

COMPONENTES ORGÁNICOS ESTRUCTURADOS EN SEDIMENTOS CARBONOSOS. TÉCNICAS DE ESTUDIO

INVESTIGATION TECHNIQUES OF STRUCTURED ORGANIC CONSTITUENTS IN SEDIMENTARY COAL ROCKS

J.F. Fonollá Ocete y M.T. Fernández Marrón

Departamento/UEI de Paleontología. Facultad de C. Geológicas .Universidad Complutense de Madrid e Instituto de Geología Económica (CSIC-UCM). C/ José Antonio Novais, 2. 28040 Madrid
fonolla@geo.ucm.es, emarron@geo.ucm.es

RESUMEN

Para tener una visión global de los componentes bióticos de los sedimentos carbonosos las técnicas de estudio tienen una gran importancia. Las muestras se pueden englobar en ceras o resinas sintéticas y así poder preparar posteriormente secciones pulidas que permitan identificar sus componentes macroscópicos (litotipos) y microscópicos (macerales). Estos constituyen las entidades microscópicas más pequeñas reconocibles en el carbón. También es posible realizar estudios palinológicos en los sedimentos carbonosos. Para ello, existe una técnica específica que consiste en el ataque de las muestras con reactivos químicos con el fin de eliminar la materia mineral de la roca, quedando un residuo palinológico formado por microfósiles vegetales, algas, hongos y zoopalinomorfos. Se citan tres ejemplos prácticos de utilización de estas técnicas en carbones de diferentes rangos.

Palabras clave: Carbones, macerales, palinomorfos, técnicas de preparación.

ABSTRACT

The structured compounds of sedimentary organic matter can be studied by petrological and palynological techniques for a full knowledge of depositional conditions. In the petrographical study the samples are embedded in wax and synthetic resins and subsequently to prepare polished sections that allows identify the macroscopic (lithotypes) and distinct microscopic organic entities called macerals and microlithotypes. To, the palynological assemblages in this coal sediments can be studied. The samples require acid attack for digestion of the inorganic matrix. This palynological residue consist in spores, pollen grains, cuticles, algal and zoomorphs microrest. Three examples of this technical procedures in differents types of coals are considered.

Keywords: Coal, macerals, palynomorphs, technical procedures.

INTRODUCCIÓN

Los sedimentos carbonosos se han formado por acumulación de restos orgánicos, la mayoría de ellos de origen vegetal y contienen una proporción significativa de carbono orgánico más o menos transformado. Esta materia orgánica puede aparecer en capas individualizadas importantes, es el caso de los carbones que vamos a describir en esta nota, o incluida en escasa proporción dentro de la materia mineral.

Los procesos que transforman los restos vegetales en carbón se denominan carbonificación y según sea mayor o menor la transformación de los restos será mas elevado el rango del carbón. Quitina, celulosa, lignina, suberina, cutina y esporopolenina presentan valores crecientes de resistencia durante la carbonificación (Fernández López, 2000).

La carbonificación es un proceso de fosilización que consiste en diversos procesos físico-químicos que sufre la materia orgánica durante el enterramiento (diagénesis). Los agentes que intervienen en la transformación de la materia orgánica en carbón son fundamentalmente la presión, la temperatura y el tiempo.

CARACTERIZACIÓN DE LOS CARBONES FÓSILES

Esta caracterización se basa en los siguientes atributos:

Tipo: Corresponde a la composición litológica que a su vez está ligada a la naturaleza de los fragmentos vegetales que contiene y a las condiciones de depósito. Estas pueden ser propias de un medio "húmico" donde tienen lugar procesos de humificación o turbificación en condiciones ambientales esencialmente anaerobias (ausencia de O_2) y que dan lugar a "carbones húmicos" que contienen del 50 al 90% de carbono orgánico y están constituidos por restos de vegetales superiores. En condiciones aerobias se originan los "carbones sapropélicos" cuyos constituyentes orgánicos dominantes provienen de un medio acuático y han estado sujetos a putrefacciones.

