

ESTUDIO DE LA MADERA PETRIFICADA DE LA FORMACIÓN MESA (PLEISTOCENO), ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA POR MICROSONDA ELECTRÓNICA CON ANÁLISIS DE RAYOS-X (EPMA)

S. Lo Mónaco*, L. López

Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias de la Tierra.

* Autor de Correspondencia, email: salvador.lomonaco@ciens.ucv.ve, Fax. +58 212-6051152.

Recibido: Julio 2013. Aprobado: Abril 2014.

Publicado: Mayo 2014.

RESUMEN

Cuatro muestras de madera petrificada colectadas en Pariaguán (estado Anzoátegui, Venezuela), y asociadas a la Formación Mesa (Pleistoceno) fueron analizadas por difracción de rayos-X (DRX) y microsonda de electrones con análisis de rayos-x (EPMA), para determinar su composición mineralógica y química. A nivel macroscópico, se observaron elementos típicos de la madera, como vasos, tejido fibroso y tejido parenquimático radial y axial, los cuales están bien replicados. Las características anatómicas identificadas es los restos de madera silicificada sugieren que pertenece al género *Maclura* Nutt, y a las especies *M. tinctoria*, y/o *M. brasiliensis*. Todas las muestras están constituidas por uno o más de los siguientes minerales: cuarzo, ópalo y calcedonia. El análisis determinó las estructuras originales de la madera y dio indicaciones importantes sobre los procesos de petrificación por minerales de sílice. Los resultados sugieren que la silicificación ocurrió a través del mecanismo de impregnación, donde los fragmentos de madera fueron soterrados rápidamente en condiciones anóxicas, lo que inhibió la descomposición de la materia orgánica y favoreció la silicificación con preservación de las estructuras originales. Estas condiciones pudieron ocurrir en un paleoambiente de sedimentación fluvio-deltaico y paludal que caracterizó a la Formación Mesa.

Palabras clave: Formación Mesa, Cuaternario, silicificación, madera petrificada, EPMA.

STUDY OF PETRIFIED WOOD FROM MESA FORMATION (PLEISTOCENE), ANZOATEGUI STATE, VENEZUELA BY ELECTRON PROBE MICROANALYSIS (EPMA)

ABSTRACT

The mineralogical and chemical compositions of four samples of petrified wood, collected at Pariaguán (Anzoátegui, state, Venezuela) and associated with the Mesa Formation (Pleistocene), were examined by X-ray diffraction (XRD) and electron probe microanalysis (EPMA), respectively. Macroscopic inspection of the samples revealed the presence of typical elements of wood, such as vessels, fibrous tissue, and radial and axial parenchyma tissues; featured in well-replicated patterns. Anatomical features identified in silicified wood debris suggest that the samples belong to the *Maclura* Nutt genus, and either the *M. tinctoria* or the *M. brasiliensis* species, or both. All the samples were found to consist of one or more of the following silica forms: quartz, opal, and chalcedony. The analysis determined the original structures of wood and gave important indications about the petrification processes by silica minerals. The result suggests that silicification occurred through an impregnation mechanism where wood fragments were buried quickly under anoxic conditions, which inhibited the decomposition of organic matter and favored the preservation of original structures. These conditions may have been facilitated in the fluvio-deltaic and paludal sedimentation paleoenvironments, characteristic of the Mesa Formation.

Keywords: Mesa Formation, Quaternary, silicification, petrified wood, EPMA.

INTRODUCCIÓN

El proceso que transforma los tejidos blandos de las plantas (celulosa, hemicelulosa y lignina) [1] a una roca dura (ópalo, calcedonia, moganita, cuarzo- α) [2-4], conservando la estructura original de la madera, ha sido designado como litificación, petrificación, silicificación, fosilización, mineralización y permineralización [5,6]. Otras especies minerales que pueden estar presentes en la madera petrificada son goethita, hematita, calcita, dolomita, pirita, calcopirita, galena, esfalerita, apatito [3,4,7,8]. Las investigaciones de la madera petrificada son de interés en distintas disciplinas de estudio como la geología, botánica, ecología, climatología y cronología [2,3, 8-13]. La madera petrificada se observa a nivel mundial en diferentes ambientes geológicos relacionados a sedimentos piroclásticos, como las cenizas volcánicas, donde la hidrólisis produce minerales de arcilla y sílice en solución; de fuentes hidrotermales ricas en sílice disuelta [1, 14], o por meteorización en ambientes de climas húmedos y cálidos donde los silicatos hidrolizados no están asociados a eventos volcánicos [5].

