

>

E

S

T

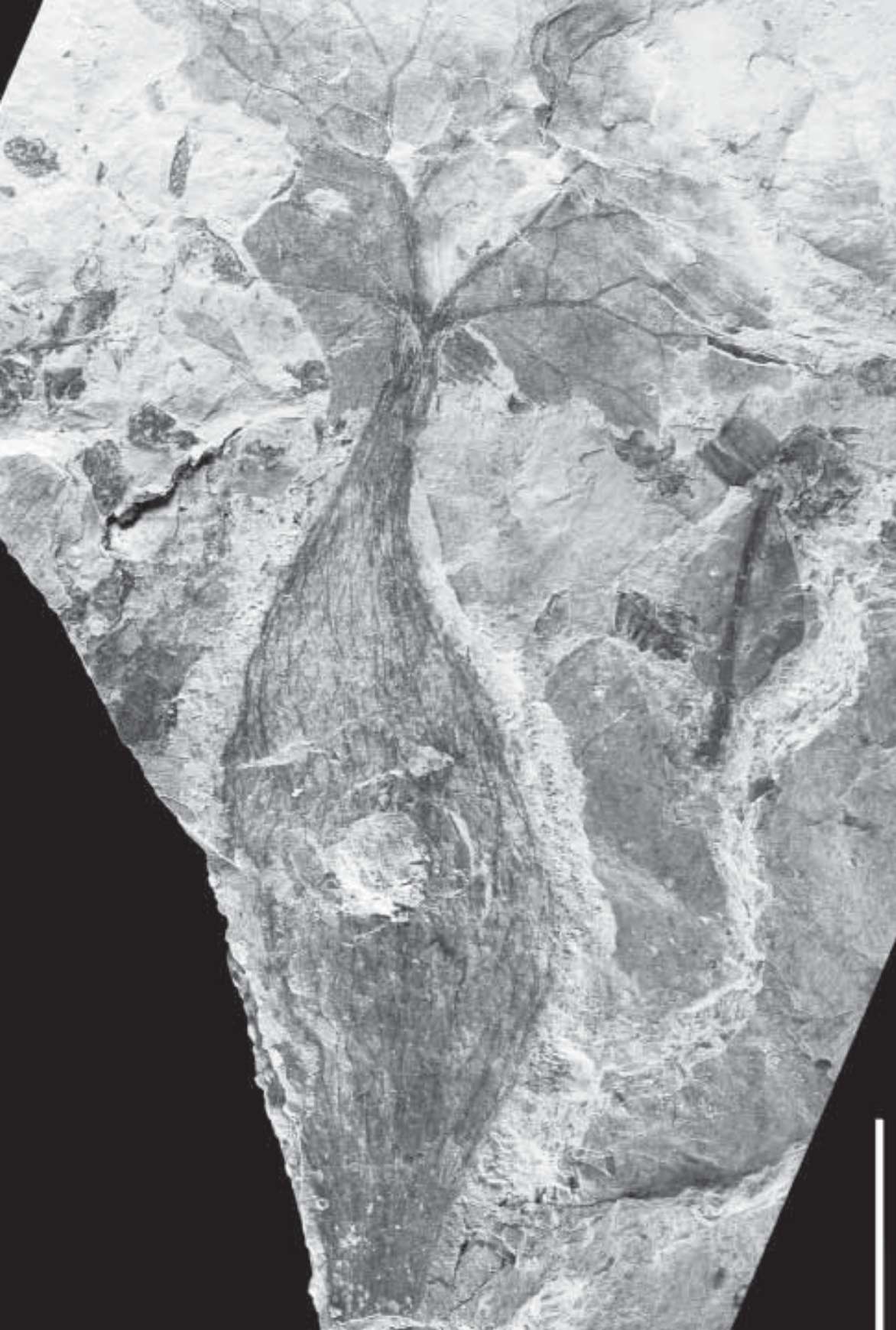
U

D

I

O

S



LAS PLANTAS FÓSILES DEL CRETÁCICO INFERIOR DE ESTERCUEL: UN TESORO PALEONTOLÓGICO DE HACE 100 MILLONES DE AÑOS

LUIS MIGUEL SENDER

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA, DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA
(PALEONTOLOGÍA), ZARAGOZA (ESPAÑA)

UXUE VILLANUEVA-AMADOZ

INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM, DEPARTAMENTO DE PALEONTOLOGÍA,
CIUDAD UNIVERSITARIA, COYOACÁN (MÉXICO)

JOSÉ BIENVENIDO DIEZ

DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS MARINAS Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO,
CAMPUS LAGOAS-MARCOSENDE, VIGO (ESPAÑA)

JAVIER FERRER

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA, DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA
(PALEONTOLOGÍA), ZARAGOZA (ESPAÑA)

Resumen

Desde hace más de una década, el Grupo de Paleobotánica Ibérica, constituido por investigadores de diferentes universidades tanto españolas como extranjeras, está llevando a cabo el estudio de los yacimientos de plantas fósiles del Cretácico en la provincia de Teruel. Fruto de estas actividades, y gracias a las labores de minería en una explotación a cielo abierto, en el año 2007 se encontró un importante yacimiento de plantas fósiles del Cretácico inferior en la localidad de Estercuel. A partir del material recuperado, se pudo llevar a cabo un estudio científico que ha permitido conocer la riqueza vegetal de esta zona durante el Cretácico inferior. Dicho estudio quedó plasmado, a

finales de 2012, en un artículo publicado en la prestigiosa revista *Geodiversitas*, en el cual han participado investigadores de la Universidad de Zaragoza, Universidad de Vigo, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad de Lund (Suecia) y del Museo de Historia Natural de París. El registro paleobotánico encontrado en Estercuel está representado por diferentes asociaciones de fósiles de hojas y estructuras reproductoras correspondientes a diferentes tipos de plantas, como helechos, coníferas y primitivas angiospermas (o plantas con flores), tanto terrestres como acuáticas, así como por diversos tipos de microfósiles (esporas y granos de polen) pertenecientes a los anteriores grupos de plantas.

Introducción

En la provincia de Teruel abundan las rocas que se formaron a partir de sedimentos depositados durante la era Mesozoica (hace entre 252 y 66 millones de años). Esta era se divide en tres períodos, de más antiguo a más moderno: Triásico, Jurásico y Cretácico, y cada uno de estos períodos se divide a su vez en épocas (como por ejemplo Cretácico inferior y Cretácico superior) y estas a su vez en edades (como son las edades Aptiense, Albiense o Cenomaniense), que acotan intervalos de tiempo cada vez más pequeños.

A nivel mundial, el tránsito de la época Cretácico inferior a la época Cretácico superior, que tuvo lugar hace 100 millones de años (llamada también transición de la edad Albiense a la edad Cenomaniense), está basado en un acontecimiento clave en la diversificación de las plantas con flores (también denominadas como angiospermas o plantas con semillas protegidas) que tendría repercusiones posteriores en la diversidad de todos los demás grupos de plantas existentes en ese momento.

Durante este tránsito temporal, los registros de plantas fósiles muestran un cambio importante en la composición de las asociaciones de angiospermas, con un marcado aumento en la abundancia y complejidad de sus hojas. Al mismo tiempo, también se aprecia un cambio en el registro mundial de los tipos de granos de polen de estas plantas, con un aumento proporcional de granos tricólpados (con tres aberturas longitudinales o colpos) frente a otros tipos morfológicos (Villanueva-Amadoz *et al.*, 2011).

