

CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA Y MINERALÓGICA DE LOS DEPÓSITOS FERRUGINOSOS ASOCIADOS A LA DISCONTINUIDAD JURÁSICO MEDIO-SUPERIOR DEL PREBÉTICO (CORDILLERA BÉTICA)

I. ABAD ⁽¹⁾, M. REOLID ⁽²⁾, J.M. MARTÍN-GARCÍA ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Jaén, Campus Las Lagunillas, 23071 Jaén

⁽²⁾ Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Universidad de Granada, Campus Fuentenueva s/n, 18002 Granada

INTRODUCCIÓN

El límite Jurásico medio-superior en la Zona Prebética (Cordillera Bética) está marcado por una discontinuidad en la que se ha identificado una costra ferruginosa con granos revestidos ferruginosos (ooides y pisoides) de reducido espesor y distribución muy local. También hay registro de ooides y pisoides ferruginosos en los primeros depósitos del Oxfordiense medio (Jurásico superior) representados por la litofacies de caliza con oolitos ferruginosos. La interpretación genética de este tipo de materiales puede ser fundamental en la reconstrucción paleoambiental del medio en el que se formaron. Pero pese a su interés, ni la costra ni los granos revestidos ferruginosos han sido previamente estudiados. Esta investigación se centra en su caracterización geoquímica, mineralógica y textural. A partir de los datos obtenidos se propone una interpretación preliminar sobre el origen de estos depósitos ferruginosos.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la Sierra de Cazorla (Prebético Externo, parte más externa y septentrional de la Cordillera Bética) se ha descrito una discontinuidad en el contacto entre la Formación Chorro (450 m de calizas oolíticas del Jurásico inferior y medio) y la Formación Lorente (70-100 m de calizas espongiolíticas y ritmitas margoso-calcáreas del Oxfordiense medio-Kimmeridgiense inferior). Entre ambas formaciones se halla una costra ferruginosa de reducido espesor (2-10 cm) cuya parte superior se encuentra compuesta mayoritariamente de ooides y pisoides ferruginosos. La caliza con oolitos ferruginosos suprayacente presenta una distribución y espesor variables (10-40 cm) y se dispone o bien sobre la costra ferruginosa o directamente sobre la Formación Chorro.

La composición mineral de la muestra total y de los granos revestidos fue determinada por difracción de rayos-X (DRX) (radiación Co-K α). El estudio petrográfico permitió caracterizar las microfacies así como determinar la morfología de los granos revestidos. En el microscopio electrónico de barrido (SEM) se han estudiado láminas delgado-pulidas de la costra ferruginosa y de las calizas suprayacentes usando imágenes de electrones retrodispersados (BSE) y análisis EDS. También se llevó a cabo el estudio mediante imágenes de electrones secundarios de la ultraestructura de los ooides sobre trozos obtenidos mediante cortes realizados en granos aislados. Además, se analizaron los elementos mayores por fluorescencia de rayos-X (FRX) y los elementos traza mediante ICP-MS tanto de la costra como de los ooides.

MORFOLOGÍA DE LOS OOIDES Y PISOIDES FERRUGINOSOS

Los ooides y pisoides ferruginosos se hallan tanto en la costra como en la caliza con oolitos ferruginosos suprayacente. Son heterométricos y su diámetro varía entre 0,3 y 3,5 mm. Se trata de granos revestidos con laminación concéntrica, de forma subesférica o elíptica, de color marrón, ocre o negro, raya pardo-amarillenta y brillo metálico. Se han analizado 600 ooides y pisoides, que de acuerdo con Guerrak (1987) se pueden clasificar en: a) simples, b) espastolitos, c) complejos o múltiples y d) fragmentados. Los simples son los más comunes con un tamaño medio de 900 μ m (Fig. 1).

