

MINERALOGIA DE LAS MADERAS SILICIFICADAS DE PALMACES DE JADRAQUE (GUADALAJARA)

GARCIA GIMENEZ, R.; GIL SANCHEZ, I.; GARCIA GUINEA, J.
y LEGUEY JIMENEZ, S.

Departamento de Geología y Geoquímica. Facultad de Ciencias.
Universidad Autónoma de Madrid.

ABSTRACT.— The mineralogy of agatized woods in Autuniense vulcanoclastic host-materials have been studied.

They are found on the shore of the Palmaces de Jadraque (Guadalajara) reservoir.

These cellular structures have been fossilized by chalcedony and iron-oxides and sometimes they are perfectly preserved. Twenty per cent of the cells have kept their nucleous that are composed nowadays of cubical pyrites that associated of each being 1μ long.

A simple syndiagenetic fossilization process is exposed:

The pyrite grow inside the nucleous and the cells are filled with opal materials. Simultaneously, iron-oxides are rejected against the cellular walls.

The changes of colour depends on the intensity of this process.

RESUMEN.— Se estudia la mineralogía de unas maderas agatizadas englobadas en materiales vulcanoclásticos autunienses que afloran en los alrededores del embalse de Palmaces de Jadraque.

Algunos troncos conservan las estructuras celulares perfectamente fosilizadas en calcedonia y óxidos de hierro pudiéndose observar además que el 20% de las mismas conserva el núcleo formado por cubos de pirita de 1μ .

Se expone un sencillo mecanismo de fosilización syndiagenética mediante el cual se forman los núcleos con piritas y se ocupan las células con calcedonia. Segregándose simultáneamente los geles de hierro hacia los tabiques celulares lo que se traduce en cambios de color en función de la intensidad del proceso.

Introducción

El presente trabajo estudia unas maderas agatizadas fosilizadas por materiales volcánicos "Autunienses" en los alrededores del embalse de Palmaces de Jadraque (Guadalajara).

Estas formaciones están constituidas por series detríticas y por intercalaciones de niveles de rocas vulcanoclásticas silicificadas. Se trata de una formación bastante potente, que llega a los 700 mts aproximadamente, depositada en

una cuenca formada por la tectónica tardihercínica.

La actividad magnética que fosilizó y aplastó las maderas pertenece al vulcanismo de Atienza. Los fenómenos extrusivos tuvieron lugar en dos etapas bien diferenciadas, un primer episodio más importante al comienzo del Pérmico y un segundo menos voluminoso y residual muy relacionado con el primero. Son rocas de tipos primitivamente andesíticos y corresponden a emisiones de tipo domático.

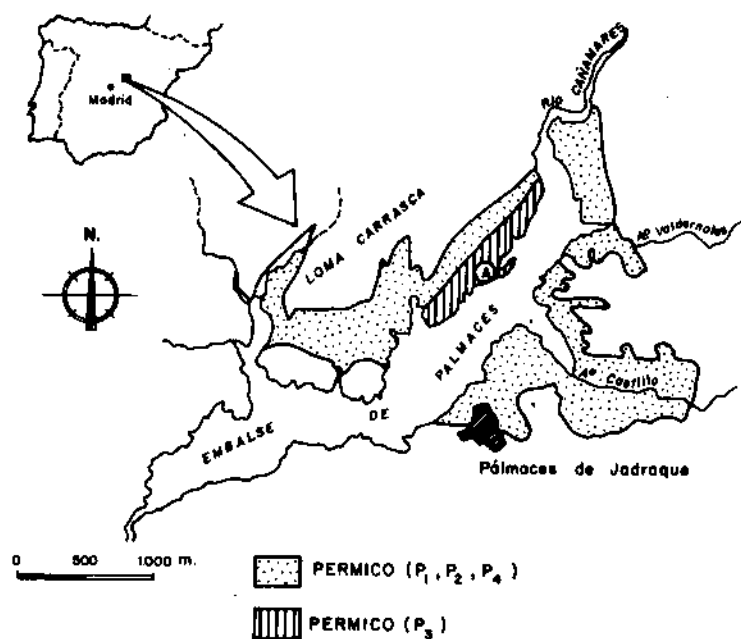
Las maderas originales fueron sepultadas y fosilizadas por los materiales vulcanoclásticos. Posteriormente, ocurrió el proceso de destrucción de la materia vegetal y la silicificación generalizada de la roca-caja incluidos los propios troncos. El detalle más interesante de este depósito, es que en ocasiones, se han conservado perfectamente las células vegetales.