Varias floras fósiles de referencia mundial, ricas en macrorrestos (hojas), correspondientes a la transición del Albiense-Cenomaniense se han descrito en el oeste de Europa, Asia central y Norteamérica. En España, Sender *et al.* (2010) describieron

un nuevo tipo de hojas fósiles de plantas acuáticas del tránsito Albiense-Cenomaniense en Plou (Teruel), definiendo un nuevo género de plantas fósiles dedicado a esta localidad y denominado como *Ploufolia cerciforme*. Sin embargo, los hallazgos de angiospermas de esta edad en España habían sido puntuales, hasta que se descubrió el yacimiento paleobotánico de Estercuel.

Los registros de plantas fósiles recuperados en el yacimiento de Estercuel suponen un punto de inflexión en los hallazgos paleobotánicos del Cretácico inferior a nivel nacional debido a su gran importancia científica, ya que documentan una diversidad de grupos de plantas mucho mayor de la que se creía que podía existir en los depósitos de esta edad geológica en España, y de este modo también se convierten por derecho propio en una de las floras de referencia para esta época a nivel mundial.

Localización geográfica y geológica

El yacimiento paleobotánico estudiado está ubicado en las proximidades de la localidad de Estercuel, provincia de Teruel, (fig. 1), en la comarca de Andorra-Sierra de Arcos. Geológicamente, la zona se encuentra dentro de la denominada subcuenca de Oliete, que es una de las áreas de sedimentación que se desarrollaron en el este de Iberia durante el Cretácico inferior (Soria, 1997). Los estratos en donde se encuentran las plantas fósiles se localizan en depósitos de origen fluvial y con influencia mareal pertenecientes a la Formación Utrillas. Esta formación geológica se compone, en su conjunto, de estratos de arenas y areniscas de color ocre con intercalaciones de arcillas limosas de colores variados (fig. 1). La parte superior representa una secuencia formada por niveles de areniscas de color ocre que pasan a techo de la serie a margas de color gris



Fig. 1. Vista general de las capas del yacimiento paleobotánico de Estercuel

oscuro, las cuales constituyen la unidad informal denominada como “margas del límite” o “margas de transición” (Aguilar *et al.*, 1971), y que contienen la flora estudiada. Esta unidad geológica representa la transición entre los depósitos fluviales de la Formación Utrillas y los depósitos de origen marino somero de la Formación de Mosqueruela (fig. 2).

La edad de la unidad margas de transición fue establecida previamente como Albiense superior terminal (de unos 100 millones de años de antigüedad), basándose en la edad proporcionada por las asociaciones de pólenes fósiles tanto en esta como en otras localidades de la misma cuenca (Sender *et al.*, 2012; Villanueva-Amadoz, 2009). Por otra parte, la edad de la suprayacente Formación Mosqueruela se ha establecido, a partir del estudio de los caparazones de los foraminíferos bentónicos (un tipo de organismo marino unicelular habitante de los fondos marinos), como de edad

Albiense superior a Cenomaniense en diversas localidades cercanas a Estercuel.

Estratigrafía del yacimiento

En el yacimiento se pueden distinguir dos conjuntos diferentes de floras fósiles, preservadas en diferentes niveles estratigráficos (fig. 1) que presentan diferentes litologías: los niveles A a D (fig. 2) están compuestos por arcillas grises con intercalaciones de areniscas amarillas de grano fino a grueso, que fueron depositados en un ambiente sedimentario de tipo fluvial con influencia mareal. Estos niveles contienen conjuntos de macroflora y microflora abundantes y diversos, excepcionalmente bien conservados. El nivel estratigráfico superior (E) está formado por arcillas laminadas de colores gris oscuro a negro, que fueron depositadas en un ambiente pantanoso costero y que presentan una menor diversidad de restos vegetales (fig. 2).

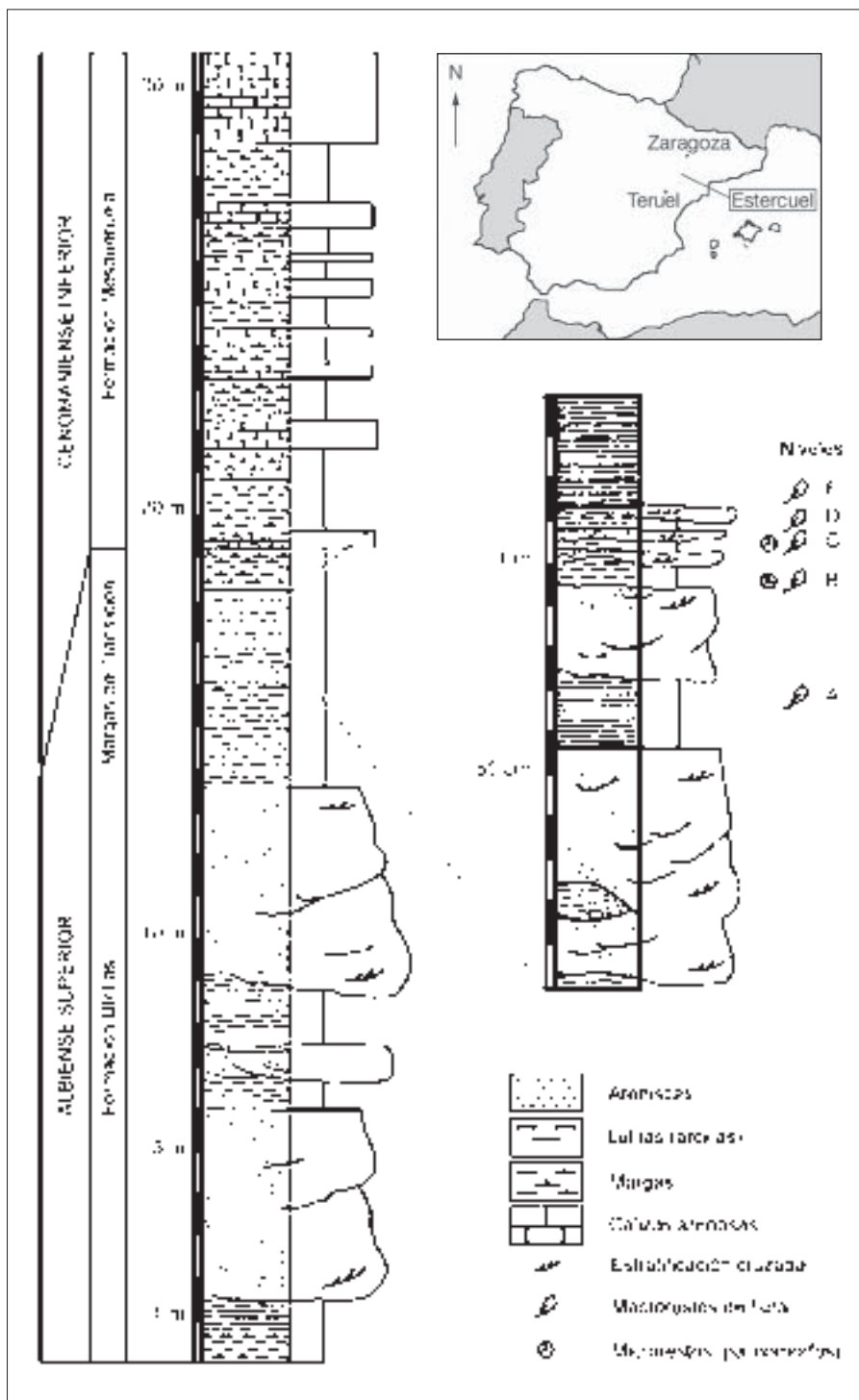


Fig. 2. Localización y sección estratigráfica del yacimiento de Esteruel, con la posición de los niveles con plantas (modificado de Pardo, 1979).