Los ooides y pisoides ferruginosos pueden ser subdivididos en tipo A y tipo B de acuerdo con sus características morfológicas. El tipo A se caracteriza por una laminación

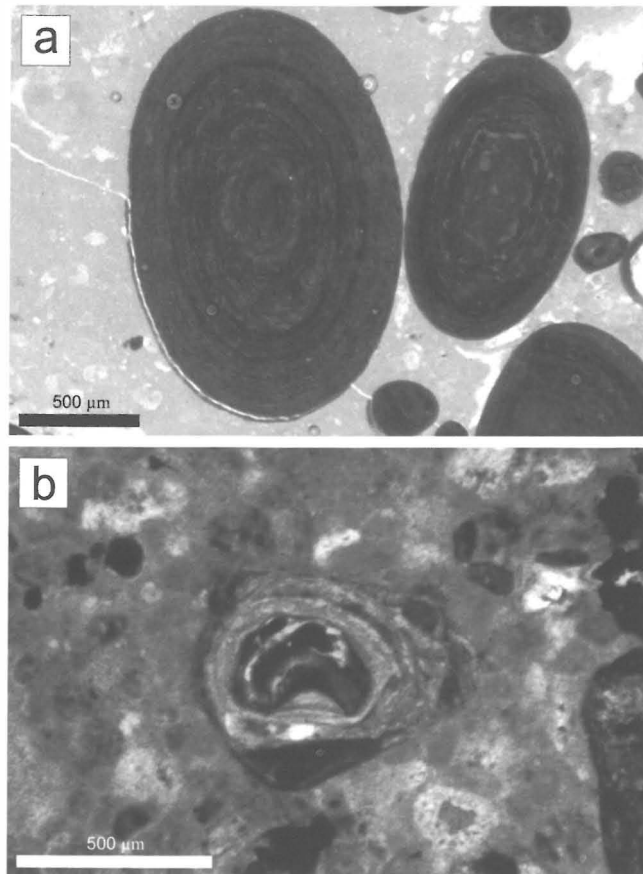


Figura 1: Microfotografías de ooides simples: (a) tipo A y (b) tipo B.

	costra	ooides	PAAS
SiO ₂	3,84	5,39	62,8
Al ₂ O ₃	2,52	6,47	18,9
Fe ₂ O ₃	80,48	67,28	7,25
MnO	0,03	0,05	0,11
MgO	0,33	0,52	2,2
CaO	2,31	4,69	1,3
K ₂ O	0,1	0,24	3,7
TiO ₂	0,14	0,53	1
P ₂ O ₅	1,75	3,58	0,16
LOI	10,88	12,9	6

Tabla 1b. Contenido en elementos traza (ppm).

	costra	ooides	PAAS
Rb	5,15	10,36	160
Cs	0,41	0,81	15
Sr	44,53	65,86	200
Ba	27,29	51,69	650
Sc	14,23	15,10	16
V	1414,42	1908,24	150
Cr	186,09	1058,94	110
Co	143,36	121,09	10
Ni	384,68	369,06	55
Cu	54,94	35,25	25
Zn	289,60	311,37	71
Ga	7,44	13,44	17
Y	66,28	107,45	27
Nb	9,57	40,42	19
Ta	0,31	1,02	
Zr	62,52	147,71	210
Hf	1,39	4,31	5
Mo	56,07	10,18	1
Sn	0,64	3,01	4
Tl	0,13	0,56	
Pb	150,74	120,89	20
U	13,17	8,02	3,10
Th	6,97	27,87	14,60
La	29,58	55,09	38
Ce	13,79	31,30	80
Pr	4,42	10,38	8,90
Nd	19,03	43,83	32
Sm	4,09	10,35	5,60
Eu	0,95	2,30	1,10
Gd	5,13	11,09	4,70
Tb	0,87	1,81	0,77
Dy	5,76	12,07	4,40
Ho	1,41	2,67	1
Er	4,01	7,14	2,90
Tm	0,60	1,06	0,40
Yb	3,47	6,02	2,80
Lu	0,55	0,83	0,43

PAAS: promedio de la composición de la corteza continental (Taylor y McLennan, 1985).

delgada y regular en láminas concéntricas alrededor de un núcleo de óxido de Fe o un fragmento de ooide ferruginoso (Fig. 1a). Es el tipo predominante a techo de la costra ferruginosa (100%) y constituye el 82% de los ooides ferruginosos de la caliza suprayacente. El tipo B se

caracteriza por una laminación más gruesa e irregular, con pocas láminas concéntricas discontinuas alrededor de un núcleo de naturaleza variable que incluye bioclastos y foraminíferos (Fig. 1b). Este tipo es exclusivo de la caliza con oolitos ferruginosos (18% de ooides). En las imágenes de electrones secundarios de los ooides tipo A (Fig. 2a) se han observado estructuras filamentosas en el núcleo poroso o entre las láminas (Fig. 2b).

