

# Contribución de la mineralogía y geoquímica de arcillas al análisis de procedencia en los flyschs del Campo de Gibraltar

*Contribution of clay mineralogy and geochemistry to provenance analysis in the Campo de Gibraltar flyschs*

M. D. Ruiz Cruz y P. Rodríguez Jiménez

Departamento de Química Inorgánica, Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga

## ABSTRACT

Clay mineralogy is controlled in the Campo de Gibraltar flyschs by some paleoenvironmental and diagenetic factors, which appear differently reflected in the several units and lithologies. In fine-grained beds, clay minerals are mainly detrital in origin and, consequently, they can be used as indicators of sources. In this work, the main detrital associations established from previous mineralogical and geochemical studies are described, and the influence of the possible sources is analysed. The obtained results confirm in some cases the previous interpretations, while in other cases led us to question either the proposed sources or the assumed paleogeographic relations between some of these units.

**Key words:** Campo de Gibraltar, chlorite, illite, I/S mixed-layers, kaolinite, smectite, source area.

Geogaceta, 20 (7) (1996), 1484-1487  
ISSN: 0213683X

## Introducción

En áreas con intensa actividad tectónica y/o relieves importantes, la erosión afecta especialmente a los sustratos rocosos y la mineralogía de la arcilla refleja sobre todo la petrología del área fuente (Chamley, 1989). En estas zonas los procesos de transporte incluyen corrientes de moderada a alta densidad, en las que las partículas pueden mantenerse en suspensión por turbulencia, originando depósitos poco seleccionados que reflejan la composición de las áreas fuentes mejor que los sedimentos depositados de acuerdo con la ley de Stokes (Kranck, 1984).

Por esta razón, los flyschs constituyen materiales favorables para el análisis de fuentes, aunque los parámetros mineralógicos más útiles incluyen aquellos que pueden ser indicadores de los procesos de hidrólisis, tales como contenido relativo y cristalinidad de la esmectita y aquellos que permiten diferenciar sedimentos depositados a partir de mecanismos diferentes, tales como variaciones, paralelas o antagónicas de ciertos minerales de la arcilla o minerales asociados.

En los flyschs del Campo de Gibraltar (Cordilleras Béticas y Rif) el análisis de procedencia se ha basado hasta el momento en la interpretación de estructuras sedimentarias, el estudio petrológico de areniscas y calcarenitas o estudios minera-

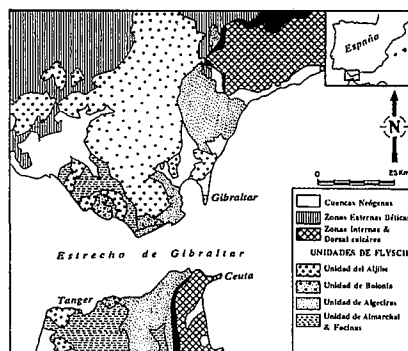


Fig. 1.- Mapa geológico esquemático del área del Campo de Gibraltar.

Fig. 1.- Geologic sketch of the Campo de Gibraltar area.

lógicos relativos a abundancia y distribución de minerales pesados, morfología de cuarzos o determinaciones de edad en circones detríticos (Didon, 1969; Pendón, 1978; Chiochini *et al.*, 1980; Guerrero, 1981/1982). El estudio de la mineralogía de la arcilla se ha limitado, en la orilla sur del Estrecho, al estudio de algunas secuencias aisladas (Chiochini *et al.*, 1980), mientras que en la orilla norte se ha llevado a cabo un estudio mucho más detallado a partir de 1985, cuyos principales resultados aparecen resumidos en Rodríguez Jiménez *et al.*, (1988).