Las plantas fósiles de Estercuel: macrorrestos y microrrestos (paleobotánica sistemática)

Los registros encontrados en el yacimiento de plantas fósiles del Cretácico inferior de Estercuel consisten tanto en macrorrestos (hojas y conos femeninos o piñas y estructuras florales) como en microrrestos (esporas y granos de polen).

Entre los macrorrestos, destacan por su abundancia y variedad los restos fósiles de hojas y receptáculos florales de angiospermas (que presentan la semilla protegida por un fruto) de 6 tipos diferentes, correspondientes tanto a angiospermas terrestres (fig. 6 y fig. 8B) como acuáticas, estas últimas pertenecientes tanto al orden Ranunculales (fig. 8A) como a las familias Nymphaeaceae (relacionadas con los actuales nenúfares, fig. 7) y Nelumbonaceae.

También se encuentran restos de plantas gimnospermas (plantas con semillas no protegidas), en este caso de coníferas, cuyos restos en el yacimiento consisten en ramas con hojas con forma de escama y piñas femeninas en conexión (figs. 4 y 5) pertenecientes a la familia Cupressaceae (que en la actualidad engloba a los cipreses y secuoias, entre otros), así como restos de otras hojas de afinidad incierta que presentan una morfología lanceolada y una profusa venación paralela (fig. 5). También se encuentran, aunque en un número de ejemplares muy pequeño, restos de hojas de helechos pertenecientes a la familia Dicksoniaceae (fig. 3A) así como restos de licofitas de la familia Isoetaceae (relacionadas con los isoetales actuales, fig. 3B). El conjunto de taxones diferentes de macrorrestos identificados en el yacimiento se muestra en la tabla adjunta.



Fig. 3. A, hojas de helecho *Onychiopsis* sp. B, hoja de licofta *Isoetites* sp. Barras de escala: 1 cm

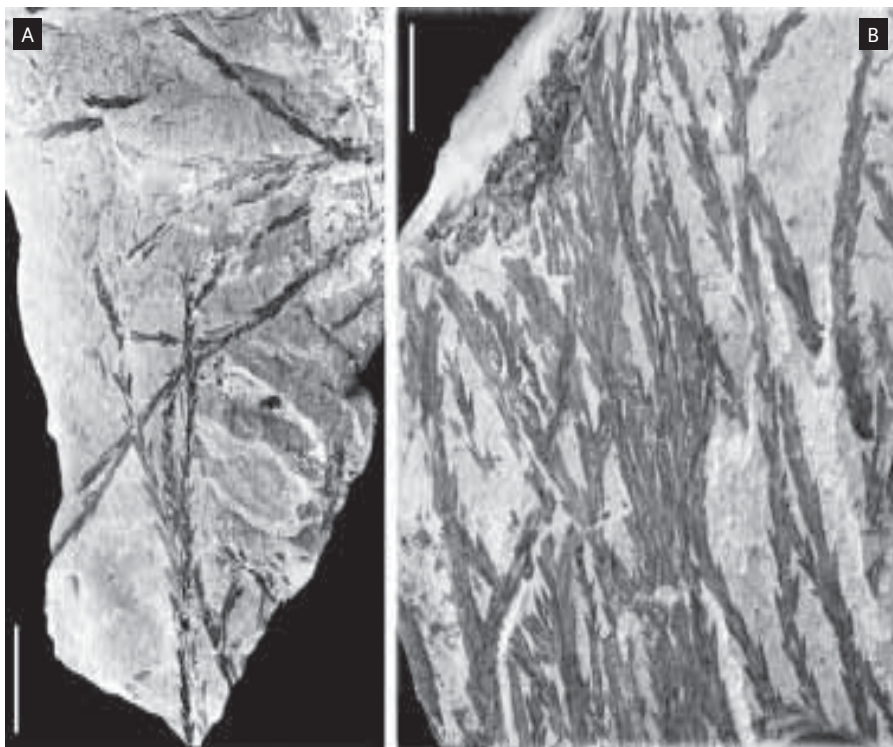


Fig. 4. A y B, ramas de conifera del género *Pagiophyllum*. Barras de escala: 1 cm

Las hojas de angiospermas tipo 1 (fig. 6) son los registros de plantas fósiles más abundantes en el yacimiento de Estercuel, y presentan una lámina foliar con morfología espatulada, margen foliar reforzado, y una venación secundaria similar a la de las hojas de *Jaramillophyllum celatus* de edad Albiense superior de la Formación Dakota en Kansas, Estados Unidos.

Algunas de las hojas fósiles encontradas en Estercuel son muy similares en sus características a las que presenta la especie *Aquatifolia fluitans*, que fue descrita en el mismo yacimiento norteamericano del estado de Kansas comentado anteriormente.

La combinación única de la posesión de un peciolo inflado, a modo de flotador, y una lámina foliar con venación secundaria flabelada y venación reticulada en el mar-

gen foliar (fig. 7) indican que estas hojas del género *Aquatifolia* estarían relacionadas con la familia Nymphaeaceae de angiospermas acuáticas.

Entre la flora fósil encontrada en Estercuel, también destacan las hojas de angiospermas acuáticas del taxón *Klitzschophyllites choffatii* (fig. 8A). Esta especie poseía unas hojas muy características, de morfología triangular invertida y con sus márgenes laterales y apical profusamente dentados. Hojas fósiles de esta especie se habían encontrado anteriormente en depósitos de edad Aptiense (Cretácico inferior) de Portugal, Túnez y Brasil.

Listado de restos de plantas fósiles: hojas y estructuras reproductoras

División Lycophyta

Clase Lycopsidea

Orden Isoetales

Familia Isoetaceae

Género **Isoetites** Munster, 1842

División Pteridophyta (Helechos)

Clase Polypodiopsida

Orden Cyatheaales

Familia Dicksoniaceae

Género **Onychiopsis** Yokoyama, 1889

División Pinophyta (Gimnospermas)

Clase Pinopsida

Orden **Incertae sedis** (coníferas)

Familia **Incertae sedis**

Morfogénero **Pagiophyllum** Heer, 1881

Familia Cupressaceae

Conos (piñas) femeninos

Familia indeterminada

Morfogénero **Podozamites** (Brongniart) Braun, 1843

Morfogénero **Desmiophyllum** Lesquereux, 1878

División Magnoliophyta (Angiospermas)

Clase Magnoliopsida

Angiospermas terrestres de afinidad incierta

Género **Myricompia** Boyd, 1998

Angiospermas tipo 1

Angiospermas tipo 2

Angiospermas acuáticas

Orden Ranunculales

Familia **Incertae sedis**

Klitzschophyllites choffatii (Saporta) Teixeira, 1948 emend.
Gomez *et al.* (2009)

Orden Nymphaeales

Familia Nymphaeaceae

Aquatifolia cf. **fluitans** Wang & Dilcher, 2006

Orden Proteales

Familia Nelumbonaceae

Receptáculos florales

Recientemente, Gomez *et al.* (2009) emendaron la descripción de este género, basándose en el nuevo material recuperado en el yacimiento de Plou. Los registros de este último yacimiento junto con los del yacimiento de Estercuel amplían la distribución temporal del género *Klitzschophyllites*

hasta el Albiense superior. Este hecho implica que, gracias a los hallazgos de los fósiles de estas plantas en los yacimientos de la provincia de Teruel, ahora se conoce que los últimos representantes del género *Klitzschophyllites* son unos 10 millones de años más jóvenes de lo que se creía hasta ahora.