COMPOSICIÓN GEOQUÍMICA Y MINERALÓGICA

La Tabla 1 muestra la composición química global de la costra y de los ooides ferruginosos contenidos en la misma. El componente más abundante es el Fe₂O₃, cuya concentración es máxima a la base de la costra (80,6% en peso). En los ooides, sin embargo, el contenido es algo menor (67,3%). Además, cabe destacar los contenidos en SiO₂ (3,8-5,4%), Al₂O₃ (2,5-6,5%), P₂O₅ (1,8-3,6%) y CaO (2,3-4,7%) que alcanzan las concentraciones más altas en los ooides. El K y el Mg son elementos móviles presentes en muy baja concentración (<0,5%). El Na se halla por debajo de los límites de detección. En relación a los elementos traza, la mayoría de ellos presentan concentraciones mayores en los ooides que en la costra. En el caso concreto del V, Cr, Co, Ni y Zn se alcanzan concentraciones muy altas en ambas partes si se comparan estos datos con los promedios de la corteza continental (Taylor y McLennan, 1985).

Los difractogramas de rayos-X han permitido identificar óxidos e hidróxidos de Fe: hematites y goethita fundamentalmente, además de algún hidróxido de Al (diáspora), fluorapatito, cuarzo y bohemitita. Se han aplicado las fórmulas de Schulze (1984) para determinar el contenido de Al en la goethita de estos materiales en función de los espaciados d₁₁₁ y d₁₁₀ y se han obtenido valores de ≈ 3% en moles.

A pesar de que la resolución del SEM/EDS no permite analizar láminas individuales de los ooides (<2 μm), los análisis realizados ponen de manifiesto que mayoritariamente están constituidos por hematites y goethita, tal como se había deducido de los difractogramas de rayos-X. Los oxi-hidróxidos analizados presentan un contenido en Al <10%. La presencia de P y Ca en los análisis corrobora la facilidad de los fosfatos en ser adsorbidos por los oxi-hidróxidos de Fe.

DISCUSIÓN

Los datos químicos presentados en este estudio son coherentes con los de niveles de características similares descritos en otras secuencias (Maynard, 1986; Guerrak, 1987; Cotter, 1992) salvo en lo relativo a la ausencia, en este caso, de filosilicatos tales como chamosita o kaolinita. Los granos revestidos tanto de la costra como de la caliza suprayacente están compuestos principalmente por hematites y goethita. Tan sólo la presencia de espastolitos hace pensar en una posible composición previa de los ooides a base de minerales de arcilla. Según algunos autores (Cotter, 1992; entre otros) sólo los ooides compuesto por arcillas son lo suficientemente plásticos para deformarse y dar lugar a espastolitos.

De acuerdo con la clasificación de Guerrak (1987) los contenidos de Fe₂O₃ (67,3-80,6%) en la costra ferruginosa son los correspondientes a «Fe-rich ironstones». En cuanto al P₂O₅ está relacionado con la presencia de apatito (detectado por DRX y SEM) y su origen muy probablemente

sea biogénico. Respecto a los elementos alcalinos, es común que en las costras ferruginosas se hallen en concentraciones muy bajas. Los contenidos más altos en Ca están ligados a la presencia de apatito y de residuos de los procesos de meteorización de la caliza infrayacente. Elementos traza como el Sr y el Th se encuentran en mayor cantidad en los ooides ya que son elementos que normalmente se alojan en el apatito. Los contenidos en Co, Ni, Cr, Pb y Zn son mayores que los de la media de la corteza continental. El Co, Ni y Cr son elementos muy móviles. Además, es muy significativo que mientras que los valores del Co y el Ni son muy similares en la costra y en los ooides, la concentración del Cr es mucho mayor en los ooides. Normalmente, el Zn es fácilmente absorbido por silicatos ferruginosos y óxidos e hidróxidos de Fe. El Pb, sin embargo, es más difícil relacionarlo con minerales ricos en Fe y las aguas meteóricas suelen ser la fuente del mismo. El Cu, como en el caso de las «Fe-rich ironstones» descritas por Guerrak (1987) se encuentra en concentraciones más bajas que la media cortical.