Desde las interpretaciones más tempranas, los diferentes autores que han estudiado los flyschs en ambas orillas del Estrecho, parecen aceptar la contribución de diversas áreas fuentes, desde el Cretácico al Mioceno inferior: (i) Un área fuente africana, que alimentaría los flyschs relacionados con la unidad del Aljibe, que se relaciona alternativamente con áreas cratónicas de escaso relieve, formaciones sedimentarias o macizos graníticos, sometidos a climas cálidos y húmedos. Durand-Delga and Oliver (1980); Hoyez (1988). (ii) Un área fuente norte, fundamentalmente cristalina, identificada con los sustratos de las zonas Internas; Chiochini *et al.*, (1980); Guerra *et al.*, (1981-82) y (iii) Un área fuente calcárea, que alimentaría fundamentalmente los flyschs eocenos y que suele relacionarse con la Dorsal calcárea. Durand-Delga and Oliver (1988).

La interpretación genética que ofrecemos, en unos casos confirma las interpretaciones anteriores mientras que en otros casos permite cuestionar la correcta interpretación de la procedencia de los aportes e incluso de la posición paleogeográfica de algunas unidades dentro de la cuenca de los flyschs.

## Materiales y Metodología

Hasta el momento se han estudiado alrededor de 600 muestras correspondientes a las diferentes unidades presentes en la orilla norte del Estrecho (Fig. 1). En ésta,

aparecen bien representadas las principales unidades Cenozoicas del dominio de los flyschs (Aljibe, Bolonia y Algeciras), en tanto que la extensión de las unidades Cretácicas (Almarchal, Facinas y sobre todo Nogales) es mucho más limitada. Los datos recogidos en este trabajo se basan fundamentalmente en el estudio mediante difracción de rayos X, análisis químico y microscopía electrónica de barrido.

Se ha utilizado un difractor Siemens D-501, con radiación CuK $\alpha$  y monocromador de grafito. El análisis comprendió las muestras totales y dos fracciones de tamaño (2-20  $\mu$ m y <2  $\mu$ m). El análisis semicuantitativo de las muestras totales se realizó utilizando los poderes reflectantes de Schultz (1964). Las fracciones finas se estudiaron a partir de diagramas de polvo desorientado y mediante agregados orientados, naturales, tratados con etilenglicol, dimetilsulfóxido, H $_2$ SO $_4$  y calentados a 550 y 700° C. Las determinaciones semicuantitativas se basaron, en este caso en los poderes reflectantes determinados para las dos fracciones por Islam y Lotse (1986).

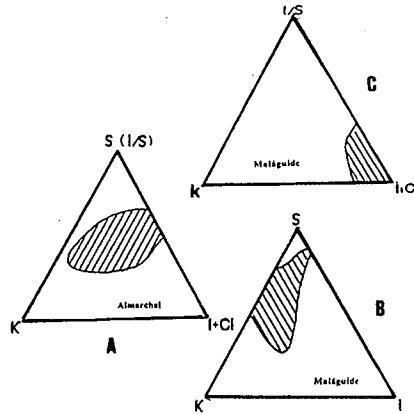
Aunque una serie de datos químicos se obtuvieron a partir de análisis puntuales al microscopio electrónico, los datos recogidos en este trabajo corresponden a análisis de elementos mayores y traza realizados a las fracciones finas, mediante absorción atómica.

La representación gráfica de las asociaciones de minerales de la arcilla se ha realizado en diagramas triangulares, en base al contenido relativo en (i) minerales del grupo de la caolinita, (ii) minerales expandibles (esmeectitas e interestratificados illita/esmeectita) más paligorskita, y (iii) illita, clorita y minerales relacionados (por ejemplo, interestratificados illita/clorita).

**Resultados y discusión**

El estudio detallado de la mineralogía de la arcilla en las unidades del Campo de Gibraltar ha puesto de manifiesto la influencia simultánea de una serie de factores paleoambientales y diagenéticos. Estos últimos procesos afectaron ampliamente a los niveles de granulometría gruesa (especialmente calcarenitas y areniscas), y a niveles silicificados, en tanto que los niveles arcillosos o margosos mantienen, salvo excepciones, la mineralogía inicial. Por ello, el análisis de áreas fuentes se simplifica considerablemente analizando las variaciones mineralógicas solamente en los niveles de granulometría fina.