Se han propuesto dos mecanismos para la silicificación y formación de madera petrificada. El proceso de reemplazamiento considera que el material orgánico es sometido a descomposición en ambientes moderadamente cálidos con sílice disuelta. En este caso el tejido orgánico es reemplazado por material inorgánico rico en sílice. Como consecuencia, solo se preservan las secuencias de anillos que son reproducidas en el nuevo material. En el proceso de impregnación ocurre en presencia de soluciones que contienen sílice disuelta y silicatos de sodio y potasio que penetran en los tejidos, sin reemplazamiento. Como consecuencia del proceso de impregnación, el patrón de los anillos, los tejidos y las células se preservan [15]. Esta mineralización puede ocurrir a pH neutro a ligeramente ácido, en aguas superficiales, bajo condiciones anóxicas que inhiben la descomposición de la materia orgánica y donde las

concentraciones de sílice disuelta son superiores a los 140 ppm [1,14]. En resumen, la silicificación puede ocurrir si la madera se encuentra en contacto con aguas ricas en sílice disuelta, y coexisten mecanismos de degradación de la materia orgánica y sustitución por sílice en la estructura. La transformación de la estructura de la madera por sílice en solución a gel y micro cristales ocurre a una velocidad moderada, que permite que las estructuras originales de la madera se preserven mediante un mecanismo de rápido endurecimiento para constituir una estructura lo suficientemente resistente para su preservación en el tiempo geológico [16]. Por otra parte, la silificación puede ocurrir en paleoambientes fluviales, facies fluviales o lacustres con influencia volcánica o en ambientes que asociados a diversos eventos de emplazamiento volcánico [13,17].

Inicialmente se consideraba que se requerían largos periodos de tiempo (millones de años) para que ocurriera la silicificación [1], y se intentó utilizar el grado de cristalinidad del cuarzo, como un criterio para estimar la edad de la muestra silicificada, aunque dichos estudios no rindieron resultados concluyentes [18]. Sin embargo, para eventos volcánicos del siglo XIX se ha reportado silicificación de la madera, en periodos de 90 a 102 años [6] y por otra parte, para la silicificación en ambientes de fuentes termales, también se han propuesto periodos de tiempo cortos, de decenas a cientos de años [19].

En Venezuela, la Formación Mesa del Pleistoceno (estados Guárico, Anzoátegui y Monagas), se caracteriza por la presencia de restos de madera silicificada [20]. Con el objeto de interpretar el proceso de petrificación de la madera fósil asociada a la Formación Mesa, se realizó un estudio detallado sobre su composición mineralógica, distribución elemental y morfología a través del análisis por difracción de rayos-x (DRX) y microsonda de electrones con análisis de rayos-x (EPMA).

AREA DE ESTUDIO

La Formación Mesa del Pleistoceno (Fig. 1), abarca la región de los llanos centro-orientales y orientales de los estados Guárico, Anzoátegui y Monagas, con extensiones menores en los estados Sucre y Bolívar. Se caracteriza por la presencia de arenas de grano grueso y gravas, areniscas y conglomerados cementados con óxidos de hierro y lentes de arcilla. Las estructuras más resaltantes corresponden a estratificación cruzada, gradación, laminación paralela y depósitos caóticos. Esta Formación se sedimentó en un ambiente fluvio-deltaico y paludal, resultado de un extenso delta desarrollado en esta zona [20,21].