Por tanto, salvo en los aspectos indicados, la composición geoquímica y mineralógica de los ooides contenidos en la parte superior de la costra ferruginosa (100 % de ooides tipo A) es prácticamente igual a la de esta sugiriendo un origen común. El color pardo-amarillento de los ooides frente al pardo-rojizo de la costra en muestra molida parece indicar, sin embargo, que la concentración de goethita fuera mayor en los ooides mientras que la hematita predominase en la costra. Algunos de estos ooides tipo A y fragmentos de costra fueron incorporados a la litofacies de caliza con oolitos ferruginosos donde disminuyen hacia techo en abundancia y tamaño.

Desde el punto de vista morfológico se han clasificado los ooides en tipo A y B. En los primeros, presentes tanto en la costra como en la caliza suprayacente se han descrito estructuras filamentosas que pueden considerarse de origen bacteriano. Sin embargo, esto no es determinante en la interpretación del medio de depósito, ya que la relación entre microbios y óxidos de Fe ha sido demostrada tanto en medios marinos (Préat et al., 2000) como edáficos (Folk y Milliken, 2000). En cambio los ooides tipo B, menos abundantes y restringidos a las calizas, tienen un claro origen marino posterior como lo indican los bioclastos y foraminíferos planctónicos que constituyen los núcleos de estos y la presencia de foraminíferos encostrantes en las láminas. No existen evidencias para considerar que la costra ferruginosa y los ooides tipo A tuviesen un origen marino. Pero si se considera la posibilidad de un origen subaéreo, la costra ferruginosa presenta unas características próximas a la plintita ferruginosa pisolítica de Mohr et al. (1972) tanto en la composición química (80% Fe_2O_3) como mineralógica (alto contenido en óxidos e hidróxidos de Fe, principalmente hematitas y goethita, e hidróxidos de Al). En los ambientes edáficos, la cantidad de Al en goethita es un indicador de las condiciones pedogénicas. En este caso, según los datos de DRX y los datos analíticos el % molar de Al en goethita se encuentra comprendido en el rango 3-10%. Este grado de sustitución de Al en goethita es característico de suelos hidromórficos como la plintita (Fitzpatrick y Schwertmann, 1982), donde predomina la acumulación de Fe. En suelos sobresaturados debido al escaso drenaje, con alternancia de periodos de sequía e inundaciones lo suficientemente largas para permitir su desarrollo, es común que se formen costras ferruginosas con estructura nodular o pisolítica (ooides y pisoides tipo A) como la aquí descri-

