

Estudio de las rocas madre del Albiense medio-superior de la región de Bir M'Cherga, Tunes: interacción de la diagénesis orgánica-inorgánica con la migración primaria de hidrocarburos.

Organic/inorganic diagenesis interactions with the oil migration in the Middle-Upper Albian source rocks of the Bir M'Cherga region, Tunes.

A. Permanyer (*) y R. Marfil (**)

(*) Dpto. de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica. Universidad de Barcelona. 08071 Barcelona.

(**) Dpto. de Petrología y Geoquímica. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

ABSTRACT

Geochemical, mineralogical and petrophysical examination of the source rocks of the Middle-Upper Albian marlstones and chalks from the Bir M'Cherga region (Tunisia) provide insights into factors which control the organic and inorganic migration of hydrocarbons. Differences in the quantity and composition of clay minerals, type of organic matter, microfabric and porosity observed between chalks and marlstones, reflect the different behaviour and intensity of the diagenetic processes: A) cementation, concretion growth, dissolution and mechanical compaction, in the marlstones and B) overgrowth cements, recrystallization and chemical compaction, in the chalks. In these latter the microporosity has been reduced to very low levels, hindering the possibility of an additional avenue of early expulsion of hydrocarbons.

Key words: source rocks, organic matter, organic geochemistry, diagenesis, microfabric, porosity.

Geogaceta, 16 (1994), 144-147

ISSN: 0213683X

Introducción

Los procesos de migración primaria o expulsión de hidrocarburos de la roca madre (HC) están influenciados no solamente por el estadio diagenético de maduración orgánica de la roca madre, sino también por la composición mineralógica y las características petrofísicas de las mismas: porosidad, permeabilidad, diagénesis,... En esta línea, los trabajos recientes (Marfil *et al.*, 1993; Permanyer *et al.*, 1993; Dorronsoro *et al.*, 1993) han puesto de manifiesto la clara interrelación existente entre los constituyentes orgánicos e inorgánicos en la roca madre, sus propiedades físicas y el grado diagenético alcanzado.

El presente trabajo intenta poner de relieve cual es la intervención de los parámetros antes mencionados en un ejemplo de rocas madre de origen marino en fase diagenética de ventana del petróleo. Las muestras de edad Albiense medio-superior, proceden del corte Jebel Ez Zebbas Bir El Bey (ZBB) (Talbi, 1991), en la región de Bir M'Cherga, situada en el Tunes septentrional, a unos 40 km al SW de la ciudad de Tunes.

En esta zona, durante el Cretácico medio se produce la sedimentación arcilloso-carbonatada rica en materia orgánica (Formación Fahdene) en un ambiente anóxico generalizado, controlado por una tectónica regional que compartimenta la cuenca en bloques basculados y altos fondos (Talbi & Belayouni, 1987; Talbi *et al.*, 1989,1990; Ben Ferjani *et al.*, 1990). En este contexto tectonosedimentario de fondos irregulares, la materia orgánica producida en la zona fótica, se veía especialmente favorecida por el desarrollo de condiciones anóxicas en estos fondos, permitiendo la sedimentación y preservación de la misma (Talbi, 1991).

Composición orgánica

Un conjunto de ocho muestras pertenecientes al transecto ZBB (Talbi, 1991) han sido estudiadas al microscopio óptico, con luz blanca reflejada y luz azul-violeta para la observación de la fluorescencia. En luz blanca reflejada no se ha detectado la presencia de vitrinita, ni de elementos orgánicos que permitieran esta atribución. Solamente se han identificado pequeños restos de

inertinita así como bitúmenes sólidos con reflectancia de 0.2% de media. En luz azul-violeta, las muestras presentan una matriz organomineral débilmente fluorescente en el verde-amarillento, con escasa presencia de elementos figurados fluorescentes en amarillo intenso. Entre estos últimos se han reconocido algunos filamentos algales y más raramente dinoflagelados. La intensa interrelación existente entre los minerales arcillosos y los elementos orgánicos, principalmente filamentos algales puestos de manifiesto al microscopio electrónico de barrido (MEB), es probablemente la causa de la poca evidencia de elementos fluorescentes claramente identificables. La débil intensidad de fluorescencia de la matriz es debida, sin duda, a la cantidad poco importante de materia orgánica no figurada asociada a la matriz arcillosa, en concordancia con los valores relativamente bajos del carbono orgánico (Tabla 1).