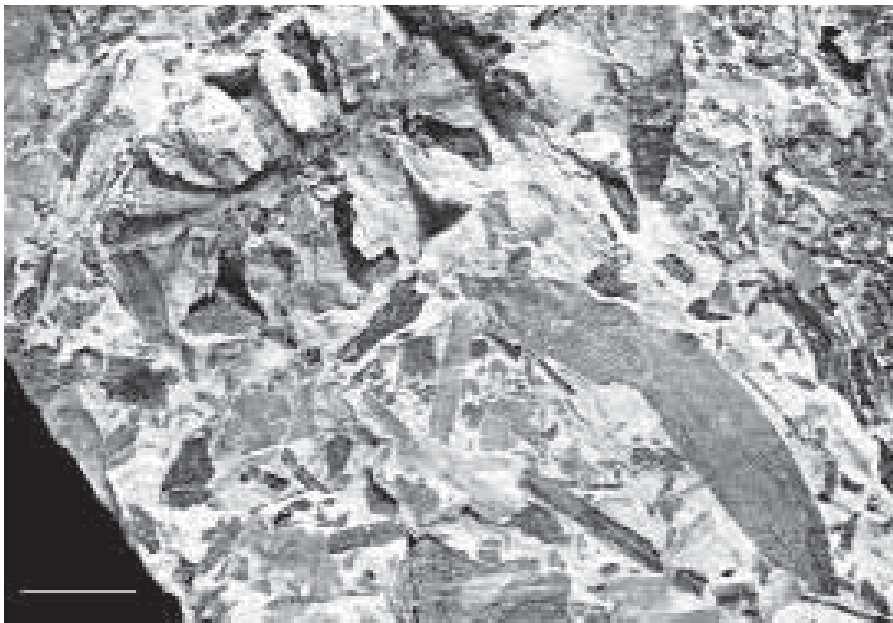


Fig. 5. Concentración de restos de plantas fósiles, en donde destacan un cono femenino (piña) de conífera cupresácea y una hoja lanceolada y paralelinervia, perteneciente a *Podozamites* sp. Barra de escala: 1 cm

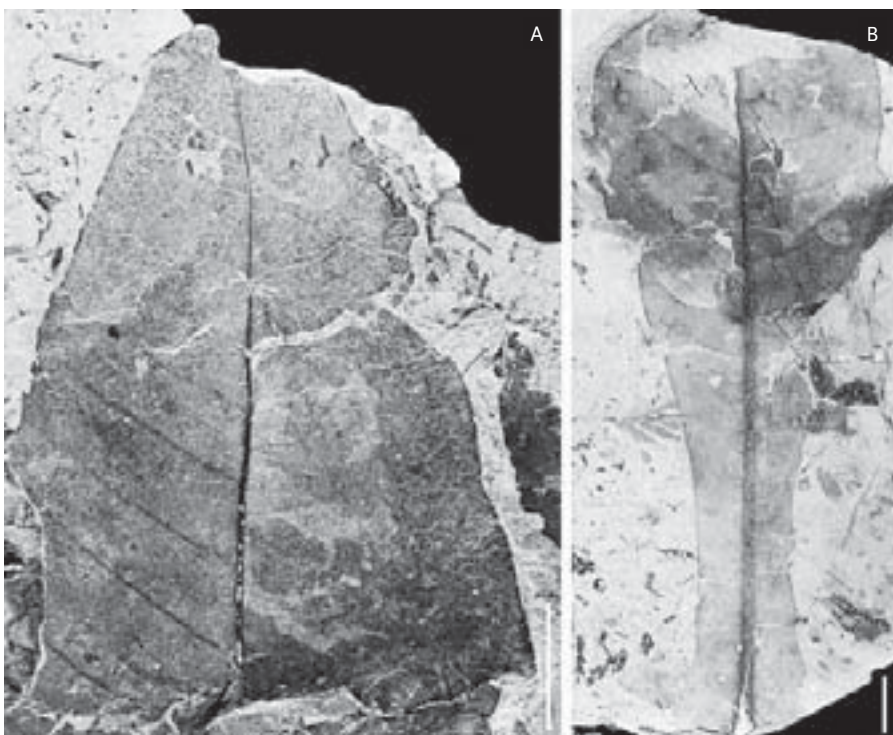


Fig. 6. Hojas de Angiosperma tipo 1. A, detalle de la venación de una hoja. B, hoja casi completa con base espatulada. Barras de escala: 1 cm