Por haberse conservado, corteza, células y anillos de crecimiento y haberse producido la agatización total, se pueden encontrar troncos muy perfectos con alto valor gemológico.

Antecedentes

Las maderas agatizadas en facies pérmicas españolas se conocen desde antiguo, así GAVALLA (1927) ya describía los bosques fósiles del Pérmico del río Viar (Sevilla).

FALKE (1972, 1974a y b) estudió maderas fósiles del Pérmico de Europa Central y Occidental. En España, HERNÁNDO (1973) publicó sobre el Pérmico de la región de Atienza-Somolinos; RAMOS y SOPEÑA (1976) sobre la estratigrafía del Pérmico y Triásico del sector de Tamajón-Palmaces de Jadraque; SOPEÑA et al. (1977) sobre la Esthería Tenella en el Pérmico de Palmaces de Jadraque citando también la existencia de maderas fosilizadas en el mismo conjunto de niveles Autunienses que la Esthería.



A

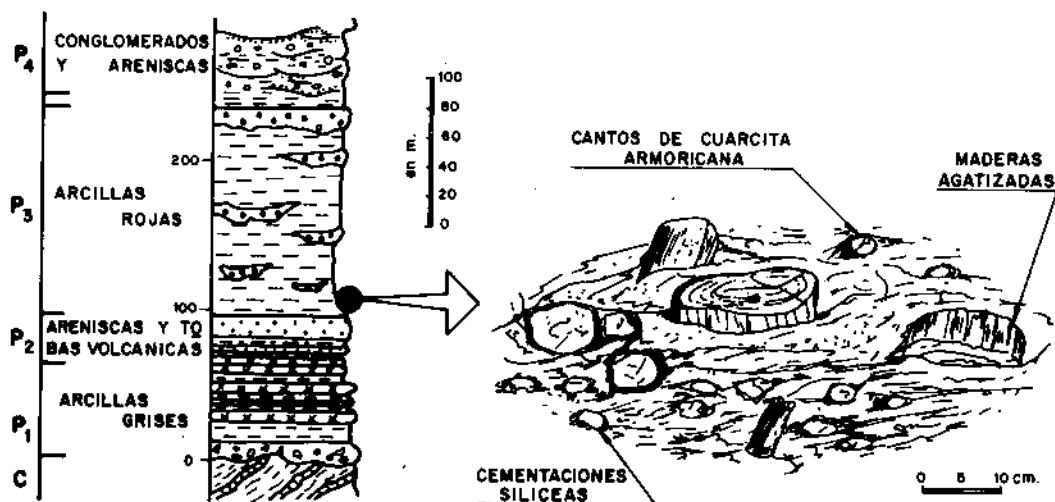


Fig. 1.— Situación y encuadre geológico de las maderas agatizadas (DE SOPENA et al., 1977; modificado).

Posteriormente, SOPEÑA (1979) estudia la estratigrafía del Pérmico y Triásico del NW de la provincia de Guadalajara. BEAUCHAMP (1980) la estructura y formas de silicificación de algunos bosques fósiles; PERNI (1980), ANCOCHEA et al. (1980) y HERNAN et al. (1981) las características del vulcanismo de Atienza; HERNANDO et al. (1980) la edad de los sedimentos interstratificados en el vulcanismo de Atienza.

GARCIA GUINEA (1981) pone de manifiesto sus notables cualidades gemológicas y su naturaleza de cuarzo, y por último VIRGILI et al. (1982) publican la cartografía del Triásico y Pérmico del borde oriental del Sistema Central y rama castellana de la Cordillera Ibérica incluyendo un mapa concreto de los alrededores del embalse de Palmaces de Jadraque.

Situación y características de afloramiento

SOPEÑA et al. (1977) dividen la serie Pérmica en cuatro unidades (P_1 , P_2 , P_3 y P_4 de muro a techo), y datan estas facies pérmicas con *Estherias Tenellas*, afirmando literalmente: "Es en la base de la unidad P_3 donde se encuentra el yacimiento de fauna, en unos niveles de arcillas rojas que contienen también restos de maderas maceradas inclasificables".