Grado o rango: la materia orgánica vegetal, en el curso del tiempo sufre transformaciones progresivas durante los procesos de carbonificación. Por esa carbonificación creciente la materia vegetal de la turba se transforma, en ausencia de aire, en carbones de grado inferior, lignitos, posteriormente en carbones de grado medio (hullas) y en carbones de grado superior (antracita). La celulosa está presente en los depósitos de turbera, la lignina en las turberas y los lignitos y la cutina y esporopolenina se encuentran en los carbones maduros del tipo las hullas y antracitas (Fernández López, 2000).

El proceso de adquisición del grado de carbonificación se realiza en dos fases principales:

a) **Diagénesis:** se inicia por la carbonización bioquímica, correspondiente a la humificación, en condiciones más o menos normales de temperatura y presión bajo una influencia fuerte de agentes biológicos (hongos y bacterias aeróbicas).

b) **Anquimetamorfismo:** Corresponde a carbonificación de tipo geoquímico o físico-químico. Los agentes dominantes son las variaciones de temperatura, presión y tiempo. Se produce tras el hundimiento en condiciones de presión y temperatura elevada que dan lugar a la formación de lignito brillante, después hulla y a su estado final antracita con el consiguiente aumento en el contenido de carbono, disminución de materias volátiles e incremento del poder calorífico.

Los grados de carbonización alcanzados por la materia vegetal (Diesel, 1992; ICCP, 1963 y Lemos de Sousa, 1985) quedan reflejados con los valores del rango del carbón que caracteriza cada etapa o estadio:

Humedad %	Potencial Calorífico	Carbono %	Reflectancia de la Vitrinita	
turba	>75	5000-3000	40-65	0,2
lignito	30-5	7000-4000	70-80	0,4-0,6
Hulla	3-1	>7000	85-91	1-2
Antracita	2	8600	95	4

Categoría: Es la cantidad relativa de materia mineral presente en los carbones. La materia mineral está en forma de cenizas correspondiente a los constituyentes inorgánicos de la materia vegetal primitiva, de inclusiones minerales insertas en la masa del carbón (dispersa, en lentejones, capas etc.). Es de gran interés la presencia de los "Coal balls" que son nódulos que contienen restos de plantas y en algunos casos restos zoológicos que se encuentran en general dentro de las capas de carbón. Están compuestos por materia mineral calcárea, dolomítica, siderítica, piritosa o silícea. Los detalles anatómicos y estructurales de los vegetales se encuentran extraordinariamente preservados. Los "Coal balls" se presentan tanto en lignitos como en hullas.

PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE CARBÓN PARA SU ANÁLISIS PETROGRÁFICO

Para el análisis cualitativo y cuantitativo de los carbones se hacen superficies pulidas que pueden ser de dos tipos.

- Preparación de muestras en grano: En este tipo de preparación es necesario que la muestra utilizada sea representativa del carbón a estudiar. En general se emplean 5 gr de carbón en granos de 750 m que se engloban en resina sintética o en cera de Carnauba. Tras la solidificación el bloque es desbastado y pulido (según la metodología habitual) en una de sus caras (ICCP, 1963).
- Preparación de muestras en bloque: Es muy adecuado para el análisis de perfiles de "venas" de carbón. Se cortan bloques individuales de 6 a 8 cm de longitud, perpendiculares a la estratificación. Estos bloques se engloban también en resinas sintéticas o en cera de Carnauba y las superficies a estudiar se desbastan con distintos tipos de carborundos o esmeriles de diferentes fracciones granulométricas para que queden perfectamente homogéneas. Para el pulido final se utilizan diferentes suspensiones de alúmina (ICCP, 1963).

ANÁLISIS PETROGRÁFICO DE LOS COMPONENTES ORGÁNICOS DEL CARBÓN

Sobre las superficies pulidas de las muestras a estudiar, se observan e identifican al microscopio de luz reflejada y con aceite de inmersión los componentes elementales, esencialmente de origen vegetal macerados pero aún reconocibles que se denominan macerales, así como la asociación de éstos en grupos con propiedades similares (microlitotipos).

Los macerales son los constituyentes elementales de los carbones a nivel microscópico. Son componentes esencialmente de origen botánico y se utilizan para identificar su génesis botánica, sus propiedades físicas y su grado de degradación mecánica o bioquímica.

