Campus Party" particular.

Doy también las gracias al resto de colegas de Salamanca, Juan, Pablo y Rubén, con los que he compartido buenos momentos en el campo y algún que otro chuletón; así como a los doctorandos de la *School of Earth, Ocean and Planetary Sciences*, Shaun, Graham y Rich, que compartieron su despacho conmigo y me trataron como una más. *Thank you guys*.

Al Ministerio de Educación y Ciencia, por la financiación de este trabajo a través de una beca del programa nacional de Formación de Profesorado Universitario y los proyectos de investigación BTE2001-0963-CO2-02 y CGL2004-04306-CO2-02/BTE. Al programa Synthesys de la Union Europea que financió la estancia y utilización de los medios analíticos proporcionados por el *Natural History Museum* de Londres. Al proyecto de la UNESCO IGCP-497 y a todos sus participantes por fomentar la discusión acerca del origen y evolución del Océano Rheico.

También agradezco a todos aquellos que tengan la paciencia suficiente para leer esta memoria.

Por último, agradezco a mi familia y en especial a mis padres por su apoyo y comprensión que han sido indispensables para que haya podido finalizar con éxito la labor que he realizado a lo largo de todos estos años.

ÍNDICE

1. INTRODUCTION	5
1.1. Scopes and methodology.	8
2. TIPOS DE OFIOLITAS	11
2.1. Características y significado de las secuencias ofiolíticas.	13
2.2. Tipos de ofiolitas.	17
3. LA GEOLOGÍA DE LOS COMPLEJOS ALÓCTONOS DEL NW DEL MACIZO IBÉRICO: IMPLICACIONES EN EL DESARROLLO DEL ORÓGENO VARISCO EUROPEO	25
3.1. El Orógeno Varisco y los complejos alóctonos.	27
3.2. Los complejos alóctonos de Galicia.	29
3.2.1. Unidades basales.	36
3.2.2. Unidades ofiolíticas.	38
3.2.3. Unidades superiores.	38
3.2.3.1. Unidades de alta presión-alta temperatura.	39
3.2.3.1. Unidades de presión media.	39
3.3. Correlación de los terrenos alóctonos dentro del Cinturón Varisco europeo.	41
4. LAS UNIDADES OFIOLÍTICAS DE LOS COMPLEJOS ALÓCTONOS DE GALICIA	45
4.1. Las unidades ofiolíticas de Galicia: Estado de los conocimientos al inicio de este trabajo. ..	47
4.2. Unidad de Careón.	47
4.2.1. Estructura interna y constitución litológica.	49
4.2.2. Evolución tectonotermal y geocronología.	53
4.2.3. Características geoquímicas.	56
4.2.4. Hipótesis propuestas sobre su origen y significado.	58
4.3. Unidad de Bazar.	60
4.3.1. Estructura interna y constitución litológica.	60
4.3.2. Evolución tectonotermal y geocronología.	65
4.3.3. Características geoquímicas.	65
4.3.4. Hipótesis propuestas sobre su origen y significado.	65
4.4. Unidad de Purrido.	65
4.4.1. Estructura interna y constitución litológica.	67
4.4.2. Evolución tectonotermal y geocronología.	70
4.4.3. Características geoquímicas.	71
4.4.4. Hipótesis propuestas sobre su origen y significado.	72
4.5. Unidad de Vila de Cruces.	72

4.5.1. Estructura interna y constitución litológica.	72
4.5.2. Evolución tectonotermal y geocronología.	75
4.5.3. Características geoquímicas.	76
4.5.4. Hipótesis propuestas sobre su origen y significado.	77
4.6. Unidad de Moeche.	77
4.6.1. Estructura interna y constitución litológica.	77
4.6.2. Evolución tectonotermal y geocronología.	80
4.6.3. Características geoquímicas.	82
4.6.4. Hipótesis propuestas sobre su origen y significado.	82
4.7. Mélange de Somozas.	82
4.7.1. Estructura interna y constitución litológica.	84
4.7.2. Evolución tectonotermal y geocronología.	86
4.7.3. Características geoquímicas.	88
4.7.4. Hipótesis propuestas sobre su origen y significado.	89
5. GEOQUÍMICA Y GEOCRONOLOGÍA DE LA UNIDAD DE CAREÓN	91
5.1. Tipos litológicos.	93
5.2. Geocronología U-Pb.	99
5.3. Geoquímica de roca total.	99
5.3.1. Características generales y clasificación. Efectos de la alteración.	100
5.3.2. Tierras raras.	106
5.3.3. Ambiente tectónico de generación.	108
5.4. Geoquímica isotópica Sm-Nd.	120
5.5. Consideraciones finales.	123
6. GEOQUÍMICA Y GEOCRONOLOGÍA DE LA UNIDAD DE PURRIDO	125
6.1. Tipos litológicos.	127
6.1.1. Tipos de anfibolitas de la Unidad de Purrido.	127
6.1.2. Litologías en la parte inferior de la Zona de Cizalla de Carreiro.	132
6.2. Geocronología U-Pb.	135
6.2.1. Geocronología de las anfibolitas de Purrido: edad de los protolitos ígneos.	135
6.2.2. Geocronología del paragnéis de la Zona de Cizalla de Carreiro: procedencia y edad máxima de sedimentación.	140
6.3. Geoquímica de roca total.	145
6.3.1. Características generales y clasificación. Efectos de la alteración.	146
6.3.2. Tierras raras.	150
6.3.3. Ambiente tectónico de generación.	151
6.4. Geoquímica isotópica Sm-Nd.	155
6.5. Consideraciones finales.	158