En la figura 1, se muestra una columna litológica de los materiales pérmicos con la simbología habitual, con detalle de los niveles arcillosos encajantes de las maderas.

Estos materiales agatizados se encuentran globados dentro de una masa de materiales vulcanoclásticos que han sufrido un intenso proceso de alteración hasta el punto de que es difícil reconocer los materiales andesíticos originales.

En algunas zonas existen vetillas de ágata en los bordes de alteración de vulcanoclastos e incluso en zonas más limitadas en relación con los materiales cuarcíticos lo que evidencia un proceso de silicificación generalizada, cuya fase más activa se manifiesta en los troncos.

Características de las maderas agatizadas

Las maderas, que en principio fueron cilíndricas, aparecen aplastadas por efectos del enterramiento. Las deformaciones se reflejan en la estructura interna mediante rotura del tejido vegetal.

Los tamaños son muy variados y van desde los 0,3 a los 25 cms de diámetro habiéndose muestreado un ejemplar de 56 kg.

Existen tipos con coloraciones de tonos rojos, verdes, blancos, marrones, negros, etc..., la mayoría están totalmente rellenos de masa de

ágata no estructurada y otros, conservan perfectamente las células y vasos liberianos de la madera. (foto 1).

Al microscopio de luz polarizada con luz normal, por el carácter leñoso de los troncos, se puede observar en secciones basales de los haces liberianos, unas células en forma similar al "panal de abeja". Las células mayores tienen entre 20 y 40 μ de diámetro.

Las células están formadas en la actualidad por cuarzo. Este cuarzo, con nícoles cruzados aparece con extinción ondulante, con varios dominios cristalinos y con las interferencias negras típicas de las calcedonias. Algunas de estas células-unidades de calcedonia aparecen "oxidadas", es decir, con óxidos de hierro que ocupan justo el dominio de dichas células. Llegan a tener en algunos casos las 100 μ . (Foto 2).

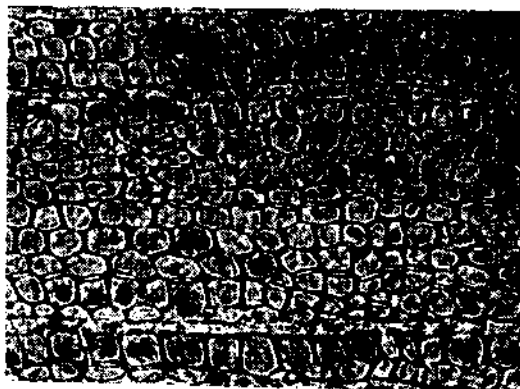


Foto 1. Células vegetales fosilizadas, conservando la estructura del tejido vascular. LN x 40.

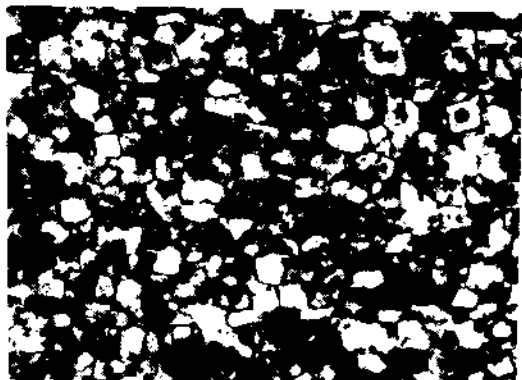


Foto 2. - Cristales de cuarzo cuya morfología se adapta a la estructura celular de la foto anterior. CL x 40.

Se distinguen dos tipos diferenciados de compuestos con hierro:

a) Agregados de piratas que ocupan los centros, en realidad se ven como bolas negras opacas. (Foto 1).

b) Oxidos de hierro que ocupan los tabiques y los bordes de las unidades celulares de cuarzo, pudiéndose observar el mismo fenómeno que en las maderas miocenas del lago del Nilo Azul, Etiopía (BEAUCHAMP, 1980), donde los tabiques intercelulares tienen mayor contenido en óxido de hierro y menor en SiO_2 que el resto de la célula.