Los resultados obtenidos por pirólisis rock-eval muestran el carácter maduro, en la ventana del petróleo (Fig.1), de estos materiales, con T_{max} entre 435° y 444° C. El contenido orgánico varía de 0.85% a 3.42% de carbono orgánico,

Muestra	S1	S2	IP	Tmax °C	COT %	IH	IO	MOE ppm	SAT %	ARO %	NSO %	Pr/Ph	Pr/ n-C17	Ph/ n-C18
T-1	0.00	0.12	0.00	439	0.25	48	56	-	-	-	-	-	-	-
T-2	0.73	11.24	0.06	435	2.85	394	32	3192	35.15	24.81	40.04	1.89	1.22	0.91
T-3	0.61	4.14	0.13	437	1.35	306	28	1992	49.79	18.17	32.34	2.10	1.12	0.84
T-4	0.34	6.16	0.05	438	1.99	309	68	1394	44.97	7.61	47.41	1.88	0.72	0.54
T-5	0.05	1.24	0.04	444	0.85	145	135	244	43.44	16.39	40.17	1.10	0.45	0.43
T-6	0.14	1.79	0.07	444	1.06	168	70	490	46.93	10.20	42.85	2.62	0.72	0.38
T-7	0.34	2.54	0.12	439	1.02	249	44	1796	47.22	17.15	35.63	0.90	2.03	2.18
T-8	0.92	13.26	0.06	435	3.42	386	39	638	39.18	5.33	55.49	1.68	0.90	0.63

Tabla 1.-Resultados de la pirólisis rock-eval y datos composicionales y cromatográficos de los hidrocarburos extraíbles.

Table 1.- Results of rock-eval pyrolysis and compositional data of extracted hydrocarbons and chromatographic parameters.

mientras que el potencial genético (S2) alcanza los 13.26 mg HC/g de roca en la muestra más rica. El conjunto de parámetros analizados se reflejan en la Tabla 1.

Por otra parte se observa una clara disminución de los índices de hidrógeno (IH) y del potencial genético (S2) con el aumento de la Tmax, lo que está de acuerdo con la evolución diagenética de las muestras, significando además que estos sedimentos ya han expulsado una parte de sus hidrocarburos potenciales.

El estudio de los hidrocarburos libres se ha realizado por extracción con solventes orgánicos, fraccionamiento en HC saturados, HC aromáticos y compuestos pesados (NSO), cuantificación de dichas fracciones (Tabla 1), y análisis por cromatografía de gases de la fracción de HC saturados.

Se observa que la materia orgánica extraíble (MOE o bitumen) contiene un porcentaje de HC saturados más elevado que de aromáticos. Asimismo los com-

puestos polares en general no sobrepasan el 50%. La relación pristano (Pr)/fitano (Ph) es para casi todas las muestras superior a 1 y en la mayoría de los casos cercana a 2, significando un grado de anoxicidad inferior al que cabría esperar. Por otro lado, en los perfiles cromatográficos no se constatan procesos de biodegradación, a pesar de que las relaciones Pr/n-C17 y Ph/n-C18 muestran valores muy elevados. Los parámetros anteriores disminuyen de valor en función del grado de madurez, lo que está de acuerdo con una evolución diagenética normal.

La fracción de HC saturados muestra unos perfiles cromatográficos (Fig. 2) en los que destacan la predominancia del n-C17 y una alta concentración de los isoprenoides pristano y fitano, denotando el origen marino de la materia orgánica original. En algunas muestras se observa un ligero dominio de los alcanos n-C21 a n-C29, sobre los alcanos con 22, 24, 26 y 28 átomos de carbono respectivamente. Este hecho se interpreta como el resultado de un cierto aporte de materia orgánica de origen continental, puesto también de manifiesto por la presencia de inertinitas. Sin embargo, el ambiente de sedimentación claramente pelágico, la dominancia de n-C17, el alto contenido en pristano, la ausencia de vitrinita u otros elementos figurados de origen continental y la distribución global del perfil cromatográfico, son características que en su conjunto confirman el origen marino de la materia orgánica.

Composición mineralógica y microfábrica

Existe toda una gradación entre calizas bastante puras y margas (Tabla 2). La mineralogía de los carbonatos es dominante de calcita y en pequeñas proporciones aparece siderita (Fig.3 A) y

dolomita. El cuarzo está presente como cemento, silificando organismos (Fig.3 B) y rellenando venas. La plagioclase es de composición albitica (analizada por EDAX) y se concentra en los tramos margosos. Su composición, sus relaciones texturales con otros minerales y su hábito euhedral, indican que es autigénica.