Por otra parte, con objeto de comprobar la contribución de las diversas fuentes propuestas hasta el momento, parece razonable



**Fig. 2.- Representación de la composición mineralógica de la fracción <2mm en niveles de granulometría fina. A: unidad de Almarchal. B y C: Sedimentos Maláguides. K: Caolinita. S: Esmeectita. I: Illita. Cl: Clorita. I/S: Interestratificados illita/esmeectita.**

**Fig. 2.- Clay mineral assemblages (<2mm size fraction) in fine grained-beds. A: Almarchal unit. B and C: Eocene to Oligocene Maláguide sediments. K: kaolinite. S: Smectite. I: Illite. Cl: Chlorite. I/S: Illite/Smectite mixed-layers.**

comparar, siempre que ello es posible, la mineralogía de la arcilla en los flyschs y en sedimentos indudablemente derivados de la placa africana y de las zonas Internas, que presumiblemente ocuparon posiciones paleogeográficas intermedias entre las áreas fuentes y la cuenca de los flyschs, como es el caso de la unidad de Almarchal y de sedimentos de la cobertera Maláguide de edad Eoceno-Oligoceno.

*La unidad de Almarchal:* La asociación de minerales de la arcilla en pizarras y margas de la unidad de Almarchal comprende caolinita, illita y esmeectita, con escasa proporción de clorita e interestratificados irregulares illita/esmeectita (Fig. 2A).

Los niveles de granulometría gruesa (no representados en la Figura 2A) ofrecen contenidos muy superiores en illita y clorita, que pueden relacionarse, con diferencias en el contenido relativo en las diferentes especies, en niveles turbidíficos y hemipelagitas, y con la evolución diagenética en los niveles de calcarenitas, que condujo al desarrollo de illitas y cloritas. La mineralogía de la arcilla ofrece, por ello, a lo largo de las secuencias, oscilaciones rítmicas, marcadas por la variación opuesta de las asociaciones illita+clorita y caolinita+esmeectita.

*Los sedimentos Maláguides:* El estudio de una formación arcillosa de edad Eoceno-Oligoceno (Ruiz Cruz y Serrano, 1991) per-

mitió diferenciar en la misma dos tramos en base a la mineralogía de la arcilla. El tramo inferior viene caracterizado (Fig. 2B) por la asociación esmeectita+caolinita, con proporciones variables y en general bajas de illita, mientras que el tramo superior (Fig. 2C) aparece caracterizado por la asociación illita+clorita, con proporciones muy subordinadas de interestratificados irregulares illita/esmeectita.

El contenido en elementos traza en ambos tramos es, sin embargo, bastante homogéneo (Fig. 4A y B) y viene especialmente caracterizado por anomalías positivas en Cr que sugieren la presencia en las áreas fuentes de macizos ultrabásicos, de hecho frecuentes en diversos mantos de las zonas Internas.

*Los flyschs Cretácico superior-Eoceno:* La mineralogía de la arcilla en sedimentos Cretácico superior-Eoceno correspondientes a las series basales de las unidades del Aljibe, Algeciras y Bolonia, se ha representado en la Figura 3A.

En la serie basal del Aljibe (Formación de arcillas de Jimena), la asociación de minerales de la arcilla comprende caolinita, illita y esmeectita, con paligorskita ocasional, en los niveles ricos en esmeectita. El análisis químico puntual indica, en los niveles con paligorskita, la coexistencia de esmeectitas aluminicas y esmeectitas magnesianas, éstas últimas en proporción muy subordinada. Los análisis químicos globales, en cambio, proporcionan composiciones correspondientes a montmorillonitas no ideales, de acuerdo con la clasificación de Schutz (1969); y Newman and Brown (1987). En la unidad de Algeciras, el flysch Eoceno ofrece la asociación illita+esmeectita (ocasionalmente reemplazada por interestratificados illita/esmeectita), con escasa proporción de caolinita y presencia ocasional de paligorskita. La unidad de Bolonia ofrece un campo composicional intermedio entre Algeciras y Aljibe pero, a diferencia de aquellas, aparece caracterizada por la ausencia de esmeectita s.s y la presencia ocasional de clorita.