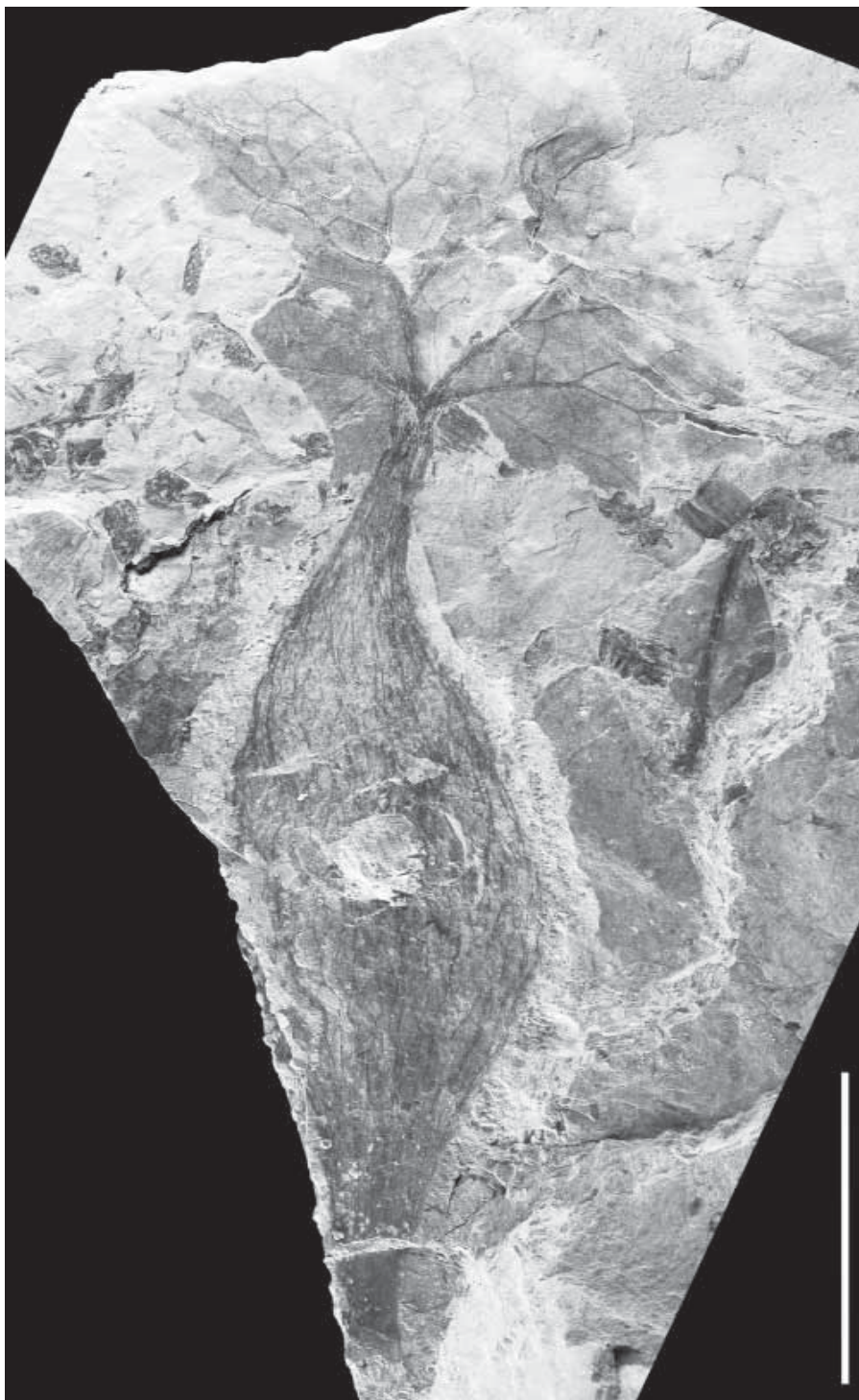


Fig. 7. Hoja casi completa de *Aquatifolia* cf. *fluitans*, con lámina foliar y peciolo con base inflada fusiforme a modo de flotador. Barra de escala: 2 cm

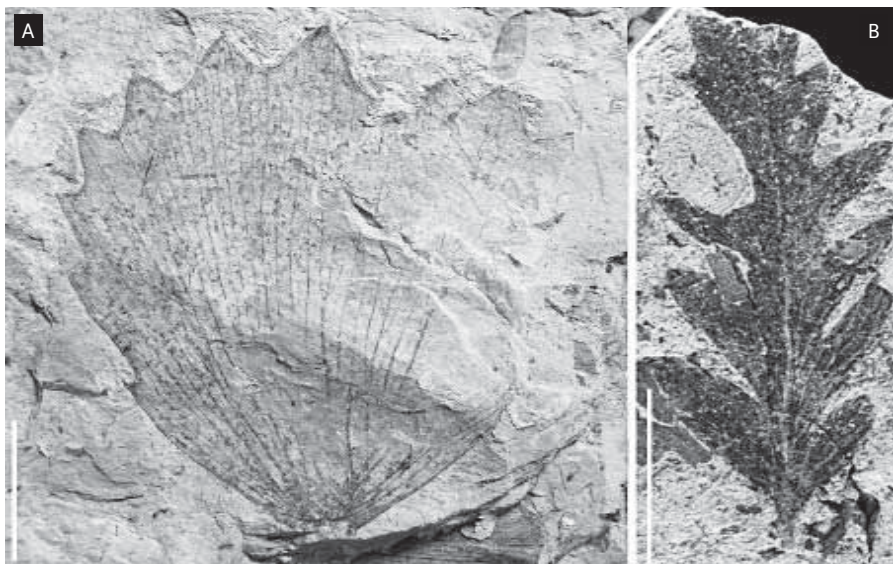


Fig. 8. A, hoja casi completa de *Klitzschophyllites choffatii*, mostrando los dientes de sus márgenes laterales y apical. B, hoja pinnada lobulada de angiosperma terrestre del género *Myricompia*. Barras de escala: 1 cm

Además, en el yacimiento también han aparecido algunas hojas pertenecientes al género *Myricompia* (fig. 8B), que solo se había encontrado, hasta el momento, en los depósitos de edad Albiense superior en el oeste de Groenlandia.

El yacimiento de Estercuel presenta también una gran variedad de tipos de microfósiles de plantas (palinomorfos), que consisten en las esporas y granos de polen que producían las plantas que crecían en esa área. Su tamaño es microscópico, de modo que suelen oscilar entre unas décimas y unas centésimas de milímetro.

El conjunto muestra una gran diversidad de palinomorfos y una abundancia particularmente alta de polen de gimnospermas coníferas (principalmente representada por los taxones *Taxodiaceapollenites hiatus*, *Araucariacites australis* y *Classopollis* spp., seguido en abundancia por granos de polen pertenecientes a otras gimnospermas como los pólenes de *Perinopollenites halonatus* (fig. 9B), *Spheripollenites* sp., *Ephedripites* spp., *Exesipollenites scabrosus*, *Balmeiopsis limbata*, *Cycadopites* spp., *Ce-*

dripites canadensis, *Eucommidites troedsonii* y *Singhia* sp.) y, en menor medida, por esporas de pteridofitas y por granos de polen de angiospermas. El registro de pteridofitas es escaso y está formado principalmente por esporas pertenecientes a diferentes familias de helechos (*Cyathidites* spp., *Gabonispuris* sp. fig. 10D, E, *Matonispurites equixinus* y *Peromonolites* sp., y en porcentajes muy bajos por esporas de *Cicatricosisporites* sp., *Concavisporites punctatus*, *Converrucosisporites platyverrucosus*, *Deltoidospora psilostoma*, *Microfoveolatosporis baconicus* y *Stereisporites antiquasporites*).

La asociación de palinomorfos de angiospermas presenta un porcentaje relativamente alto de *Clavatipollenites* spp. y *Afropollis jardinus* (fig. 10A) mientras que otros tipos de granos de polen monoaperturados (con una única abertura) como *Stellatopollis barghoornii* (fig. 10B), *Dichastopollenites* spp., *Liliacidites doylei*, *Monosulcites chaloneri*, *Pennipollis* spp., *Retimonocolpites textus* (fig. 9D) y *Transitoripollis* sp. cf. *T. similis* (fig. 9C) son menos abundantes. Los pólenes tricolpados

(con tres aberturas largas longitudinales) consisten principalmente en granos asignados a *Tricolpites* spp. seguido en abundancia por *Phimopollenites augathellaensis* (fig. 9j), *Rousea* spp. (fig. 9l), y granos de polen multiporados (con numerosos orificios) pertenecientes a *Penetetrapites mollis*. La primera aparición de granos de polen tricolporado (con tres aberturas largas

longitudinales y tres aberturas internas en forma de poro), perteneciente a *Tricolporoidites* sp. se encuentra en las margas de transición, pero se presentan en un número escaso. Esta es la evidencia más temprana de este tipo morfológico de pólenes encontrada en el noreste de España, que evolucionan a partir de sus ancestros con tres aberturas alargadas (tricolpados).

Listado de palinomorfos de plantas terrestres y acuáticas de agua dulce

Algas

Schizophacus parvus (Cookson & Dettmann) Pierce, 1976

Esporas

Camarozonosporites sp.

Cicatricosisporites hallei Delcourt & Sprumont, 1955

Cicatricosisporites sp.

Concavisorites punctatus Delcourt & Sprumont, 1955

Concavissimisorites verrucosus (Delcourt & Sprumont) Delcourt, Dettmann & Hugues, 1963

Converrucosisporites platyverrucosus Brenner, 1963

Crybelosporites sp.

Cyathidites australis Couper, 1953

Cyathidites minor Couper, 1953

Deltoidospora psilostoma Rouse, 1959

Gabonisorites sp.

