

Controles composicionales, diagenéticos y de microfábrica sobre las características de la roca madre jurásica del petróleo del Campo de Salam (Western Desert, Egipto)

Composition, diagenesis and microfabric of Jurassic oil source rocks, Salam oil field (Western Desert, Egypt)

R. Marfil (*), C. Dorronsoro (**), C. Rossi (*) y A. Permanyer (***)

(*) Dpt. de Petrología y Geoquímica. U.C.M. 28040 Madrid.

(**) Dpt. de Química Aplicada. V/EHU. 20080 San Sebastián.

(***) Dpt. de Geoquímica, Petrología i Prospecció Geològica. Unív. de Barcelona. 08071 Barcelona.

ABSTRACT

Petrographic, mineralogical (XRD), bulk geochemical (TEM, SEM and BSE) and petrophysical analysis of selected shales, siltstones, coaly shales and coals from Jurassic Khatatba Fm. and Cretaceous Alam El Bueib (AEB) Fm. in the Salam oil field (Western Desert, Egypt) reveal a similar whole mineralogical composition but with variable clay composition. This is composed of kaolinite and subordinated I-S mixed layers in the Khatatba Fm. being composed of kaolinite, illite, I-S mixed layers and chlorite in the AEB Fm.. This difference could have influenced on the type of HC generated as several authors have shown. Also the clay microfabric shows some difference between the more open structure of the flocculated continental kaolinite in the Khatatba Fm. and the oriented and more compacted marine clays (in both formations). The abundant silt quartz grains in the shales of the two formations have favoured the connected microporosity on the primary migration of HC to the interbedded sandstones. The high content in globular organic remains replaced by framboidal pyrite and bitumen and the amorphous organic ground mass of the Khatatba shales indicates that the best oil-source rock could be the organic shales instead of the carbonaceous shales in the Khatatba Fm.

Key Words: Mineralogy, diagenesis, microfabric, microporosity, source-rock, Salam field, Western Desert, Egypt.

*Geogaceta, 21 (1997), 159-162
ISSN: 0213683X*

Introducción

En el noroeste del Western Desert, Egipto, existen numerosos campos de petróleo incluyendo Meleiha, Umbarka, Khaldá y Salam (Fig. 1) que producen petróleos parafínicos ricos en ceras (Bagge y Keeley, 1994). Durante los años 80 se realizaron varios intentos para reconocer el origen de estos petróleos, pero sin resultados definitivos (Abu El Naga, 1984). Esta incertidumbre se debió, en parte, a que la única concentración importante de materia orgánica (m.o.) presente en la columna mesozoica-cenozoica se hallaba en los carbones jurásicos. Pero, al estar compuestos éstos por kerógeno húmico, se supuso que sólo producirían gas. Sin embargo, estudios geoquímicos posteriores han demostrado que estos carbones son verdaderamente la roca madre del petróleo (Bagge *et al.* 1988; Keeley *et al.* 1990). No obstante y según Bagge y Keeley, 1994, es muy difícil reco-

nocer mediante datos geoquímicos, si son en efecto los carbones la roca madre o lo son las pizarras carbonosas asociadas.

El presente trabajo pretende contribuir al conocimiento de los controles inorgánicos (mineralógicos, petrológicos y petrofísicos) que han determinado la formación y expulsión de hidrocarburos, a partir de carbones productores de petróleo o de sus lutitas y pizarras carbonosas asociadas en la roca madre jurásica. Su interés se debe a que, así como las características geoquímicas y de petrografía orgánica han sido objeto de numerosos estudios (Scott y Fleet, 1994), los aspectos de composición inorgánica y de la influencia de la diagénesis mineral, así como de la microfábrica de las arcillas, no son suficientemente conocidos. Pensamos, como los autores anteriormente citados que estos factores pudieran estar asimismo, involucrados en la generación de hidrocarburos. También, se estudian estas propieda-

des mineralógicas y petroestructurales en las lutitas y pizarras intercaladas con la roca almacén cretácica suprayacente. Estas lutitas y pizarras, por sus características orgánicas e inorgánicas podrían ser asimismo roca madre del petróleo de los almacenes intercalados y suprayacentes.