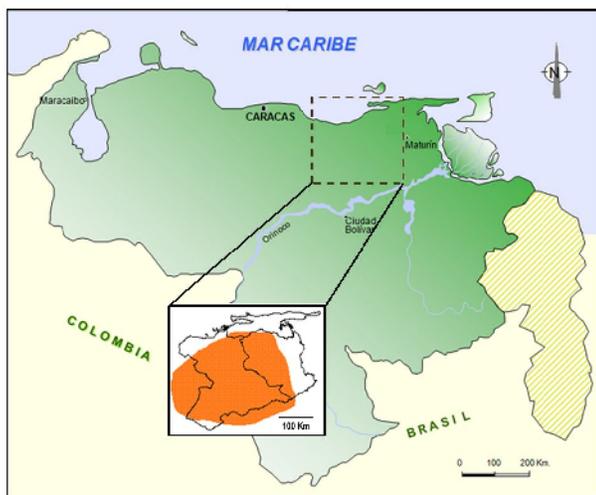


Fig. 1. Ubicación de la zona de estudio [21].

MATERIALES Y METODOS

Se analizaron cuatro muestras de madera petrificada (AMP-1, AMP-2, AMP-3, AMP-4) recolectadas en afloramientos de la Formación Mesa localizados en los alrededores del pueblo de Pariaguán, estado Anzoátegui (Fig. 1). Las muestras fueron lavadas y secadas y se realizó su descripción con lupa binocular (Wild Heerbrugg). Posteriormente se cortaron secciones en la dirección de las superficies: transversal, radial y tangencial con sierra de disco de borde diamantado (Fig. 2), de manera de observar las estructuras de la madera en estas tres direcciones. Una fracción de las muestras fue pulverizada para determinar la composición mineralógica por difracción de rayos-X (Philips, PW 1050/25).

Previo al análisis por EPMA, las muestras se colocaron en un evaporador de alto vacío y se cubrieron con grafito, para hacerlas conductoras. Posteriormente, se analizaron en un equipo EPMA JEOL JXA-8900R, utilizando las señales generadas por los electrones retrodispersados (BSE) y de rayos X característicos detectados mediante un espectrómetro de dispersión en energía (EDX). Con el fin de seleccionar las zonas de interés, las muestras fueron analizadas inicialmente a través de imágenes tipo COMPO (CP) o BSE y luego se generaron mapas de distribución elemental mediante el software JEOL Map Analysis V03.02. Las condiciones experimentales para obtener las imágenes CP y los mapas de distribución elemental fueron las siguientes: voltaje acelerador de 20 KV, corriente aplicada al filamento de 10^{-9} A, presión en la columna de 10^{-5} Torr y una resolución aproximadamente de 1 μ m.

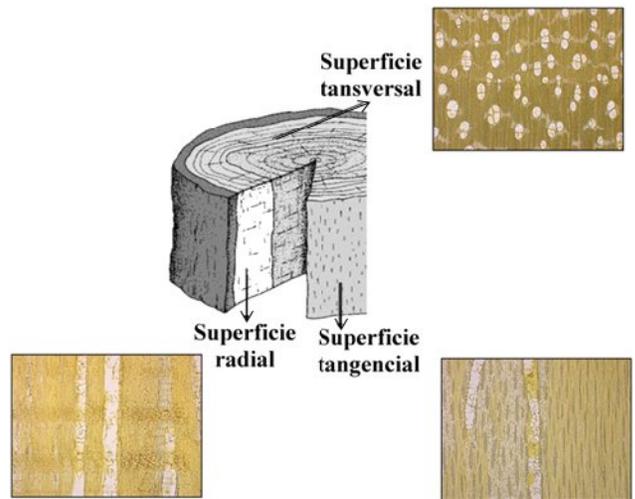


Fig. 2. Secciones de corte de la madera en las superficies transversal, radial y tangencial [22].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de las muestras: De la descripción de las muestras de mano se observó que todos los fragmentos de madera petrificada presentan elementos típicos de la madera. Estas muestras bastante masivas, presentan bajo grado de alteración, fracturas concoideas y exhiben colores crema, gris, marrón, ocre y anaranjado rojizo. Las coloraciones marrones y naranjas sugieren la presencia de oxi-hidróxidos de hierro (Fig. 3). En cortes transversales y