Los campos composicionales de la Figura 3A parecen confirmar la contribución a estos sedimentos de, al menos, dos áreas fuentes diferentes, caracterizadas por el aporte de caolinita + esmeectita o illita + esmeectita (o interestratificados illita/esmeectita), presentando las asociaciones típicas, respectivamente, las secuencias basales del Aljibe y Algeciras. La mineralogía de la unidad de Bolonia sugiere, por una parte, la existencia de mezclas de aportes procedentes de ambas fuentes y, por otra la contribución de áreas fuentes con litología ligeramente diferente a las que alimentaron la unidad de Algeciras.

En base a la mineralogía de la arcilla parece posible explicar la composición de

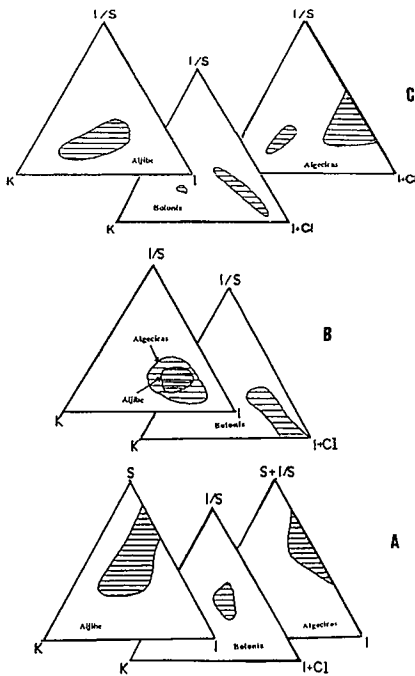


Fig. 3.- Representación de la composición mineralógica de la fracción <2mm en niveles de granulometría fina. A: Flyschs de edad Cretácico superior-Eoceno. B: Formaciones de arcillas del Oligoceno. C: Flyschs de areniscas del Oligoceno superior-Aquitaniense. K: Caolinita. S: Esmeclita. I: Illita. Cl: Clorita. I/S: Interestratificados illita/esmeclita.

Fig. 3.- Clay mineral assemblages (<2mm size fraction) in fine grained-beds. A: Late Cretaceous to Eocene flyschs. B: Oligocene argillaceous formations. C: Late Oligocene to Aquitaniense flyschs. K: Kaolinite. S: Smectite. I: Illite. Cl: Chlorite. I/S: Illite/Smectite mixed-layers.

la formación basal de la unidad del Aljibe partiendo de un área fuente similar a la que alimentó la unidad externa de Almarchal. Por el contrario, la mineralogía de las unidades de Algeciras y Bolonia es claramente diferente a la determinada en los sedimentos Maláguides de edad similar, y consecuentemente apunta a áreas fuentes no relacionadas con los sustratos de las zonas Internas. Hasta el momento, en cambio, no contamos con datos relativos a la mineralogía de la arcilla en materiales de la Dorsal calcárea, por lo cual no podemos analizar la influencia de los posibles aportes procedentes de la misma, que por otra parte ha sido considerada como el área fuente dominante en los flyschs calcáreos de estas unidades.

El contenido en elementos traza en los flyschs basales del Aljibe (Fig. 4A) confirma un origen claramente diferente para éstos y la formación maláguide (Ruiz-Cruz y Esteras, 1993), apuntando, en el caso de los flyschs a una procedencia relacionada con la alteración

de rocas ácidas en climas templado-cálidos (Mosser, 1980).