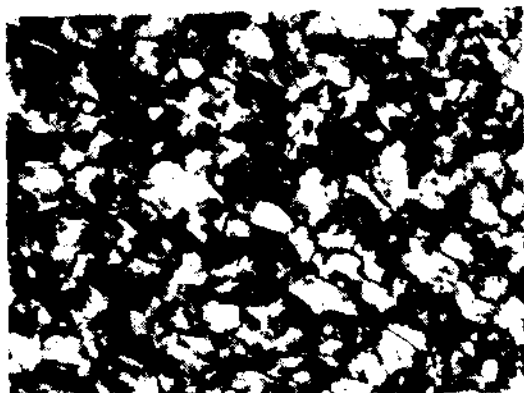


Foto 3. - Transformaciones diagenéticas de cristales de cuarzo destruyendo la estructura celular. NC x 40.

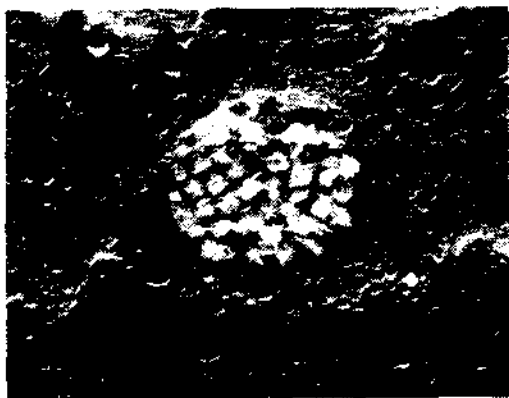


Foto 4. - Detalle de una célula silicificada con agrupaciones de cubos de pirita. Cada división de la escala es de 1μ .

La distribución de las piratas es irregular y sólo afecta a un 20% aproximado de las células. El reparto de las mismas, en ocasiones es zonal, pudiéndose observar un límite rectilíneo de las zonas con y sin piratas.

Las deformaciones y roturas antes mencionadas se observan perfectamente, en algunos casos

sólo aparecen como débiles curvaturas y en otros, con fuerte intensidad y rotura del tejido vegetal.

Cuando las roturas son mayores, se produce un "colapsamiento del tejido vegetal" y una completa sustitución por sílice no estructurada biológicamente, de forma que aparecen masas informes de cuarzo de múltiples colores, dependiendo fundamentalmente de la proporción de óxidos de hierro. (Foto 3).

Al microscopio electrónico de barrido se comprueba la estructura celular y se observan con gran perfección las formas cúbicas de las piratas y su tamaño de 1μ . (Foto 4). Asimismo se distingue con nitidez el agrupamiento y delimitación del conjunto de piratas en una área redondeada situada en los centros celulares. El barrido de Fe sube al pasar la sonda electrónica por estas agrupaciones, (Foto 5).

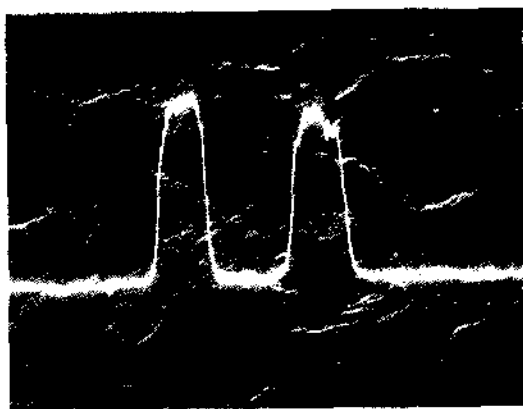


Foto 5. - Line scanning de hierro en las células mineralizadas.

Se han detectado unas pequeñas cavidades con carbonato cálcico no estructurado.

Para analizar las diferentes partes de los troncos, se han distinguido las siguientes zonas:

- a) Corteza (CORTEZA).
- b) Tejido vegetal perfectamente estructurado (MARRON y NEGRO).
- c) Zonas de colapsamiento con sustitución y dentro de estas; se subdividen:

- 1) CARNEOLA
- 2) BLANCA
- 3) MARFIL
- 4) AMARILLENTO
- 5) NEGRA

Los análisis químicos por vía húmeda se han centrado en el estudio de los elementos minoritarios, eliminando la sílice y evitando así las interferencias. Una vez puesta la muestra en solución, las concentraciones se determinaron por espectrometría de absorción atómica. (Tabla 1).