<u>7. GEOQUÍMICA Y GEOCRONOLOGÍA DE LA UNIDAD DE MOECHE</u>	161
7.1. Tipos litológicos.	163
7.1.1. Metabasitas de la Unidad de Moeche: Esquistos verdes miloníticos.	163
7.1.2. Metasedimentos de la Unidad de Moeche: Filitas y micaesquistos.	167
7.2. Geocronología U-Pb.	169
7.2.1. Geocronología de los micaesquistos de la Unidad de Moeche: procedencia y edad máxima de sedimentación.	169
7.3. Geoquímica de roca total.	176
7.3.1. Características generales y clasificación. Efectos de la alteración.	177
7.3.2. Tierras raras.	181
7.3.3. Ambiente tectónico de generación.	181
7.4. Geoquímica isotópica Sm-Nd.	186
7.5. Consideraciones finales.	188
<u>8. GEOQUÍMICA Y GEOCRONOLOGÍA DE LA UNIDAD DE VILA DE CRUCES</u>	191
8.1. Tipos litológicos.	193
8.1.1. Rocas metaígneas de la Unidad de Vila de Cruces: Esquistos verdes miloníticos, metagabros y ortogneises.	193
8.1.2. Otras litologías.	198
8.2. Geocronología U-Pb.	198
8.2.1. Geocronología de los ortogneises de Vila de Cruces: edad de los protolitos ígneos. ..	199
8.2.2. Geocronología de los metagabros de Vila de Cruces: edad de los protolitos ígneos. ..	201
8.3. Geoquímica de roca total.	206
8.3.1. Características generales y clasificación. Efectos de la alteración.	206
8.3.2. Tierras raras.	210
8.3.3. Ambiente tectónico de generación.	212
8.4. Geoquímica isotópica Sm-Nd.	218
8.5. Consideraciones finales.	221
<u>9. GEOQUÍMICA Y GEOCRONOLOGÍA DE LA UNIDAD DE BAZAR</u>	225
9.1. Tipos litológicos.	227
9.2. Geocronología U-Pb.	231
9.2.1. Geocronología de las anfibolitas de Bazar: edad de los protolitos ígneos y del metamorfismo.	231
9.2.2. Geocronología de las granulitas de Bazar: edad de los protolitos ígneos y del metamorfismo.	235
9.2.3. Geocronología de un leucogabro de Bazar.	238
9.3. Geoquímica de roca total.	240
9.3.1. Características generales y clasificación. Efectos de la alteración.	241

9.3.2. Tierras raras.	245
9.3.3. Ambiente tectónico de generación.	246
9.4. Geoquímica isotópica Sm-Nd.	252
9.5. Consideraciones finales.	253
<u>10. DISCUSSION: ORIGIN OF THE OPHIOLITES OF THE ALLOCHTHONOUS COMPLEXES OF GALICIA</u>	257
<u>11. CONCLUSIONS</u>	275
<u>ANEXO: PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS QUÍMICO. MÉTODOS DE ANÁLISIS. DATOS DE GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL. DATOS DE GEOCRONOLOGÍA U-Pb</u>	279
I. Preparación de muestras para análisis químico de roca total: lavado y molienda.	281
II. Método analítico para la determinación de las concentraciones de elementos mayores, trazas y tierras raras de roca total.	281
III. Preparación de muestras para geocronología U-Pb en circones: métodos de separación mineral.	283
IV. Aplicación de la técnica LA-ICP-MS para la datación U-Pb en circones.	284
V. Determinación de relaciones isotópicas Sm/Nd en roca total.	288
VI. Localización de las muestras analizadas. Tablas de datos: Geoquímica de roca total y geocronología U-Pb.	290
<u>REFERENCIAS</u>	333