Matonisorites equixinus Couper, 1958

Microfoveolatosporis baconicus Juhász, 1977

Patellatorites tavadarensis Groot & Groot, 1962

Peromonolites sp.

Plicatella sp. cf. *P. potomacensis* (Brenner) Davies, 1985

Plicatella robusta (Kemp) Davies, 1985

Reticulosporis sp.

Stereisorites antiquasporites (Wilson & Webster) Dettmann, 1963

Triporoletes sp. cf. *T. radiatus* (Dettmann) Playford, 1971

Polen de gimnospermas

Araucariacites australis (Cookson) Couper, 1953

Balmeiopsis limbata (Balme) Archangelsky, 1977

Cedripites canadensis Pocock, 1962

Classopollis major Groot & Groot, 1962

Classopollis sp.

Cycadopites sp.

Ephedripites sp. cf. *E. dudarensis* Deák, 1964

Ephedripites sp. cf. *E. multicostratus* Brenner, 1963

Eucomiidites troedsonii (Erdtman) Potonié, 1958

Exesipollenites scabrosus Norris, 1969

Perinopollenites halonatus Phillips & Felix, 1971

Singhia sp.

Spheripollenites sp.

Taxodiaceapollenites hiatus (Potonié) Kremp, 1949

Polen de angiospermas

Afropollis jardinus Doyle, Jardiné & Doerenkamp, 1982

Clavatipollenites hughesii Couper, 1958

Clavatipollenites minutus Brenner, 1963

Clavatipollenites tenellis Phillips & Felix, 1971

Clavatipollenites sp.

Dichastopollenites sp. cf. *D. reticulatus* May, 1975

Liliacidites doylei Ward, 1986
Monosulcites chaloneri Brenner, 1963
Penetetrapites mollis Hedlund & Norris, 1968
Pennipollis sp. cf. *P. reticulatus* (Brenner) Friis, Pedersen & Crane, 2000
Pennipollis escuchensis Villanueva-Amadoz, Pons, Diez, Ferrer & Sender, 2010
Pennipollis sp.
Phimopollenites augathellaensis (Burger) Dettmann, 1973
Retimonocolpites textus (Norris) Singh, 1983
Rousea sp.
Senectotetradites varireticulatus Dettmann, 1973
Stellatopollis barghoornii Doyle, 1975
Striatopollis sp. cf. *S. paraneus* (Norris) Singh, 1971
Striatopollis trochuensis (Srivastava) Ward, 1986
Striatopollis sp.
Transitoripollis sp. cf. *T. similis* Góczán & Juhász, 1984
Tricolpites crassimurus (Groot & Penny) Singh, 1971
Tricolpites sp.
Tricolporoidites sp.



Fig. 9. Fotografías de palinomorfos del yacimiento de Esteruel: A, *Classopollis major*. B, *Perinopollenites halonatus*. C, *Transitoripollis* sp. cf. *T. similis*. D, *Retimonocolpites textus*. E, *Clavatipollenites* sp. F, *Afropollis jardinus*. G, H, *Pennipollis* sp. cf. *P. reticulatus*. I, *Rousea* sp. J, *Phimopollenites augathellaensis*. Barra de escala: 10 micras

Paleofitogeografía: relación de las plantas fósiles con la distribución de océanos y continentes en el Cretácico inferior

Durante la última parte del Cretácico inferior (hace entre 113 y 100 millones de años) el paisaje de la actual provincia de Teruel era muy diferente del actual, ya que estaba constituido por una amplia llanura litoral con una notable influencia mareal, que formaba parte de la costa de una de las islas situadas en la zona occidental del antiguo mar Tethys (que ocupaba el área correspondiente a la del mar Mediterráneo y del océano Índico actual unidos). En esta zona desembocaban grandes y caudalosos ríos dando lugar a extensas zonas pantanosas con marismas y lagos, tanto de agua salobre como de agua dulce. Testigos de estos ambientes prehistóricos han llegado hasta nuestros

días a través de los potentes depósitos de arcillas y arenas presentes en el norte de la provincia, que se explotan desde hace décadas para la obtención de arcillas refractarias y caolín. Los restos de plantas fósiles encontrados en el yacimiento de Estercuel, así como los hallados en otros yacimientos de la misma época en zonas cercanas, nos muestran qué tipos de plantas vivían en esos ambientes costeros al final del Cretácico inferior, y en concreto durante la edad Albiense superior, hace 100 millones de años.

La presencia de asociaciones de granos de polen de tipo tricolporado en el yacimiento de Estercuel indicaría una cierta relación paleoambiental entre estas zonas del este de Iberia y la actual Norteamérica durante la parte terminal del Cretácico inferior. Este hecho se debe a que los granos de polen de tipo tricolporado más anti-

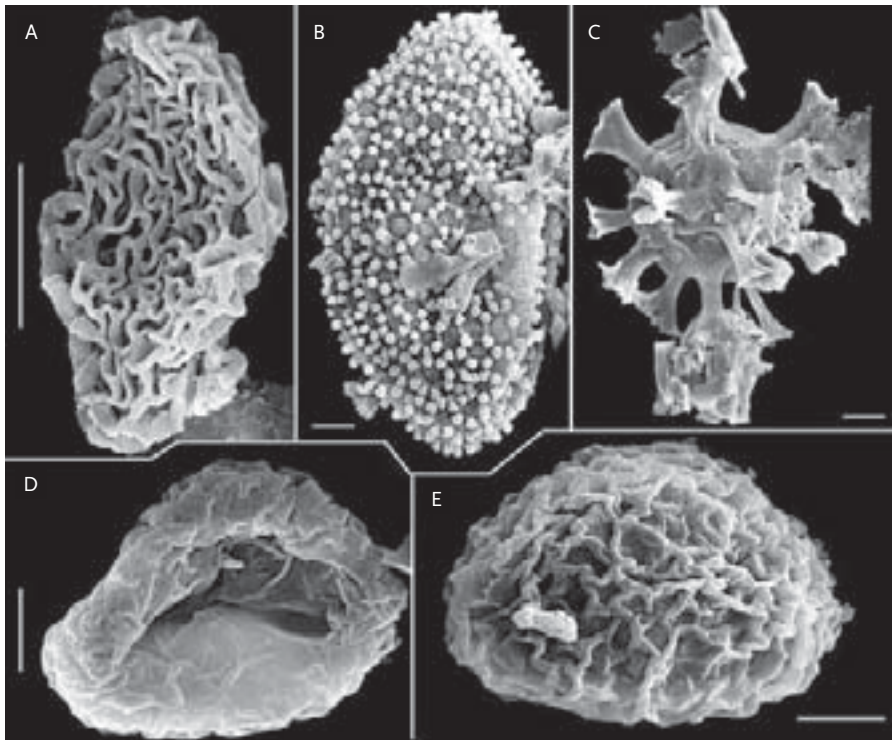


Fig. 10. Fotografías de palinomorfos con Microscopio Electrónico de Barrido (MEB). A, *Afropollis jardinus*. B, *Stellatopollis barghoornii*. C, quiste de dinoflagelado *Oligosphaeridium* sp. D, E, *Gabonisporis* sp. Barras de escala: 10 micras

guos se han registrado en los depósitos de la formación Shaftesbury en Canadá y en las formaciones Bokchito y Dakota en los Estados Unidos, y marcan el límite entre el Cretácico inferior y el Cretácico superior.