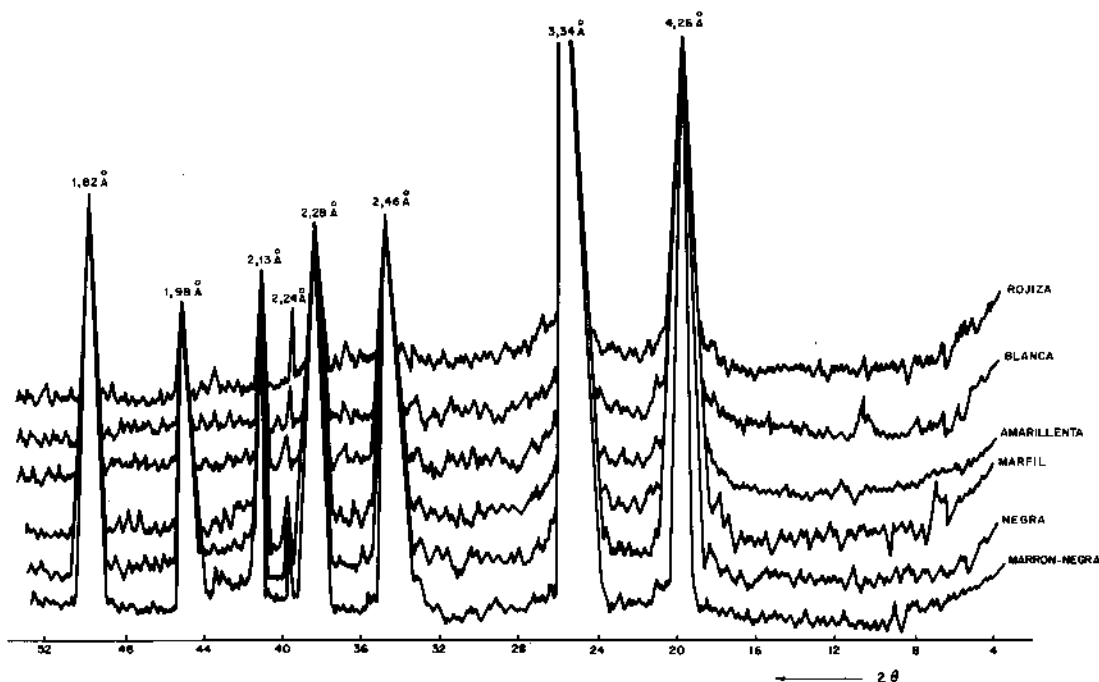


Fig. 2.— Diagramas de Rayos X de maderas agatizadas.

Se puede observar que en las zonas de "carneola" el porcentaje de hierro aumenta.

Los diagramas de difracción de rayos X, (mé-

TABLA I

Análisis químicos por vía húmeda de las diferentes partes de los troncos. Los resultados se expresan en tanto por ciento.

	Al	Mg	Mn	Cr	Fe	Zn	Cu
corteza	5,40	1,35	0,24	0,43	20,97	0,28	0,48
marfil y negro	5,02	2,56	0,27	0,42	20,56	0,52	1,20
carneola	10,35	2,43	0,36	0,37	33,13	0,40	0,69
(rojiza) blanca	4,83	2,63	0,22	0,45	20,49	0,24	0,56
marfil	5,35	2,45	0,24	0,38	20,52	0,37	0,52
negra	5,06	1,35	0,24	0,43	20,97	0,28	0,48
amarillenta	5,10	2,42	0,21	0,41	20,90	0,32	0,45

todo del polvo) a partir de las diferentes muestras, ponen de manifiesto un claro predominio de cuarzo, lo que contrasta con la creencia general de considerar estos materiales constituidos fundamentalmente por sílice amorfa (silópalos). No obstante, considerando los valores del índice de cristalinidad establecido por MURATA y NORMAN (1976), se pone de manifiesto que los valores de cristalinidad deficiente a media, correspondiendo los valores más altos a los tonos marfil y carneolares y los más bajos a corteza y marrones oscuros y negros, (figura 2).