*Las formaciones arcillosas del Oligoceno:* En contraste con los flyschs Cretácico superior-Eoceno, las secuencias de pelitas rojas que aparecen en la base de los diferentes flyschs de areniscas, muestran una gran uniformidad mineralógica y aparecen caracterizadas por la asociación illita + caolinita + interestratificados illita/esmeclita (Fig. 3B). En el caso de la unidad de Bolonia, el campo composicional es similar, pero la illita aparece reemplazada por la asociación illita + clorita, que además incluye frecuentemente interestratificados illita/clorita o clorita/vermiculita.

Las asociaciones mineralógicas indican de nuevo la contribución de dos tipos de áreas fuentes. Los aportes de las zonas Internas incluirían clorita y minerales afines, presentes en los sedimentos de la unidad de Bolonia. De hecho, tanto la clorita como los minerales interestratificados conteniendo clorita son frecuentes en el metamorfismo de bajo y muy bajo grado de las zonas Internas (Ruiz Cruz, 1995).

El descenso general en minerales expandibles, la desaparición de la esmeclita y el descenso en caolinita pueden relacionarse con procesos de hidrólisis mucho más débiles en el área fuente africana, debido al enfriamiento climático, muy acusado a partir del límite Eoceno-Oligoceno (Frakes, 1979) y, consecuentemente con aportes procedentes de la erosión de sustratos rocosos, favorecida por la caída del nivel del mar durante el Oligoceno (Vail et al., 1987).

*Los flyschs Oligoceno superior-Aquitaniense:* La Figura 3C recoge las asociaciones mineralógicas en los flyschs de areniscas. La asociación mineralógica en el flysch del Aljibe incluye caolinita, illita e interestratificados illita/esmeclita, con esmeclita ocasional, siendo la caolinita el mineral más característico en esta secuencia. Los niveles de arcillas y margas de los flyschs de Algeciras y Bolonia ofrecen, en cambio, una mayor diversificación mineralógica. Mientras la asociación más característica comprende illita+interestratificados illita/esmeclita, con escasa clorita, otra asociación bien definida ocupa una posición similar a la determinada en los arcillas del Aljibe, indicando la presencia de niveles tipo Aljibe intercalados en las secuencias de Algeciras y Bolonia.

La mineralogía de la arcilla confirma en estos flyschs, la contribución de un área fuente africana que suministraría abundante caolinita, y un área fuente norte, derivada de las zonas Internas que suministraría fundamentalmente illita y clorita. Sin embargo,

tanto el campo composicional de la unidad de Bolonia, como la forma del campo composicional de Algeciras, ponen de manifiesto una variación gradual en la mineralogía que sugiere una mezcla generalizada de aportes. Esta hipótesis, que supone la presencia en la cuenca de importantes corrientes, viene apoyada tanto por los resultados obtenidos a partir del análisis morfológico, distribución de tamaños y cristalinidades de la caolinita en las tres unidades (Ruiz Cruz y Galán, 1991) como por el contenido en elementos traza (Fig. 4B) que ofrece una gran semejanza entre las diferentes unidades de los flyschs. No obstante, el contenido en ciertos elementos (por ejemplo Cr o Li) refleja la influencia de los sustratos de las zonas internas, en tanto que otros elementos (Zr e Y), reflejan la contribución del área fuente africana (Ruiz Cruz y Linares, 1992).

El aumento considerable en caolinita en los aportes derivados del continente africano no puede, ahora, relacionarse con un clima más cálido y húmedo y una hidrólisis más activa en las áreas fuentes. Por el contrario, el desplazamiento lateral de la placa africana pudo originar un cambio de áreas fuentes, entre el Oligoceno y el Aquitaniense que, junto con la intensa actividad tectónica conduciría al desmantelamiento de antiguos suelos o perfiles lateríticos, desarrollados en climas húmedos.