Hay tres grupos de macerales (Tabla 1):

- Grupo “Huminita–Vitrinita”. Procede de constituyentes ligno-celulósicos que evolucionaron por gelificación en condiciones anaerobias. La carbonificación creciente da origen a una reducción en el número de macerales, al pasar de la huminita (lignitos) a la vitrinita en las hullas. Son los macerales más abundantes en los carbones.
- Grupo de la “Inertinita”, en el que se agrupan constituyentes lignocelulósicos que evolucionaron por fusinización en condiciones oxidantes (aerobias). También incluyen restos de hongos que han sufrido idénticas transformaciones.
- Grupo de la “Liptinita-Exinita”, formado por partes resinosas, ceras y terpénicas de las plantas (cutículas, esporas, polen, quistes algales, etc.) que por tener composición similar presentan comportamiento idéntico en el transcurso de la carbonificación.

Grupo	Maceral	Características	Origen
Vitrinita	Telinita	Estructura celular	Troncos, ramas, raíces, hojas
	Detrovitrinita	Fragmentos de estructura celular	Partículas de materia vegetal humificada
Liptinita	Esporinita	Esporas	Mega y miosporas
	Cutininita	Bandeado con salientes laterales	Cutículas
	Suberinita	Estructura celular de plantas	Corcho y tejidos afines
	Liptodetrinita	Fragmentos irregulares	Fragmentos y residuos degradados
	Algininita	Masas lenticulares, laminares, discoidales	Algas
Inertinita	Fusinita	Estructura celular vacía o con minerales	Madera y hojas quemadas
	Semifusinita	Estructura celular	Madera y hojas alteradas bioquímicamente
	Inertodetrinita	Pequeñas partículas de fusinita y semifusinita	Combinación fragmentaria de los anteriores
	Funginita o esclerotinita	Cavidades irregulares con paredes reflectantes	Restos de Hongos

Tabla 1. Tipos de componentes macerales.

Microlitotipos: Son las asociaciones típicas de los macerales observados en el examen microscópico de los carbones húmicos. Su estudio tiene importancia práctica en la tecnología de los carbones y su comportamiento está ligado a los macerales que los integran.

PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE CARBÓN PARA SU ANÁLISIS PALINOLÓGICO

Para realizar estudios palinológicos de los sedimentos carbonosos es necesario efectuar una serie de ataques destinados a eliminar la fracción mineral de la roca para obtener el residuo palinológico con los microfósiles orgánicos (Jones & Rowe, 1999; Jansonius & McGregor, 2002).

Según el tipo de sedimento deben ser adaptados los protocolos de tratamiento de muestras, pero en general, tras triturar el material se ataca con ácido clorhídrico (HCl) para eliminar carbonatos y sulfuros y ácido fluorhídrico (HF) para destruir los silicatos y la sílice. Posteriormente el residuo orgánico se macera con el reactivo de Schulze y a continuación con álcalis diluidos. Entre cada uno de los pasos hay que realizar lavados y decantaciones. Finalmente este residuo palinológico se monta en un portaobjetos con gelatina-glicerina para su observación al microscopio.

ANÁLISIS PALINOLÓGICO DE LOS COMPONENTES DEL CARBÓN

La observación al microscopio de luz transmitida y el posterior análisis de las asociaciones palinológicas presentes en las preparaciones permite identificar los elementos y su pertenencia a diferentes medios continentales (aéreos o dulceacuícolas) marinos, de estuario, etc. (Traverse, 2007; Tyson, 1995).

Los componentes que aparecen en las preparaciones palinológicas son fundamentalmente esporas y granos de polen que, por tener una cubierta externa formada por esporopolenina (biopolímero constituido por carotinoides), son resistentes a la degradación fisicoquímica y bacteriana. También aparecen fragmentos vegetales de cutículas, vasos leñosos (espiralados o areolados, etc.) tejidos, esporangios, etc., así como restos de algas principalmente quistes o zigosporas de Dinoflagelados, Tasmaniáceas y Zygnemátáceas, además de restos de animales, siempre que estén formados por sustancias como la quitina, resistente a los ataques ácidos del tratamiento palinológico. Es el caso de la membrana interna de las cámaras de foraminíferos, rhabdosomas de Graptolitos, Escolecodontos etc. (Traverse, 2007; Jansonius & McGregor, 2002).