En las zonas de más baja cristalinidad es po-

sible reconocer la presencia de ópalo tipo C-T mediante la subida en campana del pico 4,30 Å que se confunde con el 4,26 Å del cuarzo, así como el 4,11 Å también del ópalo tipo C-T.

Es significativo también la presencia en la mayoría de las muestras de illita, esmectita e interestratificados, así como indicios de caolinita en las muestras de corteza.

No se ha detectado la presencia de pirita comprobada mediante scanning, pero sí la de goethita (4,15 Å) para las fases más evolucionadas de sílice de tipo carneolar o marfil. Estos datos están de acuerdo con los expuestos por STEIN (1982) quien estudia la recristalización de la sílice en maderas petrificadas encontrando una secuencia ópalo tipo A, ópalo tipo B y cuarzo.

Con objeto de establecer una relación de la composición de los oligoelementos de las maderas agatizadas con los materiales volcánicos, se ha procedido a realizar análisis químicos de los mismos, cuyos resultados figuran en la tabla II.

De estos análisis químicos, cabe resaltar el gran contenido en sílice de las vulcanoclastitas procedentes del proceso general de silificación. La existencia de los mismos elementos moderadamente raros en el encajante y en los troncos en cantidades proporcionales parece apuntar hacia una relación genética entre ambos.

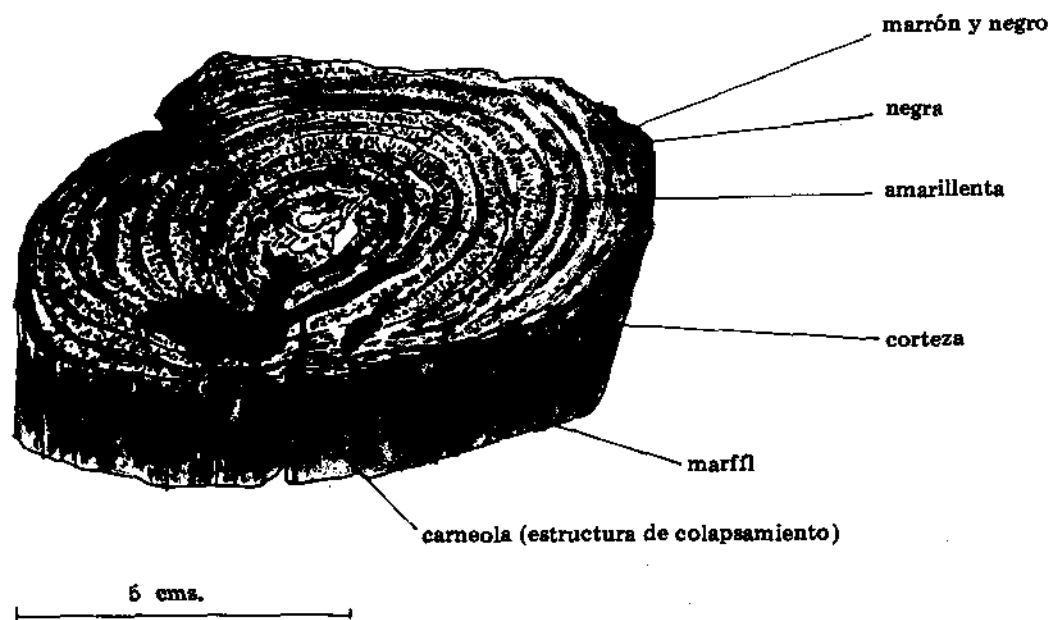


Fig. 3.— Tipos de coloraciones en las maderas agatizadas. X. 1.

La parte central de las maderas agatizadas recuerda a la médula del helecho tipo PSARONIUS, (figura 3).

TABLA II

Análisis químico por vía húmeda de los materiales vulcanoclásticos alterados.

SiO ₂ ———	63,05	Cr ₂ O ₃ ———	0,45
Na ₂ O ———	14,12	CaO ———	0,43
K ₂ O ———	10,23	MnO ———	0,02
Al ₂ O ₃ ———	6,30	Mo ———	0,30
Fe ₂ O ₃ ———	3,56	ZnO ———	0,02
MgO ———	1,28		

Los anillos concéntricos recuerdan a la estructura de las dicotiledóneas por lo que podría tratarse de una PTERIDOSPERMA, pues en estas plantas se encuentran mezclados ambos tipos de caracteres.