radiales se observaron los vasos y las células de parénquima axial (Fig. 3A). En algunas muestras se observaron los anillos de crecimiento y en otras fue posible observar a simple vista lo que originalmente correspondía a un nudo. Otra característica distintiva es la presencia de células parenquimáticas axiales, con un arreglo del tipo paratraqueal aliforme y confluyente (Fig. 3B). Todos los fragmentos de madera petrificada presentan cavidades irregulares entre 0,1 cm y 1,5 cm; donde se observaron cristales de cuarzo con crecimiento tipo drusa. Adicionalmente, en diferentes zonas de sus superficies, las muestras contienen granos de cuarzo (entre 0,2 cm y 0,5 cm) cementados por óxidos de hierro.

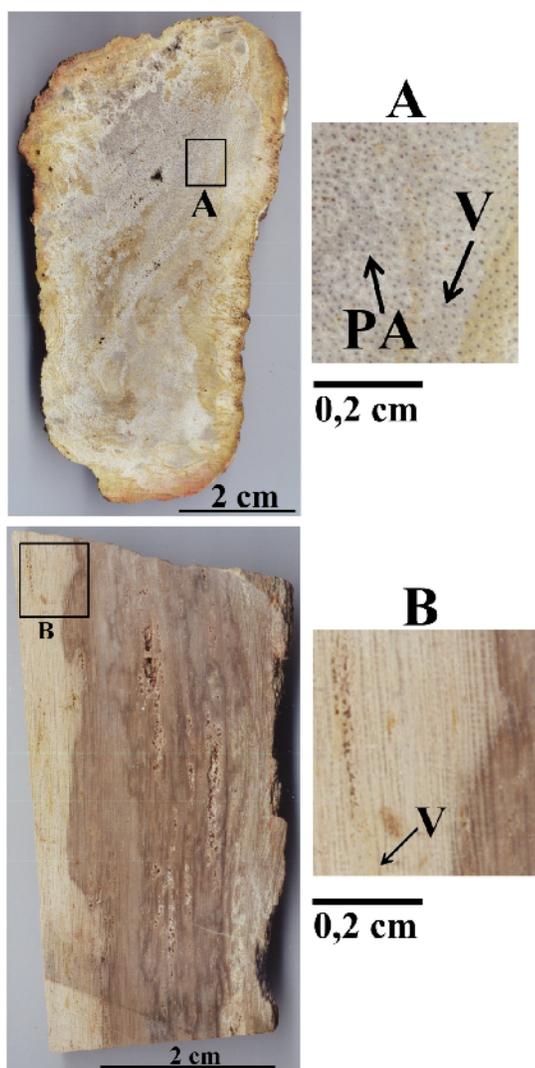


Fig. 3. A: Muestra AMP-3, sección transversal donde se observan vasos (V) y células de parénquima axial (PA). B: Muestras AMP-4, sección radial donde se observan vasos

y el parénquima axial (líneas horizontales de color blanco).

Composición mineralógica: El análisis de la composición mineralógica (DRX), indicó que el mineral principal es cuarzo. En las muestras AMP-3 y AMP-4, con abundantes zonas de color rojo (que se sugirió la presencia de oxi-hidróxidos de hierro), se realizó el análisis detallado por DRX. Sin embargo, no fue posible detectar la presencia de oxi-hidróxidos de hierro en los difractogramas posiblemente a su baja concentración o su baja cristalinidad (Fig. 4), los cuales podrían estar presentes ya que los conglomerados y areniscas de la Formación Mesa están cementados con estos minerales [21]. Este resultado sugiere que en la madera petrificada de la Formación Mesa, las concentraciones de minerales como hematita o goethita son bajas. Probablemente su origen está asociado a la cementación por oxi-hidróxidos de hierro durante la diagénesis de las arenas y gravas de la Formación Mesa.