La presencia de hojas de la especie *Aquatifolia fluitans* (fig. 7B, C) en el yacimiento de Estercuel también sería indicativo de que, durante el Cretácico inferior terminal, existiría una cierta relación paleoambiental entre esta zona y el área ocupada por el actual estado de Kansas, en los Estados Unidos, en donde fue definida esta especie. Es de destacar que los hallazgos de esta planta fósil en Estercuel constituyen la primera y única evidencia, hasta el momento, de hojas fósiles de este género encontradas fuera de su localización original, situada en el centro de los Estados Unidos.

La influencia de las floras típicas del norte del antiguo continente Gondwana (que se correspondería con la actual placa Africana) se aprecia en las asociaciones vegetales del yacimiento de Estercuel a partir de la presencia de hojas de angiospermas del taxón *Klitzschophyllites choffatii* (fig. 8A), así como por la presencia de granos de polen de angiospermas pertenecientes a *Afropollis jardinus* (fig. 10A), en las asociaciones palinológicas encontradas. La influencia de la flora de la zona del Tethys se reconoce con la presencia de pólenes de *Stellatopollis barghoornii* (fig. 10B) y algunos granos de polen de gimnospermas del orden Ephedrales (*Ephedripites* spp. y *Singhia* sp.).

De este modo, los datos extraídos del estudio de la distribución geográfica de los diferentes restos de plantas fósiles encontrados (o paleofitogeografía) implicarían que, al menos durante la última etapa del Cretácico inferior, las islas del archipiélago que en esa época constituían la actual Península Ibérica habrían servido como puente para la dispersión de las floras en-

tre diferentes áreas geográficas, que provenirían tanto del oeste del antiguo continente Laurasia, como del paleocontinente Gondwana situado al sur de Iberia (Sender *et al.*, 2012).

Estudio paleoambiental de la flora de Estercuel

Las características morfológicas de los grupos de plantas presentes en las asociaciones se pueden relacionar con diferentes ambientes ecológicos, ya sea por comparación directa con plantas actuales del mismo tipo y/o por su relación con los sedimentos en los que se encuentran conservadas.

Los restos de hojas de angiospermas terrestres de tipo 1 (fig. 6), y tipo 2, las hojas de *Myricompia* (fig. 8B), y los restos de helechos y de coníferas se presentan en sedimentos depositados en ambientes fluviales y lacustres con influencia mareal y con aportes marinos esporádicos. La buena conservación de estos registros, con hojas de angiospermas casi completas y sin indicios de fracturación por arrastre (fig. 6), así como las ramas de coníferas ramificadas (fig. 4) y las delicadas hojas de helechos de apariencia frágil (fig. 3A) indicarían que estos restos no habrían sufrido un transporte prolongado hasta el área de depósito, por lo que se habrían desarrollado en las cercanías de estos ambientes.

Los restos de angiospermas acuáticas, como las hojas de *Aquatifolia* cf. *fluitans* (fig. 7), *Klitzschophyllites choffatii* (fig. 8A), y los receptáculos de nelumbonáceas que aparecen en los mismos depósitos, presentan una conservación excepcional, en ocasiones en conexión con su peciolo (fig. 7) y en otros casos como acumulaciones masivas de hojas completas, por lo que se puede deducir que se habrían desarrollado en la superficie acuosa de estos ambientes fluvio-lacustres costeros.

De acuerdo con el análisis palinológico, la presencia en los depósitos del yacimiento de Estercuel de palinomorfos de algas del taxón *Schizophacus parvus* indicaría hábitats de aguas dulces mesotróficas (aguas estancadas y poco profundas). Esta interpretación ambiental se ve corroborada por la presencia de *Gabonisporis* sp. (fig. 10D, E), que son esporas típicas de helechos acuáticos de la familia Marsileaceae, y *Petromonolites* sp. (esporas características de licofitas acuáticas de la familia Isoetaceae). Estos palinomorfos reflejarían la composición de la flora local en torno a los ambientes de depósito subacuáticos. La presencia de una abundante cantidad de polen de gimnospermas en el yacimiento se interpreta como la representación de los registros de la flora que se habría desarrollado en áreas cercanas, mientras que el polen de los taxones *Taxodiaceae* y *Ephedripites* probablemente representaría a las plantas que habitarían las tierras bajas cerca de los ambientes costeros. Al igual que los dos taxones anteriores, los granos de polen de coníferas pertenecientes a la familia Cheirolepidiaceae eran dispersadas por el viento (plantas anemófilas). Sin embargo, la buena conservación de estos pólenes y la presencia de asociaciones de granos de polen (tétradas) completas de *Classopollis* (fig. 9A) en los sedimentos indicarían un transporte corto de estos restos hasta la zona de depósito. Cabe señalar que los granos de polen del género *Classopollis* se han interpretado como producidos por plantas xeromórficas (plantas adaptadas a condiciones de aridez ambiental) que se desarrollarían en las riberas de los pantanos salobres y sistemas fluvio-lacustres de ambientes costeros.

Entre el polen de angiospermas, los granos de *Clavatipollenites* sp. (fig. 9E) son abundantes, aparecen ocasionalmente en agrupaciones y están bien conservados, lo que sería indicativo de que habrían sufrido

un transporte corto, posiblemente por el viento, hasta su enterramiento definitivo. Dadas sus características morfológicas, los granos de polen de este tipo se han comparado con los producidos por angiospermas actuales del género *Ascarina*, pertenecientes a la familia Chlorantaceae. Se encuentran también algunos quistes bien conservados de dinoflagelados (*Oligosphaeridium* sp., fig. 10C), que se corresponden con un tipo de microorganismos que en este caso formaban parte del fitoplancton marino.

La influencia marina en los depósitos del yacimiento de Estercuel se basa en la presencia de palinomorfos de quistes de dinoflagelados (fig. 10C) y en la fauna fósil compuesta por un reducido número de fósiles de bivalvos mitílidos pertenecientes a la familia Mytilidae (Dra. Graciela Delvene, comunicación personal). En este yacimiento, los fósiles de los bivalvos todavía presentan sus dos valvas unidas por la charnela, que es la zona de articulación de las mismas (valvas en conexión), lo que indicaría que sus restos habrían sufrido un transporte muy corto y de baja energía antes de su depósito, ya que de otro modo las valvas se habrían desarticulado. La presencia de este grupo de bivalvos marinos, característicos de aguas salobres, junto con quistes de dinoflagelados, que son restos de organismos típicamente marinos, en los mismos depósitos donde se encuentran los restos vegetales, indicarían que el medio de depósito recibía aportes de aguas marinas de manera esporádica, ya sea por aportes mareales y/o debido a aportes por tormentas.

Relación con la actividad minera y repercusión social y científica del yacimiento de Estercuel

Tal como se ha comentado en la introducción, el yacimiento paleobotá-

nico estudiado se encontró en uno de los taludes de una mina a cielo abierto en las proximidades de la localidad de Estercuel. Originalmente, los terrenos en donde se sitúa el yacimiento estaban en el interior de la montaña y cubiertos por derrubios. De este modo, de no haber sido por las actividades mineras desarrolladas en la zona, las capas que contienen los fósiles estudiados habrían quedado ocultas a la vista y jamás se hubieran podido descubrir ni estudiar. A este respecto, es de destacar la importancia que para este estudio ha tenido la colaboración desinteresada de la empresa minera SAMCA, propietaria de los terrenos en los que se encuentra el mencionado yacimiento, permitiendo el acceso al mismo y dando todas las facilidades posibles para que estos importantes hallazgos pudieran recuperarse y darse a conocer. Por lo tanto, la consecución de los estudios llevados a cabo en este yacimiento demuestra que el desarrollo de las labores mineras y la protección del patrimonio paleontológico son dos actividades perfectamente compatibles.