### Conclusiones

1.- Los minerales de la arcilla en los niveles de granulometría fina de los flyschs del Campo de Gibraltar tienen un origen fundamentalmente detrítico y, consecuentemente, reflejan la petrología de las áreas fuentes, aunque su variación viene además condicionada por los cambios climáticos, la actividad tectónica, los procesos de transporte y la presencia de corrientes de fondo.

2.- La contribución de la placa Africana viene caracterizada por contenidos importantes en caolinita, procedente, en principio de la alteración de rocas ácidas y, a partir del Oligoceno superior, de la erosión de perfiles lateríticos antiguos.

La contribución de las zonas Internas Bético-Rifeñas se caracteriza por el aporte de illita e interestratificados illita/esmeclita, probablemente derivados de la dorsal calcárea, y aportes ricos en clorita y minerales afines, procedentes de complejos metamórficos de bajo o muy bajo grado.

La mineralogía de la arcilla en la unidad de Bolonia ofrece diferencias sustanciales con la unidad de Algeciras, que apuntan hacia posiciones paleogeográficas diferentes en la cuenca de los flyschs.

## Referencias

- Chamley, H. (1989): *Clay sedimentology*, Springer-Verlag, Berlin, 623 pp.
- Chiochini, U.; Franci, R.; Guerrero, F.; Ryan, W.B.F. & Vannucci, S. (1980): Geología de algunas successiones turbidíticas Cretáceo-Terciarias pertenecientes al "Flysch Mauritanian" e alla "Nape Numidienne" del Rif Setentrional (Marroco), *Studi Geol. Camerti*, 4, 37-66.
- Didon, J. (1969): *Etude géologique du Campo de Gibraltar (Espagne méridionale)*, Thèse. Fac. Sc. Paris, 539 pp.
- Durand-Delga, M. and Oliver, P. H., 1988, Evolution of the Alboran block margin from early Mesozoic to early Miocene times, in Shagen, U. H. J. ed., *Notes in Earth Sci.*, v.15, p. 465-580.
- Frakes, L.A. (1979): *Climates through geologic time*, Elsevier, Amsterdam, 310 pp.
- Guerrera, F. (1981-1982): Successions turbiditiques dans les flyschs Maurétanien et Numidien du Rif (Maroc), *Rev. Géol. dyna. Géogr. phy.*, 23, 85-96.
- Hoyez, B., 1988, Le Numidien et les flyschs Oligo-Miocènes de la bordure sud de la Méditerranée occidentale: *Thèse. Univ. Lille*.
- Islam, A.K.M.E. & Lotse, E.G. (1986): Quantitative mineralogical analysis of some Bangladesh soils with X-ray, ion exchange and selective dissolution techniques, *Clay Miner.*, 21, 31-42.
- Kranck, K. (1984): Grain-size characteristics of turbidites. In: *Fine-grained sediments: Deep water processes and facies*, (Stock & Piper Eds.), 83-92.
- Millot, G. (1964): *Géologie des argiles*, Masson, Paris, 499 pp.
- Mosser, C. (1980): Etude géochimique de quelques éléments traces dans les argiles des altérations et des sédiments, *Mém. Centre Nat. Rech. Sc.*, 63, 229 pp.
- Newman, A.C.D. and Brown, G., 1987, The chemical constitution of clays, in Newman, A.C.D. ed., *Chemistry of Clays and Clay Minerals: Min. Soc. of America*, London, Longman, p. 1-128.
- Pendón, J.G. (1978): *Sedimentación turbidítica en las unidades del Campo de Gibraltar*, Tesis doctoral, Univ. de Granada,