Litoestratigrafía y ambiente de sedimentación

Los carbones jurásicos en Egipto se restringen al área norte de 29°30'N. Se asocian con areniscas y en menor proporción con lutitas aleuríticas y lutitas orgánicas. Esta asociación de litotipos está presente en el llamado miembro Safa de la Formación Khatatba, el cual es de edad Bathoniense (Keeley *et al.* 1990). La Fm. Khatatba tiene a su vez una edad comprendida entre el Jurásico medio e inferior. La parte superior está formada por pizarras, areniscas y algunos carbonatos, en tránsito por el noreste a

Muestra	Profundidad (m)	Unidad	Litología	COT	CUAR	F-K	PLAG	D-A	SIDE	CALC	PIRIT+MA	M. ARC	PIR	OTROS	OTROS
B085	3373,83	1B	ARENISCA	0,33	92	-	-	-	5	*	-	*	-	-	* S. Mn.
B086	3381,15	1B	P.AR.CAR.	5,23	15	*	-	-	*	-	**	84	-	-	-
B042	3383,28	1B	PIZARRA	3,15	5	1	1	-	1	-	10	79	-	BA	* OP-CT
B087	3401,42	2B	ARE. CARBO.	3,66	98	-	-	-	-	-	*	*	-	-	-
B088	3441,34	2C	ARENISCA	0,28	92	4	-	-	-	*	*	1	*	-	-
B089	3442,11	2C	PIZARRA	1,68	25	-	-	-	60	-	*	5	**	-	-
B043	3445,15	2C	PIZARRA AR.	1,06	5	1	-	-	6	-	2	86	-	* AN	-
B090	3475,63	2D	ARENISCA	0,23	85	-	-	*	-	1	-	10	-	-	* YE
B091	3478,53	2D	ARENISCA	0,54	90	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-
B092	3480,21	2E	CARBON	68,01	5	-	-	-	-	-	*	90	* GOE	* MAG	* AZ
B093	3519,68	2E	ARENISCA	0,3	98	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-
B094	3520,74	2E	CAR. ARENAC.	2,86	95	-	-	-	-	-	-	5	-	-	* SMIC
B095	3523,18	2E	ARENISCA	0,34	90	-	-	-	-	-	*	7	2	-	-
B096	3525,32	2E	ARENISCA	0,24	94	-	-	-	-	1	-	2	*	-	-
B097	3529,28	2E	ARENISCA	0,16	90	-	-	-	-	-	-	8	*	-	-
B098	3530,8	2E	P. CARBONOSA	5,51	93	-	-	-	-	-	-	98	-	-	-
B099	3534,61	2E	ARE. CARBO.	0,44	93	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-
B0100	3536,29	2E	ARENISCA	0,39	90	-	-	-	-	-	*	7	*	-	OP-CT

Tabla I.- Composición mineralógica de la Fm. Khatatba
Table I.- Mineralogical composition of the Khatatba Fm.

Leyenda para las tablas 1, 2, 3, 4. COT= Carbono orgánico total, CUAR= Cuarzo, F-K= Feldespato potásico, PLAG= Plagioclasa, D-A= Dolomita y Ankerita, SIDE= Siderita, CALC= Calcita, PIRIT+MA= Pirita y Marcasita, PIR= Pirrotina, GOE= Goetita, BA= Baritina, AN= Anhidrita, MAG= Magnetita, S. Mn.= Alabandita, OP-CT= Opalo, CT, YE= Yeso, AZ= Azufre, SMIC= Smictita, M. ARC= Contenido total en arcillas, KAOL= Caolinita, SMEC= Esmectita, PALIG= Paligorskita, MIXL= Interstratificados I-E.

Simbolos en los cuadros: Número= Tanto por ciento mineral en la muestra, * Presente, ** Abundante, *** Muy abundante.