EJEMPLOS

A continuación se exponen tres ejemplos representativos de distintas eras geológicas, diferentes asociaciones esporopolínicas y carbones de diverso rango con el fin de mostrar ambientes deposicionales y tipos de carbón característicos.

Cuenca hullera de Puertollano (Lámina 1)

La cuenca Carbonífero-Pérmica de Puertollano (Ciudad Real, Suroeste de España) está formada por materiales terrígenos finos (areniscas y lutitas) y vulcanoclásticos con diversos niveles de carbón (hulla) intercalados en la serie (Soler Gijón, 1999). Predomina el ambiente continental con algunos estadios marinos someros. Se han estudiado palinológica y petrográficamente muestras de la capa III, determinando numerosos esporomorfos sacados (*Potonieisporites* spp., *Florinites* spp., *Disaccites* sp., *Endosporites* sp.), esporas tanto monoletas como triletas (*Calamospora* sp., *Laevigatosporites* sp., *Lycospora* sp., *Verrucosiporites* spp.). La composición petrográfica de las hullas presenta mayoritariamente macerales del grupo de la Inertinita como fusinita y esclerotinita. El 31% corresponde a macerales del grupo de la liptinita con abundancia de esporinita y cutinita. Las miosporas, megasporas y cutículas están perfectamente conservadas. La composición "trimacérica" de los macerales, rica en Inertinita, sugiere un ambiente pantanoso con un bajo nivel acuoso (Fonollá *et al.*, 2004; Fonollá y Fernández Marrón, 2006). Se ha identificado un kerógeno liptínico (Combaz, 1980; Tyson, 1995).

Lignitos aptienses de la Cordillera Ibérica (Lámina 2)

Las muestras estudiadas de Mina Pepita, ubicada en la Cordillera Ibérica (provincia de Cuenca, centro-este de España) corresponden a lutitas carbonosas con rango de lignito, que alternan con sedimentos fluviales disectados con canales de origen mareal de edad Aptiense medio. Entre los pólenes destacan las Coníferas aladas (*Alisporites* sp., *Pinuspollenites* sp. y *Podocarpidites* sp.) y las esporas con una representación superior al 40% son todas triletas con mayoría de *Concavissimisporites* sp., *Trilobosporites*

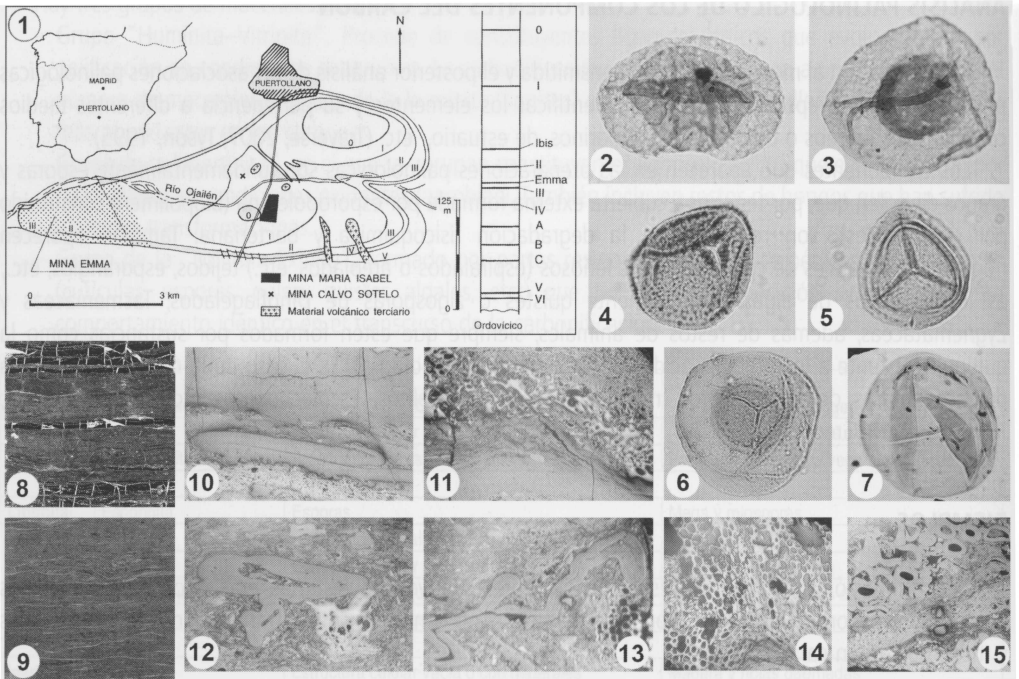


Lámina 1. Puertollano (Ciudad Real, Carbonífero-Pérmico). 1. Cuenca de Puertollano (según Soler Gijón, 1999).