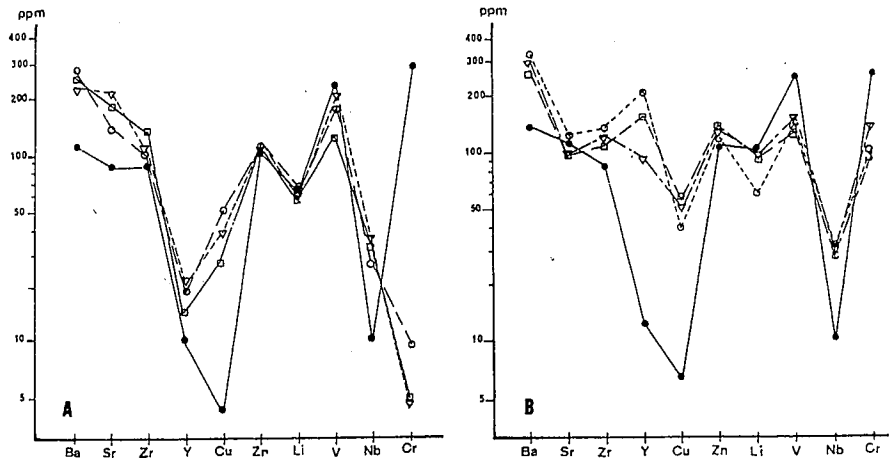


Fig. 4.- Contenido en elementos traza. A: Diferentes secciones de la formación "arcillas de Jimena" (círculos, triángulos y cuadrados) y sedimentos Maláguides de similar edad (puntos). B: Flyschs del Oligoceno superior-Aquitaniense. Círculos: unidad del Aljibe. Triángulos: unidad de Bolonia. Cuadrados: unidad de Algeciras. Puntos: sedimentos Maláguides.

Fig. 4.- Trace element contents. A: "Jimena clays" formation (circles, triangles and squares) and Malaguide sediments (points). B: Late Oligocene to Aquitanian flyschs (circles: Aljibe unit; triangles: Bolonia unit; squares: Algeciras unit; points: Malaguide sediments.)

- da, 251 pp.
- Rodríguez Jiménez, P., Ruiz Cruz, M.D., Carrasco, F. & Esteras, M. (1988): Características mineralógicas de las arcillas del Campo de Gibraltar. Primeros resultados. In: *Tunnels and water* (J. M. Serrano Ed.), Balkema, Rotterdam, 815-822.
- Ruiz Cruz, M.D. (1994): Diagenetic development of clay and related minerals in deep water sandstones (S Spain), *Clay Miner.*, 29, 93-104.
- Ruiz Cruz, M.D. (1995): Some mixed-layer minerals of very low-grade metamorphic origin, *Abstract 8th Eur. Clay Conf.*, Leuven, 333.
- Ruiz Cruz, M.D. & Esteras, M. (1993): Caracterización geoquímica de la esmectita en varias formaciones arcillosas de los Flyschs del Campo de Gibraltar (Cádiz, España), *Estudios geol.*, 49, 287-294.
- Ruiz Cruz, M.D. & Galán, E. (1991): Relations between some kaolinite crystallinity indices: Applications to geological surveys, *Proc. 7th Euroclay Conf.*, Dresden, 889-894.
- Ruiz Cruz, M.D. & Linares, J. (1992): Geochemical analysis of sediments from the Campo de Gibraltar area (S Spain), *Miner. Petrogr. Acta*, 35, 287-294.
- Ruiz Cruz, M.D. & Serrano, F. (1991): Mineralogía y geoquímica de sedimentos de la cobertera Malaguide al Este de Málaga, *Conf. y Com. IV Congreso de Geoquímica de España*, Soria, 93-107.
- Schultz, L.G. (1964): Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for the Pierre shale, *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, 391-C, 31 pp.
- Schultz, L.G., 1969, Lithium and potassium absorption, dehydroxilation temperature and structural water content of aluminous smectites: *Clays Clay Miner.*, v. 17 p. 115-149.
- Vail, P.R.; Mitchum, M.R. & Thompson, S. (1977): Seismic stratigraphy and global changes of sea-level, *Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem.*, 26, 83-97.