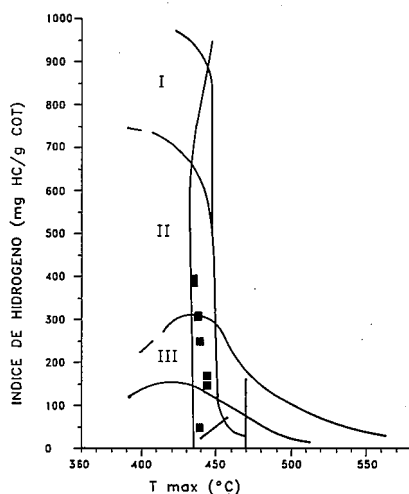
Otros minerales presentes son la rodocrosita, birnesita, apatito, vivianita, cristobalita, pirita, ferrihidrita, jarosita (Fig.3 C) y yeso. Los primeros diagenéticos tempranos y los tres últimos son un producto de alteración telodiagenética de pirita y siderita.

Respecto a los minerales de arcilla, las muestras margosas son bastante homogéneas y están formadas por una variedad de clorita ferrosa, la chamosita (clorita trioctaédrica a 14Å) (Fig.3 D), junto con illita e interstratificados illita-smectita, posiblemente glauconita degradada, caracterizada por una amplia reflexión entre 10 y 11Å (Chamley, 1989). En menor proporción existen otros interstratificados de tipo clorita-vermiculita (Cl-V), pero la asociación de todos estos minerales impide su clara cuantificación (Tabla 2). En algunas margas se ha encontrado berthierina, una serpentina trioctaédrica a 7Å (Chamley, 1989), difícil de separar de la chamosita cuando aparecen juntas. La asociación de minerales encontrada nos indica condiciones deposicionales y eodiagenéticas fluctuantes entre óxicas, propias de océano abierto, y marinas restringidas, con ambiente postóxico, caracterizado por la neof ormación de glauconita, siderita, rodocrosita y vivianita. Temporalmente las condiciones fueron anóxicas, formándose la chamosita, reemplazamiento más generalizado de calcita por siderita y la pirita. En estos períodos, el aporte muy bajo de terrígenos, permite el desarrollo de micronódulos chamosíticos (Van Houten y Purucker, 1984). Según estos autores, la chamosita procedería de transformaciones tempranas de minerales ricos en Al como la berthierina. Este mineral a su vez se forma por transformaciones diagenéticas de caolinita detrítica (Bhattacharyya, 1983). La composición de la fracción filossilicática estudiada parece indicar que ambas transformaciones ocurren, al coexistir chamosita con restos de berthierina.

Se han encontrado dos tipos de microfábrica pero existiendo toda una gradación entre ella: a) En las margas (Fig.3) la disposición de las arcillas es al

Fig. 1.— Diagrama IH/Tmax para las muestras estudiadas

Fig. 1.— Hydrogen Index versus Tmax diagram.



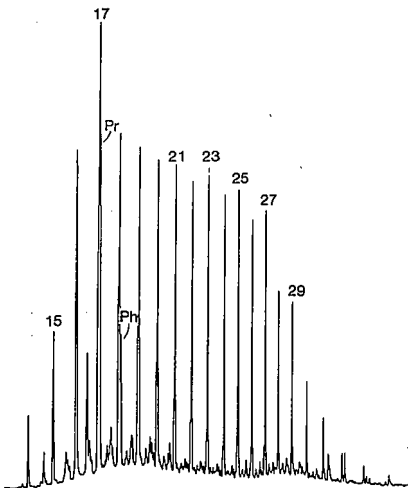


Fig. 2.— Perfil cromatográfico de la fracción de hidrocarburos saturados de la muestra más evolucionada (T-6). Las cifras indican el número de átomos de carbono de los n-alcenos. Pr = pristane, Ph = fitano.

Fig. 2.— Gas chromatography profile of saturate fraction of the more mature studied sample (T-6). Label indicates the carbon number of n-alkanes. Pr = pristane, Ph = phytane.

azar, con gran concentración de flóculos (Fig.3 D) y micrónodulos arcillosos y/o micríticos. La matriz está orientada y formada por filamentos y masas de algas amorfas («hash» orgánico) (Fig.3 A); b) En las calizas («chalks») con frecuentes cocosferas, donde flotan fragmentos de foraminíferos planctónicos (T-2, T-3 y T-4) se observa (ER) la presencia de una matriz muy densa, también formada por filamentos algales y cuerpos aplastados amorfos, de tipo «hash» orgánico. Esta fábrica además de estar afectada por cementos, reemplazamientos de calcita, siderita, cuarzo, albita y piritita, muestra el efecto de otros procesos diagenéticos tales como disolución por presión (compactación química) y recristalización en cristales angulosos, de tipo «equant» intercreciendo (Fig.3 F). En cambio en el tipo a) de las margas, es la compactación mecánica la que ha provocado la reorientación de las partículas y flóculos de arcilla alrededor de las concreciones orgánicas, piríticas y glauconíticas, borrando en parte la disposición al azar de la fábrica (Fig.3 F).