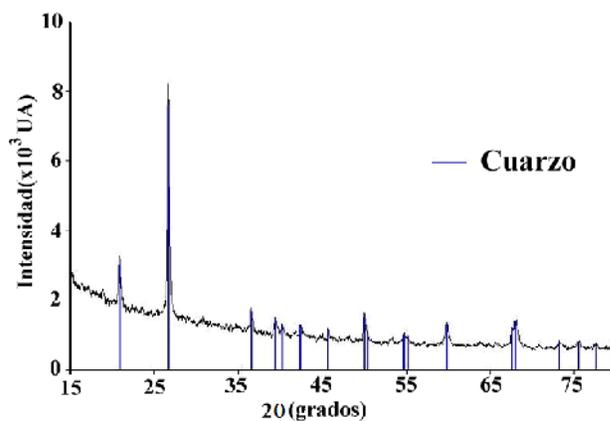


Fig. 4. Difractograma correspondiente al borde de alteración de la muestra AMST-3 (U.A.: unidades arbitrarias).

Análisis por EPMA: En las imágenes COMPO para los cortes transversales las estructuras más resaltantes fueron vasos, fibras y tejido parenquimático radial y axial (Fig. 5). En una parte alterada de la muestra cercana a su superficie, pueden observarse los radios en las cavidades generadas producto de la meteorización de la roca (Fig. 5A). También se observa la réplica de las células radiales y las paredes celulares de las fibras (Fig. 5B), el lumen de las células relleno, y el vaso que presenta la pared celular

con las punteaduras intervasculares y parte del parénquima axial rodeándolo (Fig. 5C). Adicionalmente se observan vasos múltiples, los cuales, consisten en la unión de dos o más elementos vasculares por sus paredes tangenciales y radiales (Fig. 5C).

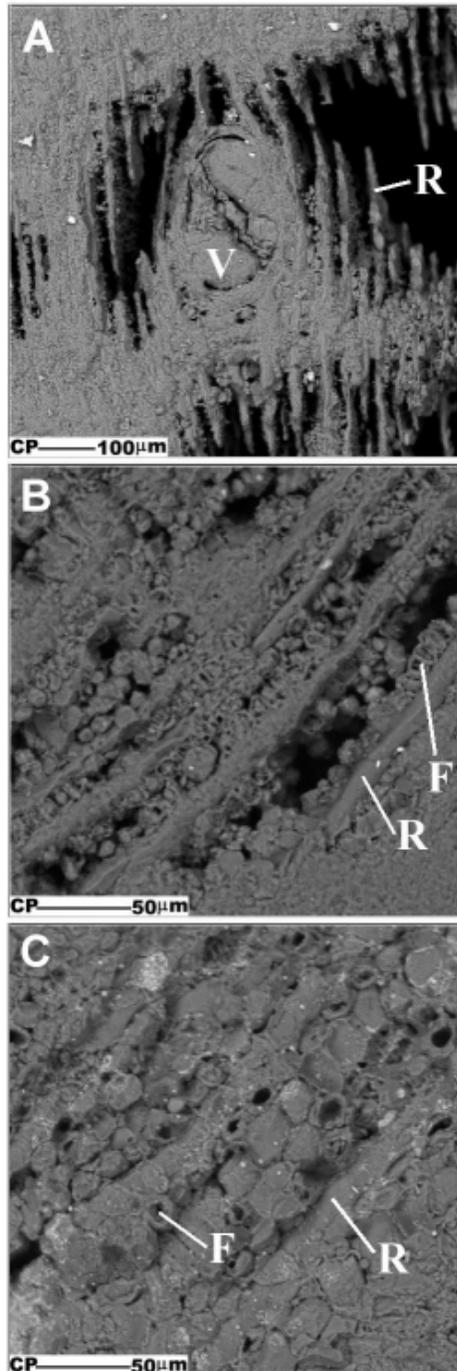


Fig. 5. Imágenes CP en sección transversal. R: radios, F: fibras, V: Vasos.

En la sección radial de las muestras (Fig. 6), fue posible identificar el tipo de radio basado en la presencia de dos

tipos de células: cuadradas o erectas y procumbentes, la presencia de estos dos tipos de células define una composición heterocelular. Dichos radios están orientados en sentido horizontal, perpendicular a los vasos, fibras y células parenquimáticas axiales (Fig. 6A, 6B). También se observaron punteaduras intervasculares, características de los elementos vasculares, arregladas en líneas diagonales llamadas alternas y con forma ovalada. Además se observa que las platinas de perforación son de tipo simple (Fig. 6C, 6D).