Esta pteridosperma, está entre las mono y las dicotiledóneas y podría tratarse de una preangiosperma del tipo WALKIA. O de acuerdo con BROUTIN (1978) donde indica que las maderas fósiles del pérmico del río Viar (Sevilla) son "Dadoxylon (Cordiaoxylon) sp", y por analogía y similitud con éstas podrían tratarse también de dadoxylons.

En todo caso se trata de ejemplares perfectamente estudiables y se pueden datar como pér-

micos y ser correlacionados con la Steria Tene-lla JORDAN encontrada en estos mismos niveles por SOPENA et al. (1977).

A pesar de la perfección de los anillos de estas pteridospermas, sería muy aventurado hacer especulaciones dendrocronológicas debido a que en estos ambientes permotriásicos son muy frecuentes las oscilaciones climáticas y las variaciones de humedad, por lo que los anillos indican condiciones paleoecológicas locales.

Las maderas agatizadas presentan un excelente comportamiento de lapidación tanto en secciones planas, con discos planos; en cabujones con muelas de carburo de silicio, como en piedras barrocas en los tambores volcadores. Son fácilmente trabajables dentro de la grandureza típica de las calcedonias. Por la variedad de coloraciones se obtuvieron jaspes, calcedonias, ónix, ágatas bandeadas, etc...

Génesis y conclusiones

La historia de las maderas agatizadas comenzó hace 280 millones de años aproximadamente en el período Pérmico, en un bosque de pteridospermas con abundancia de Dadoxylons. La actividad del vulcanismo de Atienza determinó su muerte por enterramiento en materiales piroclásticos y su inmediato aplastamiento, con roturas de sus tejidos vegetales. Posteriormente, estos materiales vulcanosedimentarios sufrieron un pequeño transporte fluvial, recogiendo fragmentos de la cuarcita armoricana infrayacente y

fueron de nuevo sedimentados formando un conjunto vulcanoclástico de características muy parecidas a los actuales.

Por subsidencia tectónica de la cuenca de Palmaces de Jadraque, el conjunto de materiales sufrió un mayor enterramiento con elevación de la presión y moderada temperatura, (sin llegar a 50°C).

Los fluidos diagenéticos se enriquecieron en los elementos mayoritarios del medio, es decir, sílice procedente de las cuarcitas armorianas y hierro procedente de la descomposición de los ferromagnesianos de la andesita. La circulación de los mismos por las maderas produjo la descomposición de la madera y su sustitución por sílice, pirita y óxidos de hierro.

Los núcleos de las células muy probablemente tuvieron cistinas con puentes de disulfuro y así tendrían carácter reductor y alto contenido en azufre. Con el aporte de fluidos ricos en hierro la explicación de la formación de la pirita es sencilla. No hay que olvidar que los fluidos también podrían llevar azufre en forma de sulfatos procedente, en última instancia, del vulcanismo andesítico.

La silicificación masi-simultánea produjo una expulsión de los óxidos de hierro fuera de las redes del cuarzo, depositándose en los tabiques intercelulares y una total litificación de los troncos.

Las zonas de colapsamiento celular fueron totalmente rellenadas por sílice, en principio amorfa y después recristalizada a cuarzo. Debido a la complejidad y/o cantidad de fluidos,

con diferentes contenidos en diversos elementos químicos, las maderas presentan diversidad de coloraciones. En este sentido, las carneolas presentan alto contenido en aluminio, hierro y manganeso, las calcedonias blancas bajo contenido en aluminio, manganeso y zinc, las zonas oscuras menor contenido en calcio-magnesio, etc...

Es interesante comprobar como este fenómeno no aparece aislado, así, por ejemplo, BROUTIN (1978), muestra fotografías de *Dadoxylon* de Río Viar (Sevilla) con bolas negras en los centros de células vegetales que seguramente también son piritas.

Las características geotectónicas de la cuenca de Palmaces de Jadraque que preservaron a estos materiales de posteriores procesos geológicos y su naturaleza de resistentes ágatas han hecho que haya sido posible la conservación del tejido vegetal con tan increíble delicadeza.