Muestra	Profundidad (m)	Unidad	Litología	COT	CUAR	F-K	PLAG	D-A	SIDE	PIRIT+MA	PIR	HALITA	M. ARC	OTROS	OTROS
B036	2429,26	1	PIZARRA AR.	0,46	9	1	-	8	7	*	-	*	75	-	-
B063	2430,78	1	LUTITA AR.	1,02	28	-	-	2	7	21	-	*	42	-	-
B037	2436,27	1	PIZARRA AR.	0,31	7	1	1	-	-	6	*	*	84	1/AN	*/SMI
B039	2608,17	3C	PIZARRA AR.	1,54	8	1	1	-	3	-	*	-	87	*/AN	*/SMI
B077	2642,92	3D	LUTITA AL.	3,46	51	2	-	-	-	*	**	-	44	*/MAG	-

Tabla II.- Composición mineralógica de las lutitas y pizarras de la Fm. AEB.
Table II.- Mineralogical composition of the siltstones and shales of the AEB Fm.

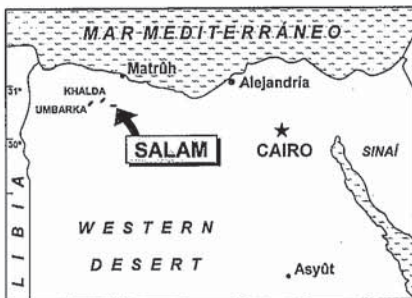


Fig. 1.- Localización del Campo de Salam en el Western Desert (Egipto).

Fig. 1.- Location of the Salam oil Field in the Egypt's Western Desert.

las calizas de la Fm. Masajid. La parte inferior, en el Sur y Oeste, está formada por pizarras carbonosas, carbones, pizarras marinas, lutitas aleuríticas y areniscas de grano fino (miembro Safa).

Las calizas de Masajid forman un sello regional al techo de la Fm. Khatatba que impide la migración vertical. Asimismo, la discordancia jurásica limita el techo de la caliza Masajid. El espesor de la Fm. Khatatba alcanza 240 m en la subcuena de Khalda, mientras que en el área de Salam hacia el Este, el espesor no llega a 150 m.

La sedimentación del miembro Safa estuvo condicionada por una importante actividad tectónica sinsedimentaria, depositándose en una extensa llanura costera, caracte-

terizada por un fuerte aporte de sedimentos, donde las frecuentes variaciones relativas del nivel del mar provocaron la alternancia en la vertical de facies de playa y facies pantanosas (Bagge y Keeley, 1994). Los carbones depositados en este ambiente costero varían entre tipo II y III, capaces de generar petróleo y gas (Bagge y Keeley, 1994). Para Thompson *et al.* (1994) los carbones del miembro Safa representan concentraciones orgánicas re trabajadas desde una zona pantanosa con condiciones salobres, siendo también posible que existieran condiciones lagoonales, favorables para el desarrollo de algas.

La migración desde la roca madre a los reservorios más someros se realizó esencialmente en vertical, a través de planos de falla (Nashaat, 1994). El pico de máxima generación tuvo lugar entre 80 y 55 m.a. mientras que la expulsión y migración ocurrió 20 m.a. más tarde (Nashaat, 1994). Según estos autores, los períodos de estructuración responsables de la formación de las trampas tuvieron lugar durante los períodos Paleoceno/Eoceno y durante el Oligoceno.

Se han maestreado 18 niveles de la Fm. Khatatba en un pozo del campo de Salam (desde los 3.373,83 m de profundidad hasta los 3.536,29 m) representativos de las facies ricas en m.o. En este pozo, la Fm. Khatatba está formada por alternancias de areniscas, lutitas aleuríticas, pizarras carbonosas y delgadas intercalaciones de

MUESTRA	M. ARC.	KAOL	ILITA	SMEC	PALIG	MIXL
B085	*	*	-	-	-	-
B086	84	64	-	*	-	20
B042	79	57	-	1	-	21
B087	*	*	-	-	-	-
B088	1	*	-	-	-	-
B089	*	*	-	-	-	-
B043	86	61	-	-	-	25
B090	6	**	-	*	-	-
B091	-	*	-	-	-	-
B092	90	***	-	*	*	-
B093	-	-	-	-	-	-
B094	5	**	-	*	-	-
B095	7	*	-	-	-	-
B096	-	*	-	-	-	-
B097	8	*	-	*	-	*
B098	98	98	-	-	-	-
B099	7	*	-	-	-	-
B0100	7	*	-	-	-	-

Tabla III.- Datos semicuantitativos de la composición de los minerales de arcilla de la Fm. Khatatba.