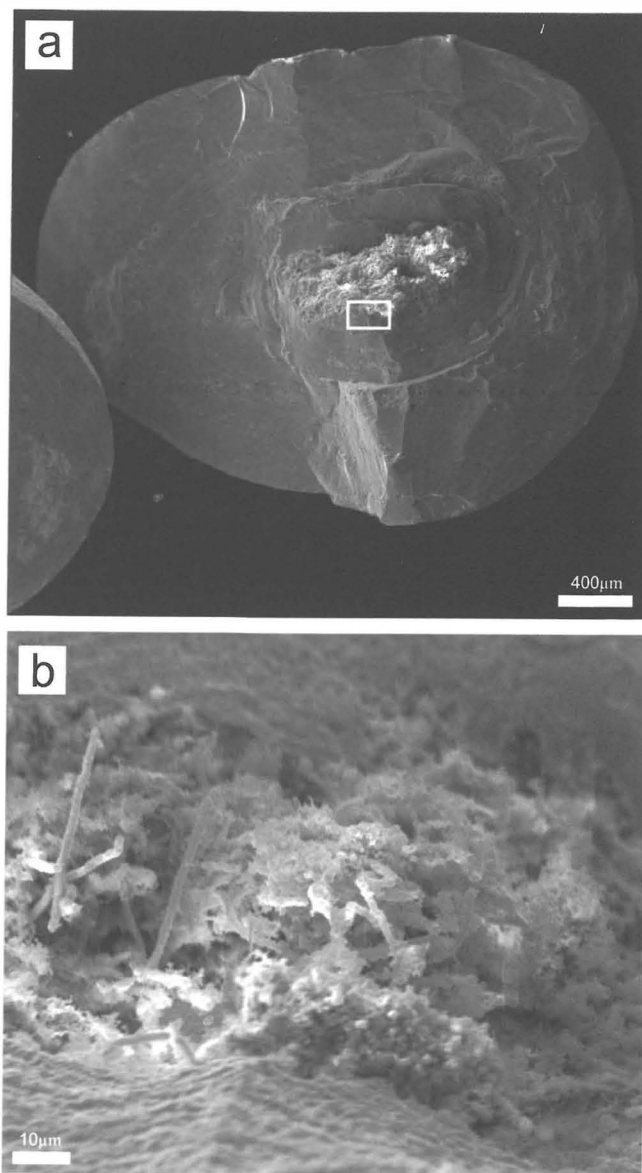


Figura 2: Imágenes de electrones secundarios del interior de un ooide simple de la costra ferruginosa (a) y de un detalle de su núcleo (b).

ta. El registro de paleokarsts asociados a esta discontinuidad en el sector oriental del Prebético Externo (Linares-Girela, 1976) es congruente con este posible origen subaéreo en un medio de llanura costera con suelos periódicamente inundados.

Esta discontinuidad estuvo relacionada con la actividad tectónica distensiva asociada a la etapa de rifting (García-Hernández et al., 1989). A consecuencia de esto, la plataforma carbonatada somera del Jurásico medio emergió y fue meteorizada. Posiblemente se formaron zonas de escaso drenaje en las llanuras costeras que junto a las condiciones climáticas adecuadas favorecieron el desarrollo de suelos saturados en agua. La sedimentación marina se reinició tras la inundación de la plataforma y erosión de la costra ferruginosa desarrollada en estas zonas pantanosas. Por ello se han identificado fragmentos de costra ferruginosa y ooides tipo A resedimentados en las calizas suprayacentes. Una segunda fase de génesis de ooides ferruginosos tipo B tendría lugar en medio marino aprovechando microambientes ricos en Fe_2O_3 procedente de los fragmentos de costra y ooides tipo A.

REFERENCIAS

- Cotter, E. (1992). Diagenetic alteration of chamositic clay minerals to ferric oxide in oolitic ironstone. *J. Sed. Petrol.* 62, 54-60.
- García-Hernández, M., López-Garrido, A.C., Martín-Algarra, A., Molina, J.M., Ruiz-Ortiz, P.A. y Vera, J.A. (1989). *Cuad. Geol. Ibérica* 13, 35-52.
- Fitzpatrick, R.W. y Schwertmann, U. (1982). *Geoderma*, 27, 335-347.
- Folk, R.L. y Milliken, K.L. (2000). Abstract with Programs, *Geol. Soc. Am.* 32, pp. 17.
- Guerrak, S. (1987). *Geol. Rundschau* 76, 903-922.
- Linares-Girela, L. (1976). *Bol. Geol. Min.* 37, 355-364.
- Mohr, E.C.J., Van Baren, F.A. y Van Schuylenborgh, J. (1972). *Tropical soils*. Mouton, The Hague. 481 pp.
- Préat, A., Mamet, B., de Ridder, C., Boulvain, F. y Gillan, D. (2000). *Sedimentary Geology* 137, 107-126.
- Schulze, D.G. (1984). *Clays Clay Mineral.* 32, 36-44.
- Taylor S.R. y McLennan S.M. (1985). *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford. 312 pp.