Agradecimientos.— En la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid, la doctora Alvarez Ramis nos explicó muy amablemente la paleobotánica de estas maderas y el doctor Sopena nos prestó información y ayuda sobre bibliografía y estratigrafía del Pérmico de este afloramiento.

Los datos de scanning fueron suministrados por el Dr. Medina de nuestro Departamento de Geología y Geoquímica.

El gemólogo Alonso Leache efectuó diversas pruebas y ensayos de lapidación de estas ágatas.

BIBLIOGRAFIA

- ANCOCHEA, E.; PERNI, A. y HERNAN, F. (1980).— *Caracterización geoquímica del vulcanismo del área de Atienza (prov de Guadalajara, España)*. Estudios geol. 36, 327-337.
- BEAUCHAMP, J. (1981).— *Structure et mode de silicification de quelques bois fossiles*. Sci. Geol. Bull. 34, 13-20.
- BROUTIN, J. (1978).— *Dadoxylon (Cordaxylon) sp. Grand'eury, 1877. Note préliminaire sur les bois bossiles du permien du Rio Viar (Province de Séville, Espagne)*. 103^e Congrès National des Sociétés Savantes, Nancy, 1978, fasc. II, 47-52.
- FALKE, H. (1972).— *The paleogeography ant the continental Permian in Central-West, and in part of South Europe. Essays on European Lower Permian*. Ed. H. Falke, Leiden, 281-299.
- FALKE, H. (1974a).— *Die Unterschiede in den Sedimentationsvorgängen zwischen dem Autunien und Saxonien von Mittle- und Westeuropa*. Geol. Rundsch. 63: 819-849.
- FALKE, H. (1974b).— *Das Rotheigende des Saar-Nahe-Gebietes. Uber. u. Nitt. oberch. geol. Ver. 56. 1-14.*
- GARCIA GUINEA, J. (1981).— *Tesis doctoral. Yacimientos españoles de minerales de interés gemológico*. Zaragoza.
- GAVALA, J. (1927).— *Memoria correspondiente a la Hoja de Santillana*. Bol. Inst. Geol. Min. Esp. T IX, I, 79.
- HERNAN, F.; PERNI, A. y ANCOCHEA, E. (1981).— *El vulcanismo del área de Atienza. Estudio petrológico*. Estudios geol. 37, 13-25.
- HERNANDO, S. (1973).— *El Pérmico de la re-*

- gión Atienza-Somolinos (Provincia de Guadalajara)*. Bol. Inst. Geol. Min. Esp. 84, 231-235.
- HERNANDO, S.; SCHOTT, J.J.; THUIZART, R. y MONTIGNY, R. (1980).— *Age des auderites et des sédiments interstratifiés de la région d'Atienza (Espagne): étude stratigraphique, géochronologique et paléomagnétique*. Sc. Géol. Bull. 32, 119-128.
- MURATA, K.J. y NORMAN, M.B. (1976).— *An index of crystallinity for quartz*. Am. Jour. Sci. 276, 1120-1130.
- PERNI, A. (1980).— *Estudio petrológico y geoquímico del volcanismo del área de Atienza*. Tesis de licenciatura. Fac. Ciencias, Geol. Univ. Comp. Madrid.
- RAMOS, A. y SOPEÑA, A. (1976).— *Estratigrafía del Pérmico y Triásico en el sector Tamajón-Pálmaces de Jadraque (Provincia de Guadalajara)*. Est. Geol. 32, 61-76.
- SOPEÑA, A.; FEYS, R.; RAMOS, A. y VIRGILI, C. (1977).— *Estheria Tenella en el Pérmico de Pálmaces de Jadraque (Prov. de Guadalajara)*. Cuad. Geol. Ibérica, vol. 4, 135-144.
- SOPEÑA, A.; VIRGILI, C.; HERNANDO, S. y RAMOS, A. (1977).— *Pérmico continental en España*. Cuadr. Geol. Ibérica, vol. 4, 11-34.
- STEIN, C.L. (1982).— *Silica recrystallization in petrified wood*. Jour. Sedim. Petrology, 52 (4), 1277-1282.