Los fósiles de plantas encontrados en el yacimiento de Estercuel se hallan depositados, por el momento, en el Área de Paleontología de la Universidad de Zaragoza, mientras se completan los diferentes estudios que se están llevando a cabo con este material. Sin embargo, sería deseable que estos fósiles pudieran mostrarse al público en un futuro cercano, tal vez en alguna sala habilitada a tal efecto en la misma localidad en donde se encontraron, o donde dispongan las autoridades competentes. La finalidad principal de los estudios científicos desarrollados sobre estas plantas fósiles es la de dar a conocer al público la riqueza patrimonial que atesora nuestra comunidad, así como intentar arrojar luz a lo que estos hallazgos representan para la mejor comprensión de nuestra historia y de nuestro entorno natural.

En relación con lo expuesto anteriormente, el yacimiento de Estercuel se constituye como uno de los yacimientos paleobotánicos más importantes de España, y que fue visitado por los participantes en el Congreso Internacional de Ágora Paleobotánica. Este congreso internacional, que se desarrolló a principios del mes de julio de 2013, se llevó a cabo en la provincia de Teruel debido a la enorme riqueza paleobotánica que presentan los yacimientos de la provincia (Sender, 2012; Villanueva-Amadoz, 2009), y congregó a especialistas en paleobotánica de todo el mundo. Además de las jornadas de campo, también se llevaron a cabo varias sesiones científicas, que tuvieron lugar en las instalaciones del Centro de Arte Rupestre Antonio Beltrán, situado en la localidad turolense de Ariño, gracias al interés y disposición mostrados por la gerencia del Parque Cultural del Río Martín.

Conclusiones

La abundante y rica asociación de restos de flora fósil, descubierta en los depósitos de la unidad de margas de transición en las proximidades de la localidad de Estercuel (provincia de Teruel), incluye un conjunto de macro y microrrestos pertenecientes a diferentes grupos vegetales como algas verdes, licofitas acuáticas, pteridofitas, gimnospermas y angiospermas terrestres y acuáticas. Los restos de estas plantas fueron depositados en ambientes pantanosos y fluviales con influencia mareal. Algunas de estas plantas se desarrollaban en el interior de estos mismos ambientes (licofitas y angiospermas acuáticas) o en sus orillas (coníferas y algunas otras gimnospermas adaptadas a ambientes más secos), mientras que otras habrían habitado áreas algo más alejadas (otras gimnospermas coníferas). Los medios de depósito habrían recibido aportes

marinos por influencia mareal o debido a tormentas ocasionales.

Los datos palinológicos indican una edad de Albiense superior (Cretácico inferior terminal), unos 100 millones de años de antigüedad, para los depósitos donde se encuentra el conjunto de los restos. La asociación vegetal del yacimiento de Estercuel muestra una mezcla de elementos típicos tanto de las regiones paleogeográficas de Laurasia como de Gondwana para el Cretácico inferior en el noreste de España. Este yacimiento se constituye como una de las ubicaciones de referencia mundial para la paleobotánica del Cretácico, así como un exponente de primer orden de la riqueza patrimonial natural que alberga la provincia de Teruel.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Diputación General de Aragón la concesión de los permisos y subvenciones para el desarrollo de los trabajos de campo. Este artículo es una contribución a los proyectos CGL2011-27869, CGL2008-00809 y CGL2005-01121/BTE del Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España. Los autores agradecen a la empresa minera SAMCA por permitir el acceso al yacimiento y por su apoyo y disposición en los trabajos de excavación. Los autores han recibido apoyo económico del proyecto OTRI 2007-116 en colaboración con Paleomás S.L. Damos las gracias a la Dra. Zarela Herrera, del Servicio de Fotografía Paleontológica de la Universidad de Zaragoza, y a Dña. Raquel Sánchez-Pellicer por las fotografías de los macrorrestos de plantas fósiles. También agradecemos su apoyo y asistencia en los trabajos de campo a D. Cristóbal Rubio, D. Javier Gimeno y a los estudiantes de Ingeniería de Minas y Biología Marina de la Universidad de Vigo.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, M. J., RAMÍREZ DEL POZO, J. & RIBA, O., "Algunas precisiones sobre la sedimentación y paleoecología del Cretácico inferior en la zona de Utrillas-Villarroya de los Pinares, Teruel". *Estudios Geológicos*, vol. 27, n.º 6, 1971, pp. 497-512.
- GÓMEZ, B., COIFFARD, C., SENDER, L. M., MARTÍN-CLOSAS, VILLANUEVA-AMADOZ, U. & FERRER, J., "Klitzschophyllites, aquatic basal Eudicots (Ranunculales?) from the Upper Albian (Lower Cretaceous) of north-eastern Spain", *International Journal of Plant Sciences*, vol. 170, n.º 8, 2009, pp. 1075-1085.
- PARDO G., *Estratigrafía y sedimentología de las formaciones detríticas del Cretácico inferior terminal en el Bajo Aragón turolense* [tesis doctoral, inédita], Universidad de Zaragoza, 1979, 470 pp.
- SENDER, L. M., *Paleobotánica (macrorrestos) y paleoambientes del Albiense (Cretácico inferior terminal) en el norte de la provincia de Teruel (España)* [tesis doctoral, inédita], Universidad de Zaragoza, 2012, 714 pp.
- SENDER, L. M., GÓMEZ, B., DIEZ, J. B., COIFFARD, C., MARTÍN-CLOSAS C., VILLANUEVA-AMADOZ, U. & FERRER, J., "Ploufolia cerciforme gen. et comb. nov.: aquatic angiosperm leaves from the upper Albian of north-eastern Spain", *Review of Palaeobotany and Palynology*, n.º 161, 2010, pp. 77-86.
- SENDER, L. M., VILLANUEVA-AMADOZ, U., DIEZ, J. B., SÁNCHEZ-PELLICER, R., BERCOVICI, A., PONS, D., & FERRER, J., "A new uppermost Albian flora from Teruel province, Northeastern Spain", *Geodiversitas*, vol. 34, n.º 2, 2012, pp. 373-397.
- SORIA, A. R., *La sedimentación en las cuencas marginales del Surco Ibérico durante el Cretácico inferior y su control estructural* [tesis doctoral, inédita], Universidad de Zaragoza, 1997, 363 pp.
- VILLANUEVA-AMADOZ, U., *Nuevas aportaciones palinoestratigráficas para el intervalo Albiense-Cenomaniense en el Sector NE de la Península Ibérica. Implicaciones paleogeográficas y paleoclimáticas* [tesis doctoral, inédita], Universidad de Zaragoza, 2009, 632 pp.
- VILLANUEVA-AMADOZ, U., SENDER, L. M., DIEZ, J. B., FERRER, J. & PONS, D., "Palynological studies of the boundary marls unit (Albian-Cenomanian) from northeastern Spain. Paleophytogeographical implications", *Geodiversitas*, vol. 33, n.º 1, 2011, pp. 137-176.