Table III.- Semiquantitative data of the clay minerals composition of the Khatatba Fm.

MUESTRA	M. ARC.	KAOL	MIXL	SMEC	PALIG	CLOR
B036	75	33	37	-	-	5
B063	42	**	*	*	-	*
B037	84	41	42	-	-	1
B039	87	40	44	-	-	3
B077	44	***	-	-	-	-

Tabla IV.- Datos semicuantitativos de la composición de los minerales de arcilla de la Fm. AEB.

Table IV.- Semiquantitative data of the clay minerals composition of the AEB Fm.

carbón, con claro predominio de las areniscas (Tab. 1). En el mismo sondeo también se han maestreado 5 niveles de lutitas y pizarras con m.o. en la Fm. AEB (Cretácico).

Composición mineralógica

Los datos obtenidos a partir del análisis mediante rayos X figuran en las Tablas 1 y 2. La mineralogía global es muy semejante, tanto en componentes mayoritarios como en los minoritarios. Los carbonatos de Fe y los sulfuros, cuando han podido cuantificarse, alcanzaron valores promedio de 10% en su conjunto. La presencia de feldespatos, sobre todo de plagioclasa, tiende a desaparecer en la Fm. Khatatba con respecto a la Fm. AEB.

La caolinita (Tab. 3) es el mineral único en la mayoría de las lutitas arcillosas y pizarras carbonosas de la Fm. Khatatba. El índice de cristalinidad de la caolinita (IC) (Eckhardt, 1965) varía entre 0,02 y 0,03, mientras que las caolinitas de la Fm. AEB tienen valores de IC más altos, de 0,03 a 0,117.

En las lutitas aleuríticas de ambas Fms. la mineralogía de arcillas está formada por caolinita, illita y un interestratificado irregular I-E entre 10,55C y 14,04C-14,47C, reconociéndose en algún difractograma pequeñas cantidades de clorita (Tab. 4). Los microanálisis de los interestratificados I-E y de las illitas han puesto de manifiesto su riqueza en K₂O (de 10,68 a 7,25%), la escasez de Na₂O (de 0 a 4,48%) y de MgO (de 0 a 6,49%). El valor de FeO es constante (entre 1,50 y 2,20%). Abundan agregados globulares de hasta 50µm de diámetro (Fig. 2) compuestos por pirita framboidal y titanomagnetita. Su origen podría ser debido a piritización de microflora (Javor y MountJoy), burbujas gaseosas o reemplazamiento de organismos unicelulares (Rickard, 1970).

Los carbones de la Fm. Khatatba aparecen en niveles muy delgados, decimétricos, o a veces milimétricos, intercalados con las lutitas o pizarras carbonosas. La reflectividad de la vitrinita (Ro) oscila entre 0,71 y 0,77. Los de la Fm. AEB tienen valores de Ro. más bajos, comprendidos entre 0,58 y 0,6. Estos valores indican etapa de generación y migración para los carbones de Khatatba y comienzo de la generación para la m.o. de la Fm. AEB. También los datos de cristalinidad de la caolinita indican una diferencia de temperaturas diagenéticas: 88°-83°C para la Fm. Khatatba y 73°C-83°C para la Fm. AEB que coincidirían con el grado de madurez determinado para las dos formaciones.

Microfábrica

Salvo en los niveles de pizarras

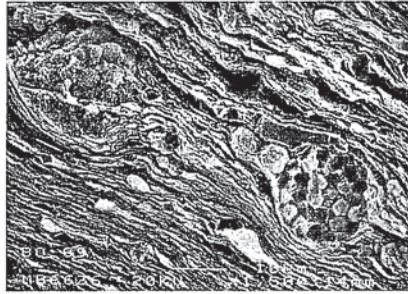


Fig. 2.- Pizarra orgánica de la Fm. Khatatba mostrando orientación preferente de las láminas de arcilla y la presencia de abundantes formas globulares de m.o. reemplazados por pirita y bitumen. Este es también visible rodeando los framboides.