2. *Potonieisporites* sp. 3. *Endosporites* sp. 4. *Verrucosisporites* sp. 5. *Lycospora* sp. 6. *Wilsonites* sp. 7. *Calamospora* sp.

8. Probeta pulida de hulla mostrando alternancia de Vitreño fracturado y Clareno. 9. Probeta pulida de hulla mostrando Clareno con algunos lechos de Vitreño. 10. Macerales: Vitrinita, esporinota y Semifusinita (de arriba a abajo). 11. Macerales: Paso de Semifusinita a Fusinita y en la parte inferior Vitrinita. 12. Macerales: Esporinita y Fusinita. 13. Macerales: Esporinitas y Fusinita en el ángulo inferior derecho. 14. Macerales: Fusinita con cavidades rellenas de resinita. 15. Macerales: Esclerotinita, y Semifusinita

sp. y *Matonisporites phlebopteroides* Couper, similares e identificables con las de Matoniaceae, Cyatheaceae, Osmundaceae y Schizaeaceae actuales que, junto con abundantes pólenes bisacados de Coníferas indicarían una vegetación de llanuras aluviales (Fonollá y Fernández Marrón, 2004; 2006).

En el análisis maceral destaca la esporinota, que es muy abundante y presenta secciones aplastadas e incluso algunas intactas casi tridimensionales, debido a que la exina gruesa de las esporas citadas ha soportado diversos tipos de presiones, como carga litostática, presión confinante, etc. A veces la esclerotinita (hifas) está acompañada por funginita (esclerocios). La composición trimacerítica de los macerales, rica en liptinita, sugiere un ambiente de depósito subacuático.

Turbera del Puerto de Canencia (Lámina 3)

La turba es un sedimento de origen vegetal reciente, con un contenido en C del 55 al 65% de su peso en seco. Se forma en zonas deprimidas húmedas en las que la circulación y aireación del agua es escasa o nula. Existen dos tipos de turberas, en función de sus condiciones geográficas: Parálidas con influencia marina y límnicas, si son continentales, en valles o en llanuras cenagosas