Estudio de la porosidad

Los valores de porosidad total más elevados (Tabla 3) pertenecen a las mar-

Muestra	CUARZO	CALCITA	DOLOMITA	SIDERITA	ALBITA	MINER ARCILLA	OTROS MINERALES PRESENTES	MINERALES ARCILLA (A.O.)			
								ILITA	INTERET. I.E.	CLORITA CHAMOSITA	INTER CL-V
T-1	20.24	13.60	1.68	6.40	6.08	52.0	YESO, BIERNESITA CRISTOBALITA PIRITA, GLAUCONITA		***	***	*
T-2	7.60	68.90	-	8.70	-	14.7	RODOCROSITA, APATITO, FERRIHIDRITA NAHACOLITA, PIRITA	**		**	**
T-3	11.40	74.60	-	-	-	13.90	RODOCROSITA, BERTHIERINA, JAROSITA FOSFATOS		*		*
T-4	4.04	83.02	-	2.90	0.66	10.04	RODOCROSITA, BIERNESITA, PIRITA, FERRIHIDRITA		*	**	**
T-6	5.04	66.93	*	*	-	27.88	BIERNESITA CRISTOBALITA	*	**	***	**
T-7	8.65	67.02	-	-	1.01	23.32	RODOCROSITA, BIERNESITA, PIRITA, CRISTOBALITA, GLAUCONITA		*	***	**
T-8	9.40	69.36	-	-	0.40	20.84	RODOCROSITA, BIERNESITA, GLAUCONITA			**	*

Tabla II.- Composición mineralógica

Table II.- Mineralogical composition

MUESTRA	VOLUMEN TOTAL (cm ³ /g)	DENSIDAD BULK	POROSIDAD TOTAL (%)	MEDIA RADIO DE POROS (VOLUMEN) en μm	80-10 μm	TAMAÑO DE POROS 10-1 μm	1-0.015 μm	0.015-0.003 μm
T-1	0.2127	1.6378	43.83	30.33	72.17 %	10.47 %	7.55 %	9.91 %
T-2	0.0289	2.3461	6.78	0.0057	-	-	48.78 %	51.22 %
T-3	0.0276	2.4139	6.66	0.0057	-	-	-	100 %
T-4	0.0358	2.3621	8.45	0.0128	-	-	30.55 %	69.44 %
T-5	0.0613	2.2539	13.83	0.0231	-	-	75.40 %	24.60 %
T-6	0.0343	2.3713	8.14	0.0066	-	-	3.03 %	96.70 %
T-7	0.0267	2.4432	6.52	0.0065	-	-	5 %	95 %
T-8	0.0719	2.9761	14.94	30.561	67.13 %	1.96 %	2.93 %	27.97 %
5007	0.0593	2.2408	13.30	18.128	53.57 %	-	-	46.43
5008	0.0366	2.3445	8.59	0.0141	-	-	-	100 %

Tabla III.- Porosidad y distribución del tamaño de los poros.

Table III.- Porosity and pore size distribution.

gas y calizas margosas, aunque alguna de estas últimas muestra valores bastante bajos (T-7) debido a procesos, ya citados, de cementación por calcita y compactación mecánica de las arcillas. Los valores más bajos de porosidad pertenecen a las «chalks», donde los procesos diagenéticos rebajan mucho los valores que deberían tener este tipo de materiales de la misma edad (Feazel *et al.*, 1985; Choquette & James, 1990).

Respecto a la distribución del tamaño de poros (Tabla 3) se observa que la macroporosidad (80-10 μm de radio de poro) sólo domina en margas, debido a la disolución de microforaminíferos, cocosferas, y micrónodulos glauconíticos. En otros niveles de margas, esta porosidad está en parte rellena de cemento calcítico y, a veces, se observa bitumen alojado en los macroporos.