Fig. 2.- Organic black shale from Khatatba Fm. showing dominant preferred orientation of platy material. Several framboid clusters have crystallized within the cavities. Some bitumen is adapted around the framboids.

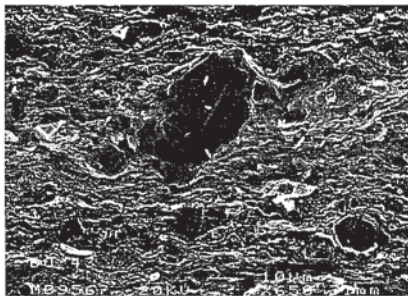


Fig. 3.- Microfábrica con orientación preferente de las arcillas, en las pizarras de la Fm. Khatatba. Se observan numerosos granos de cuarzo aleurítico, sobre los que se adaptan las láminas de arcilla.

Fig. 3.- Well developed preferred orientation microfabric in the Khatatba Fm. shales. Notice how clay flakes wrap around the silt quartz grains.

carbonosas de la Fm. Khatatba, en el resto de las facies la microfábrica de las arcillas presenta orientación preferente con las láminas finamente rizadas, formando planos paralelos por la existencia de una fuerte compactación mecánica. Las láminas de arcilla se adaptan a los granos de cuarzo y escasos feldespatos de tamaño aleurítico (Fig. 3). Los bordes de las láminas de arcilla se conservan con morfología rizada (Fig. 3) recordando la posible esmectita original. En las arcillas de los niveles más ricos en carbón la caolinita muestra una microfábrica tipo «face to edge» (Bennett *et al.*, 1991), de floculación en agua dulce. En todas las lutitas la siderita forma micronódulos, esferulitos de 20µm de diámetro ó reemplaza fragmentos orgánicos (Fig. 4). Los

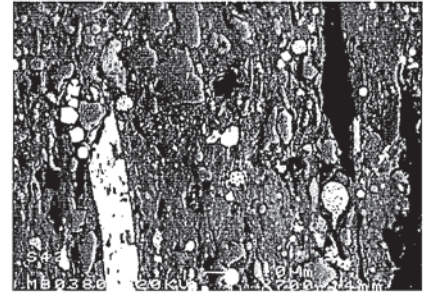


Fig. 4.- Microfábrica de una pizarra orgánica de la Fm. Khatatba. Se observan numerosos granos de cuarzo aleurítico, restos orgánicos piritizados y framboides de pirita. La matriz está formada por una mezcla de m.o. filamentososa y otra masa algal amorfa, donde existen segregaciones de bitumen.

Fig. 4.- Microfabric of a dark organic-clay rich layer. Some silt size quartz grains are present. Pyrite framboids and piritized organic fragments occur. The ground mass shows "organic hash" fabric. The black material is solid bitumen.

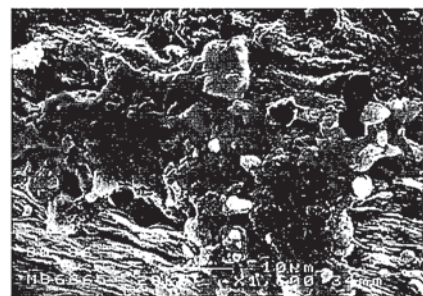


Fig. 5.- Fragmento húmico en una pizarra carbonosa de la Fm. Khatatba donde se aprecia, como una masa de bacterias ha corroído la estructura orgánica.

Fig. 5.- A humic fragment in a coal shale from Khatatba Fm. offers evidence of corrosion by bacterial groups.

microanálisis de los restos sideritizados registran altos contenidos en Zn y Cu, los cuales son también fijados por la m.o. (Pratt y Davis, 1992).

El bitumen sólido, residuo de la migración de los HC, forma capas o nivelillos discontinuos de más de 10µm de espesor (Fig. 2), rellena huecos globulares móldicos de posible microflora (Fig. 2).