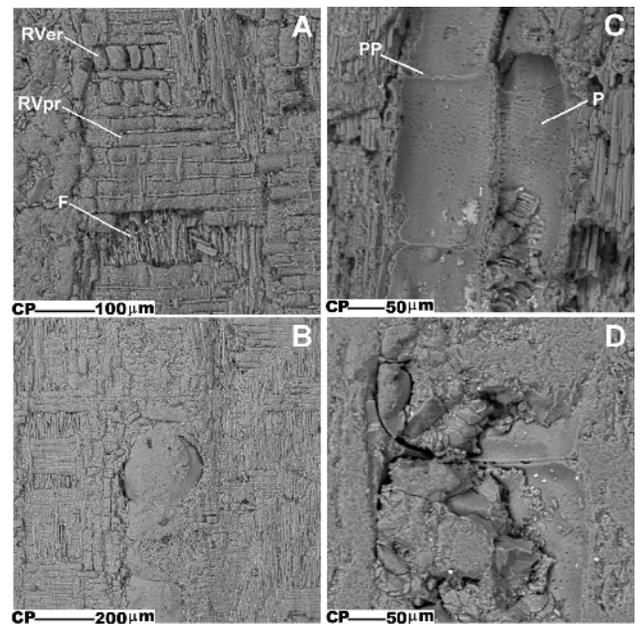


Fig. 6. Imágenes CP de sección radial. RVer: radios con células erectas, RVpr: radios con células procumbentes, PP: platina de perforación, P: punteaduras.

La figura 7 muestra una serie de imágenes CP correspondientes a la sección tangencial. Aquí también se observan los vasos y las punteaduras intervasculares (Fig. 7A), en algunos casos resultó difícil diferenciar entre las fibras y las células parenquimáticas axiales, debido al grado de meteorización de las muestras (Fig. 7B). Los radios presentan forma lenticular y están dispuestos discontinuamente de manera vertical y al igual que en la sección radial, pueden distinguirse las células erectas en el extremo del radio y las células procumbentes en el cuerpo (Fig. 7A, 7C).

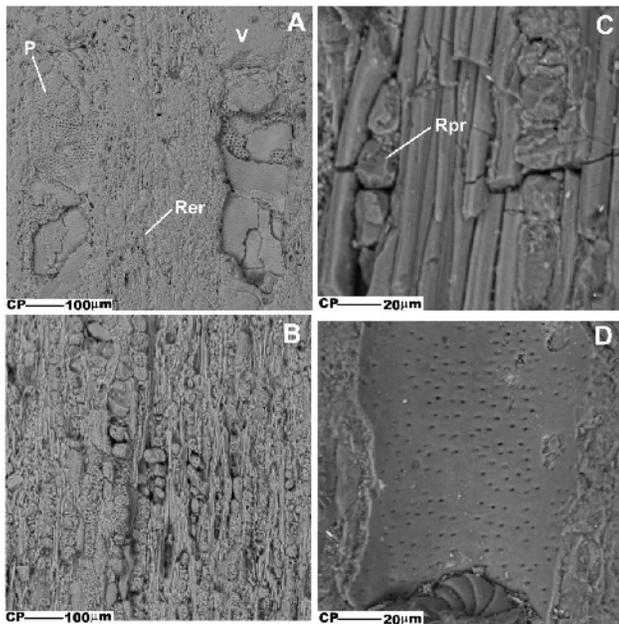


Fig. 7. Imágenes CP en sección tangencial. P: punteaduras intervasculares, Rer: radios con células erectas, Rpr: radios con células procumbentes, V: vasos.

El espectro obtenido por EPMA permitió determinar la presencia de Si y O, elementos ampliamente distribuidos en todas las muestras, e indicativo de la presencia de sílice. En algunas muestras se observaron zonas con tonalidades gris claro, que indican la existencia de otra fase mineral. El análisis en dichas zonas reveló la asociación de los elementos Fe y O, constituyendo posibles fases de oxi-hidróxidos de hierro (hematita y/o goethita), las cuales están formando parte del lumen, los espacios intercelulares y las paredes celulares de algunos vasos (Fig. 8).