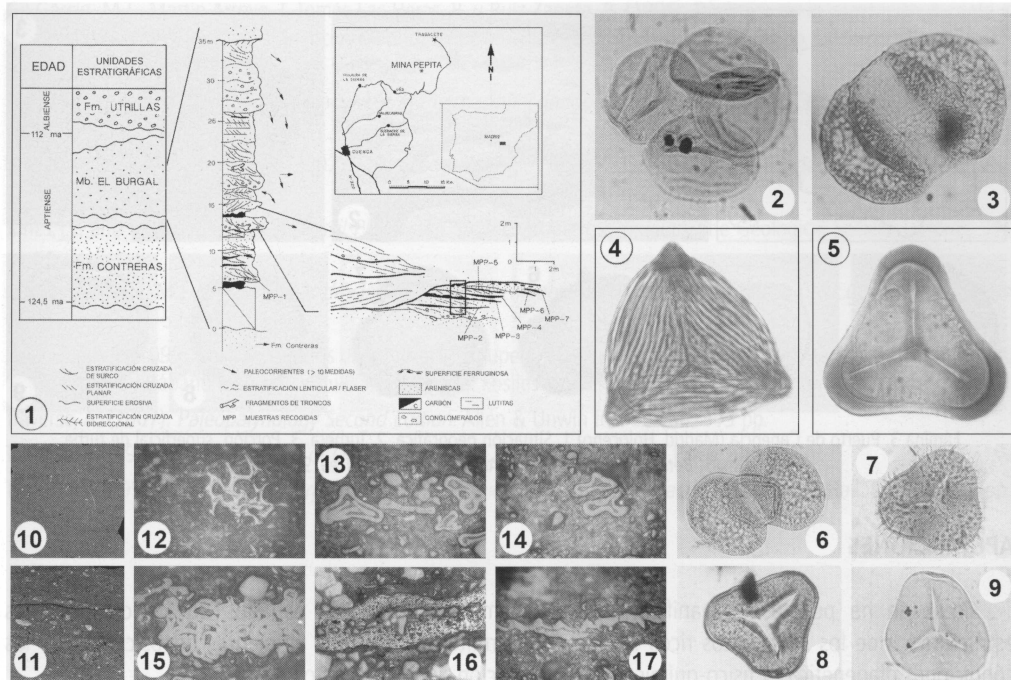


Lámina 2. (Mina Pepita, Cuenca, Aptoense). 1. Situación geográfica y columna estratigráfica de Mina Pepita (según Meléndez y Gómez, 2003 in: Fonollá y Fernández Marrón, 2004). 2. Tétrada de *Classopollis* sp. 3. *Alisporites similis* (Balme) Dettman.

4. *Plicatella tricornitata* (Weyland & Greifeld) Pot. 5. *Matonisporites phleboteroides* Couper. 6. *Podocarpidites* sp.

7. *Pilosporites trichopapillosus* (Thiergart) Delcourt & Sprumont. 8. *Concavissimisporites punctatus* (Delcourt & Sprumont) Brenner.

9. *Cyathidites australis* Couper. 10 y 11. Probeta pulida de lutita carbonosa (lignito). 12.-Macerales: textinita.

13 y 14. Macerales : Esporinina (amasijo de esporas). 16. Macerales : Semifusinita.

17. Macerales : Cutinita.

Gil García *et al.* (1996) estudian la vegetación y cambios climáticos acaecidos en el Holoceno del Puerto de Canencia, mediante el estudio polínico de los sedimentos turbosos. Estos se depositaron en depresiones de ladera de escasa extensión, sobre un sustrato prácticamente impermeable (gneis y granitos) lo que ha permitido el estancamiento de agua, que junto con el frío y la prolongada cobertura nival propician el desarrollo de los suelos turbosos.

Analizan los diagramas polínicos de dos sondeos y su comparación con un transecto local. En los dos diagramas polínicos domina el estrato arbóreo en los espectros mas profundos con valores oscilantes de *Betula* y *Pinus* dependiendo no sólo de condiciones de mayor humedad y descenso de temperatura que favorecerían el desarrollo del abedul, sino también de factores microtopográficos que alejarían progresivamente el pinar de las cercanías de la turbera ascendiendo a cotas superiores. En los espectros polínicos mas superficiales de los sondeos (entre 0 y 60 cm) hay un retroceso del componente arbóreo, llegando a valores cercanos al 30% (Gil García *et al.*, 1996).

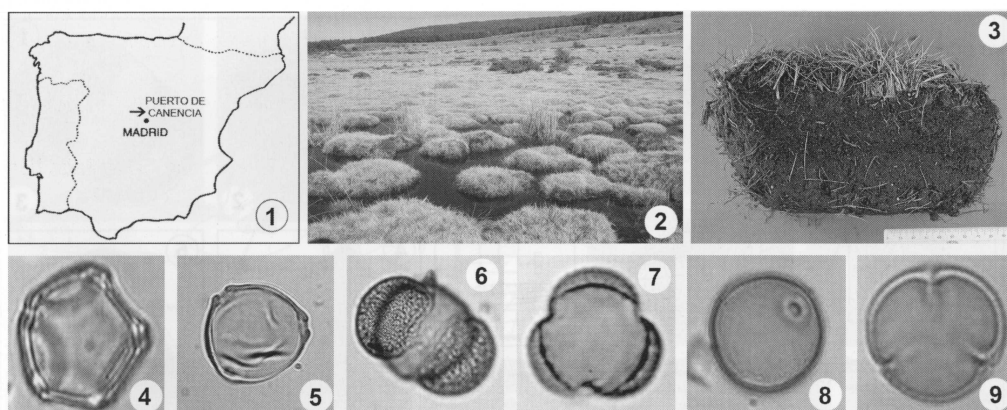


Lámina 3. Puerto de Canencia (Madrid, Holoceno). 1. Situación geográfica. 2. Turbera. 3. Porción superficial de turba. 4. *Alnus* sp. 5. *Betula* sp. 6. *Pinus* sp. 7. *Artemisia* sp. 8. *Poacea*. 9. *Rumex* sp.