El estudio mediante BSE ha revelado la orientación de la materia orgánica y su pequeño tamaño, flotando en la matriz arcillosa. Su morfología es de filamentos o bastoncillos, pero también hay una fracción de m.o. amorfa posiblemente algal (Fig. 4).

La microfábrica de los niveles de carbón es masiva, sin orientación alguna y con fractura concoidea o poliédrica. En

detalle muestran escasos restos de plantas superiores estructuradas de 50 a 100µm de longitud, aunque heterométricos e irregulares. Estos restos aparecen fuertemente corroídos por posibles bacterias (Fig. 5) que pulverizan las zonas afectadas. Rellenando las estructuras orgánicas hay depósitos abundantes de agregados de cuarzo y caolinita. Los microanálisis realizados en este carbón, revelan presencia de S, Fe, Ti, Cl y U, no habiéndose detectado carbonatos. La cantidad de azufre piritico es muy bajo en relación con el de las lutitas y pizarras intercaladas.

Discusión de los resultados

Como es sabido (Espitalié *et al.*, 1980, Tannenbaum *et al.*, 1986) las propiedades catalíticas y adsorbentes de las arcillas afectan la migración así como el tipo y cantidades de petróleo acumulado. La composición de las arcillas de las lutitas y pizarras de la Fm. AEB está formada por una mezcla de caolinita, illita, minerales interestratificados I-E y clorita, existiendo pequeñísimas cantidades de illita fibrosa autigénica. Con estas características, solo los niveles más ricos en arcilla de esta formación, debido a su composición y microfábrica, podrían haber influido sobre el tipo de HC generado. Además muestran un porcentaje importante (10-20%) de clastos de cuarzo de tamaño aleurítico dentro de las pizarras.

Los minerales de arcilla de la Fm. Khatatba están formados, casi en su totalidad, por caolinita y sólo en los niveles marinos de lutitas aleuríticas existen illita y los interestratificados I-E, pudiendo influir sólo en este caso sobre el tipo de petróleo generado. Al igual que en la Fm. AEB, hay un porcentaje importante de granos de cuarzo y micas de tamaño aleurítico que podrían haber favorecido la expulsión del petróleo a los niveles de lutitas aleuríticas y areniscas. Bordenave (1993), considera que la presencia de estos clastos, permitiría la conducción de los HC fuera de la roca madre.

Las condiciones geoquímicas de sedimentación y diagénesis de pizarras y lutitas en ambas formaciones entre reductoras y subóxicas, lo que provocó la formación de abundantísimos framboides de piritita (Fisher y Hudson, 1987) y la de grandes cristales de piritita-marcasita que serían más indicativos del ambiente reductor. Los esferulitos y cementos de siderita también son característicos de la diagénesis temprana, relacionados con la metanogénesis, probablemente con influencia de agua dulce. La mayor abundancia de caolinita y ópalo CT en la Fm. Khatatba, denota claramente

su mayor carácter continental con respecto a la Fm. AEB, donde la presencia de minerales de arcilla interestratificados, clorita y la neoformación de algún cristal de albita denotarían un diagénesis en ambiente marino.

La observación al MEB de los carbones de la Fm. Khatatba ha confirmado la presencia de una fuerte degradación microbiana (Fig. 5) que ya Thompson *et al.*, 1994, habían supuesto. Para estos autores, una transgresión marina inundaría los ambientes pantanosos de formación de los carbones, elevando los niveles de sulfatos y aumentando la degradación mediante bacterias reductoras de aquellos. El resultado sería la generación de una biomasa microbiana, a partir de plantas superiores. Los petróleos derivados serían para Thompson *et al.*, 1994, mezcla de m.o. húmica y materia algal no marina.

El estudio de la microfábrica ha puesto de manifiesto que a pesar del pequeño valor del «void ratio» existe una microred de poros interconectados que actualmente están, en parte, rellenos de bitumen. O'Brien *et al.*, 1994 son partidarios de que los niveles de granos aleuríticos y arenosos intercalados, actúan de conducciones de distribución para facilitar la migración desde la roca madre, como red principal de primera migración, hasta llegar a las fracturas verticales por donde se produciría una segunda migración.