Los «chalks» tienen microporosidad inter e intrapartícula (Fig.3 E), reflejada en los intervalos de tamaño de poros 1 μm-0.003 μm. Los microforaminíferos que son bastante abundantes, presentan procesos de disolución de sus cámaras, dando también microporos intrapartícula de tamaños intermedios (1 μm-0.015 μm).

Discusión y conclusiones

Los datos analíticos anteriormente relacionados ponen de relieve la estrecha relación existente entre la composición orgánica y mineral, el tipo de microfábrica y la porosidad. Así parece claro que la sedimentación se produjo en un medio oscilante entre el dominio de condiciones oxidantes de océano abierto (valores elevados de las relaciones Pr/Ph, Pr/n-C17, asociación mineral formada por birnesita, rodocrocita, glauconita y vivianita) y etapas de franca anoxicidad, con formación generalizada de chamosita y piritita, disminución de las relaciones Pr/Ph y Pr/n-C17 y Ph/n-C18. Estas fluctuaciones, que deberían relacionarse con la propia evolución tectosedimentaria de la cuenca, no parecen influir en el proceso de maduración orgánica por lo que se refiere a la generación de hidrocarburos, que sin embargo estará condicionada por la microfábrica. Asimismo, la cantidad y tipo de minerales arcillosos y de materia orgánica algal, y el desarrollo de procesos diagenéticos tales como la formación de concreciones arcillosas y piríticas, cementaciones-reemplazamientos de cuar-

zo, albita, siderita, etc, y una importante compactación mecánica y química, influyen decisivamente en el control de la porosidad.

El valor globalmente bajo de la porosidad total hemos comprobado que no se debe a cementación masiva, sino a la presencia de la matriz con fábrica de

«hash» orgánico. Esta matriz es muy densa y se adapta a las partículas arcillosas y orgánicas rebajando la porosidad casi a niveles irreducibles. En una etapa anterior de la diagénesis que ahora denotan estas rocas, la red de microporos conectados podría haber facilitado la primera migración de los HC formados

(Comer & Hinch, 1987), pero actualmente la compactación ha sobrepasado los límites de la posibilidad de generación y expulsión de HC, en la mayor parte de las muestras analizadas.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de D. Pere Ayuso y Dña. Aouatife Lahcini, de la Univ. de Barcelona, del Profesor Dr. Habib.Bélayouni de la Universidad de Tunes y del Dr. Ramzi Ghenima (ETAP). Este trabajo ha sido financiado por los proyectos de investigación de la DGICYT PB89-0221-C02-01 y PB89-0221-C02-02.

Bibliografía

- Ben Ferjani, A.; Burollet, P.F. et Mejri, F. (1990): In: *Entreprise Tunisienne d'activités pétrolières*, Tunis, v.1, 194 p.
- Bennet, R.H.; Bryant, W.R. and Keller, G.H. (1981): *Jour. Sedim. Petrol.*, 51:217-232.
- Bennet, R.H.; Bryant, W.R. and Hulbert, M.H. (1991): In: *Frontiers in Sedimentary Geology*, Springer-Verlag, 582 p.
- Chamley, H. (1989): Springer-Verlag, 623 p.
- Choquette, P.W. and James, N.P. (1990): In: McIlreath, I.A. and Morrow, D.W. (eds.). *Geoscience Canada*, Reprint Series, 4:75-112.
- Comer, J.B. and Hinch, H.H. (1987): *Am.Ass.Petrol.Geol.Bull.*, 71:844-858.
- Dorronsoro, C.; Marfil, R. and Permanyer, A. (1994): *Bull. Elf-Aquitaine*, 18, Publ. Spéc. 189-206.
- Feazel, C.T.; Keany, J. and Peterson, R.M. (1985): In: Roehl, P.O. and Choquette, P.W. (eds.), Springer-Verlag, 495-511.
- Marfil, R.; Dorronsoro, C.; Permanyer, A. y Aguiló, R. (1993): *Geogaceta*, 13:76-80.
- O'Brien, N.R. and Slatt, R.M. (1990): Springer-Verlag, New York, 141 p.
- Permanyer, A.; Marfil, R. y Dorronsoro, C. (1993): *Geogaceta*, 14:105-109.
- Talbi, R. and Belayouni, H. (1987): *Abstract IAS 8th Regional Meeting of Sedimentology*, Tunis, 1-3 april 1987.
- Talbi, R.; Saïdi, M. et Bélayouni, H. (1989): *Résumé, IIème journées de Géologie tunisienne appliquée à la recherche des hydrocarbures*. Tunis, 38 p.
- Talbi, R.; Saïdi, M. et Bélayouni, H. (1990): *Resumé, 2ème Congr. Nat. Sci. Terre*, Tunis, p.258.
- Talbi, R. (1991): *Thèse de Doctorat de spécialité*, Univ. de Tunis II, Fac. Sc. de Tunis, 223 p.
- Van Houten, F.B. and Purucker, M.E. (1984): *Earth-Science Reviews*, 20:221-243.