APORTACIONES

Como se ha puesto de manifiesto en los ejemplos citados los estudios de los componentes estructurados de los sedimentos ricos en carbono permiten conocer los ambientes deposicionales y las condiciones diagenéticas y físico-químicas de la formación de los depósitos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Grupo de Investigación nº 910161 (Universidad Complutense –Comunidad Autónoma de Madrid.) "Registro geológico de periodos críticos. Factores paleoclimáticos y paleoambientales".

BIBLIOGRAFÍA

- Combaz, A. (1980). Les kérogènes vus au microscope. In: Durand, B. (Edit.). *Kerogen. Insoluble organic matter from the sedimentary rocks*. Technip. Paris 550 pp.
- Diessel, Cl.F.K. (1992). *Coal-Bearing Depositional Systems*. Springer-Verlag. Berlin, 721 pp. Fernández López, S. R. (2000). Temas de Tafonomía. Departamento de Paleontología. Facultad de C. Geológicas. Universidad Complutense de Madrid, 167 pp.
- Fonollá Ocete, J.F. y Fernández Marrón, M.T. (2004). Palinofacies de la Sección Mina Pepita (Miembro El Bungal, Formación Caroch) Aptiense de la Cordillera Ibérica. *Geo-Temas*, 6 (2): 287-290.
- Fonollá Ocete, J.F., Fernández Marrón, M.T., Lara, R. y Mora Núñez, M. (2004). Estudio microscópico de la materia orgánica en sedimentos carbonosos de la Cuenca de Puertollano (Ciudad Real). In: Libro de Resúmenes. XX Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología. (Calonge, A. Gozalo, R. Lopez Carrillo, M.D. y Pardo Alonso, M.V., Eds.). Alcalá de Henares: 69-70.
- Fonollá Ocete, J.F. y Fernández Marrón, M.T. (2006). Palinofacies en sedimentos carbonosos: Componentes estructurados. *Polen*, 16: 107-108.

- Gil García, M.J., Martín Arroyo, T. Tomás Las Heras, R. y Ruiz Zapata, B. (1996). Dinámica de la vegetación durante el Holoceno en el Puerto de Canencia (Madrid): relación con el espectro polínico. *Botánica Macaronésica*, 23: 221-232.
- Internacional Comité for Coal Petrology (1963) *Internacional handbook of Coal Petrology*. Centre national recherche Scientifique. Paris, 160 pp.
- Jansonius, J. and McGregor, D.C. (2002). *Palynology: Principles and Applications*. AASP Foundation. Dallas, Texas USA; 3Vol. 1330 pp.
- Jones, T.P. and Rowe, N.P. (1999). *Fossil Plants and Spores. Modern techniques*. The Geological Society. Londres, 396 pp.
- Lemos de Sousa, M.J. (1985). *Bases da classificação dos carvoes fósseis*. Boletim de Minas Direc. geral de Geologia e Minas, 22 (3), 52 pp, 14 lám.
- Soler Gijón, R. (1999). Los Vertebrados del Carbonífero superior de Puertollano (ciudad Real). Registro e implicaciones. In: Aguirre y Rábano (coord.) *La huella del pasado: Fósiles de Castilla-La Mancha*, 381 pp.
- Traverse, A. (2007). *Paleopalynology Second Edition*. Allen & Unwin Inc. Boston. 813 pp.
- Traverse, A. (1994). *Sedimentation of Organic Particles* Cambridge University Press, 544 pp.
- Tyson, R.V. (1995). *Sedimentary Organic Matter. Organic facies and palynofacies*. Chapman & Hall. London, 615 pp.

Palabras clave:

ABSTRACT:

INTRODUCTION:

Keywords:

INTR

P

A

r

d

Qu

... conocimientos geológicos básicos y ... elementos del sector ... ambiental