En relación con esta migración, Kholeif *et al.*, 1986, han considerado que todo el petróleo de los reservorios del Cenomaniense inferior, del Aptiense y del Jurásico se generó posiblemente en la Fm. Khatatba. La migración, suponen que se realizó a través de fallas verticales de corto rango. Los estudios de correlación de crudos han mostrado que aunque puede existir roca madre madura en el Cretácico Inferior de la Fm. AEB, todos los crudos migraron desde la Fm. Khatatba.

Los datos de que disponemos hasta la actualidad también indicarían que las lutitas arcillosas y pizarras orgánicas de dicha formación, contienen un tipo de materia orgánica globular, posiblemente algal, mucho más abundante que los restos húmicos. Esta materia orgánica globular es escasa en la Fm. AEB. Asimismo, parece deducirse que la primera migración en la Fm. Khatatba ha sido facilitada por la microfábrica especial de estas pizarras y lutitas, ricas en microporosidad conectada y sobre todo, por la presencia de un porcentaje importante de granos aleuríticos de cuarzo que impiden la formación de una microfábrica más densa.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto DGICYT PB 92-0724. Los autores agradecen a Repsol Exploración por facilitarnos las muestras y datos geológicos.

Referencias

- Abu El Naga, M. (1984): *Proc. of the 7th E.G.P.C. Exploration Seminar*. Cairo.
- Bagge M.A., y Keeley M.L. (1994): In Scott, A.C. y Fleet, A.J. (eds.) *Geol. Soc. Spec. Publ.* 77: 183-200.
- Bagge, M.A., Harding, R., El Azhary, T. y Said, M. (1988): *Proc. of the 9th E.G.P.C. Exploration and Production Seminar*, Cairo.
- Bennett, R.H., Bryant, W.R. y Hulbert, M.H. (1991): In Bennett, R.H., Bryant, W.R. y Hulbert, M.H. (eds.) New York, Springer-Verlag, 5-32.
- Bordenave, M.L. (1993): (Ed.) *Applied Petroleum Geochemistry*. Editions Technip. Paris. 524 pp.
- Eckhardt, F.J. (1965): *Proc. Int. Clay Conf.*, Stockholm, 1963, 2: 137-145.
- Espitalié, J., Madec, M. y Tissot, (1980): *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 64: 59-66.
- Fisher, I. y Hudson, J.D. (1987): In Brooks, J. y Fleet, A.J. (eds.) *Marine Petroleum Source rocks*. *Geol. Soc. Spec. Publ.* 26: 69-98.
- Javor, B.J. y Mountjoy E.W. (1976): *Geology*, 4: 111-119.
- Keeley, M.L., Dungworth, G., Flويد, C.S., Forbes, G.A., King, C., McGarva, R.M. y Swaw, D. (1990): *Jour. Petrol. Geol.*, 13: 397-420.
- Kholeif, W., Work, J.G. y Sanad, S. (1986): *Proc. of the 8th E.G.P.C. Exploration Conference*, Cairo.
- Nashaat, M. (1994): *Proc. of the 19 Egyptian General Petroleum Corporation, the Exploration Conference*. Cairo, 19. Egyptian General Petroleum Corporation, Cairo.
- O'Brien, N.R., Slatt, R.M. y Senftie, J. (1994): *Fuel*, 73: 1518-1522.
- Pratt, L.M. y Davis, C.L. (1992): In Pratt, L.M., Comer, J.B. y Brassel, S.C. (eds.) *SEPM. Short Course*, 27: 1-27.
- Rickard, D.T. (1970): *Lithos* 3: 269-293.
- Scott, A.C. y Fleet, A.J. (1994): In Scott, A.C. y Fleet, A.J. (eds.) *Geol. Soc. Spec. Publ.* 77: 201-205.
- Tannenbaum, E., Huizinga, B.J. y Kaplan, I.R. (1986): *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 70: 1156-1165.
- Thompson, S., Cooper, B.S. y Barnard P.C. (1994): In Scott, A.C. y Fleet, A.J. (eds.): *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 77: 119-137.