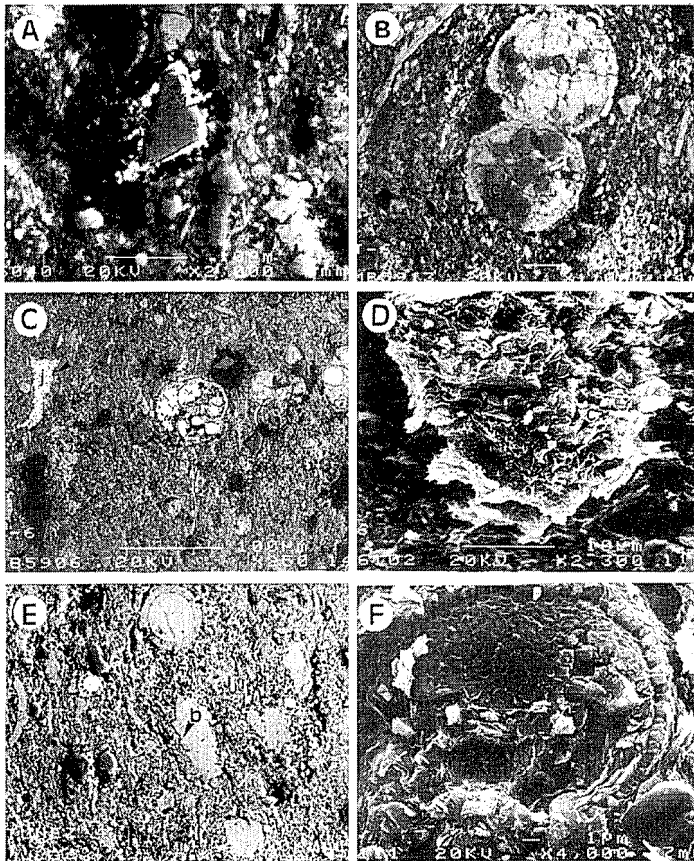


Fig. 3.— Aspectos al microscopio electrónico de barrido de la composición, microfábrica y procesos diagenéticos de las rocas madre estudiadas; A,B,C,E: imágenes en ER; D y F: imágenes en ES. A) Cristal zonado con núcleo de dolomita y borde de siderita (analizado por EDAX) parcialmente disuelto, reemplazando a bioclastos y matriz en una marga con fábrica de «organic hash» bioturbada. B) Calciesferas parcialmente silicificadas (c) en una marga con fábrica de «organic hash» con orientación preferente. C) Marga con fábrica tipo «organic hash» donde flotan restos de foraminíferos planctónicos parcialmente rellenos de pirita framboidal; a la izquierda relleno de un «burrow» ? por jarosita (j) (determinada por EDAX). D) Flóculo chamosítico englobando restos de placas de coccolitos (c) en facies margosas; E) «Chalk» con matriz de tipo «organic hash» orientado donde flotan calciesferas y bioclastos con crecimientos sintaxiales generando terminaciones euhedrales (b). F) Cocosfera parcialmente disuelta y con recristalización de los cristales en empalizada de calcita, facies margosa.

Fig. 3.— Scanning electron pictures of composition microfabric and diagenetic processes in the studied source rocks. A, B, C, and E: images of BSE, and D and F: images of SEM. A) Partial replacement of the matrix and bioclasts of a marlstone by authigenic dolomite showing external siderite zonation (EDAX microanalysis). B) Partly silicified calcispheres surrounded by a clay-organic matrix showing preferred organic hash microfabric. C) Marlstone microfacies with organic hash microfabric showing scattered planktonic foraminiferal tests, partly filled by pyrite framboids. Some burrows (?) filled by jarosite (j) crystals (EDAX microanalysis) are also observed. D) Chamosite floccle enclosing coccolith plates (c), and fragments; marlstone facies. E) Micrite chalk showing oriented organic hash microfabric enclosing small crystals derived from coccoliths breakdown, calcispheres and bioclast showing calcite overgrowth cements (b). F) A partly broken coccosphere showing recrystallization of the palisade calcite crystals; marlstone microfacies.