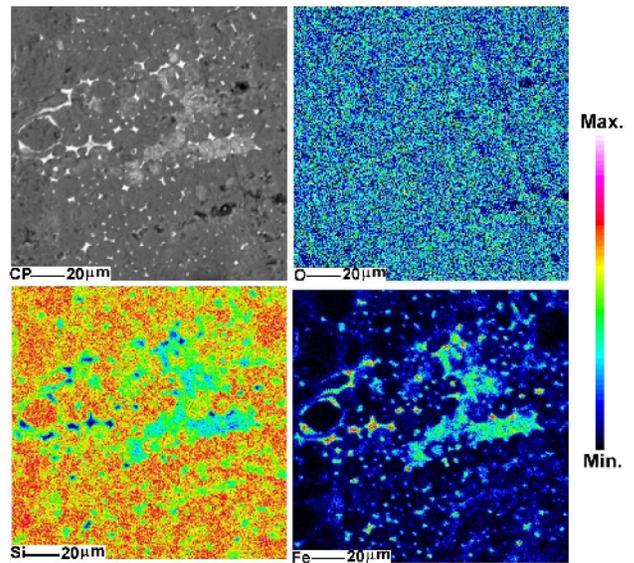


Fig. 8. Imagen CP y mapas elementales de O, Si y Fe. Sección Transversal.

Adicionalmente se detectaron asociaciones de los elementos O, Al, Si y K (Fig. 9), los cuales permiten inferir una fase mineral de arcillas tipo illita ($K(OH)_2Al_2(Si_3AlO_{10})$), que a su vez está asociada a oxi-hidróxidos de hierro relleno de vasos, en fracturas y en zonas alteradas o meteorizadas (Fig. 9). Aunque en la literatura existen ejemplos de madera goethitizada [3] es posible suponer que su presencia sea debida a un evento secundario, durante la cementación de las arenas y gravas, tal como se planteó anteriormente. En el caso de los minerales de arcilla, se ha propuesto que pueden coprecipitar con la sílice [14].

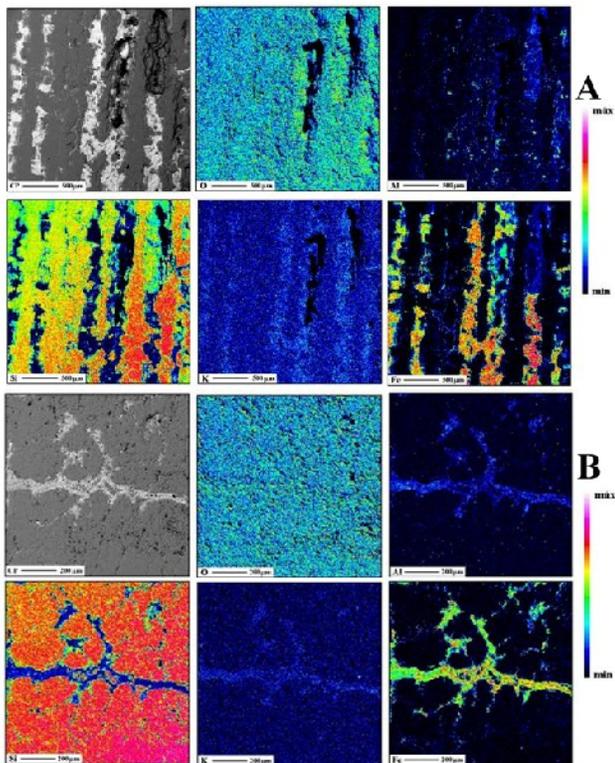


Fig. 9. Imagen CP y mapas elementales de O, Al, Si, K y Fe. Secciones radial (A) y transversal (B).

Cabe destacar que se detectó la presencia de cuarzo (Fig. 4) en diferentes hábitos y agregados cristalinos, como por ejemplo cristales prismáticos en el lumen de los elementos vasculares y en cavidades irregulares de diversos tamaños mostrando crecimiento tipo drusa (Fig. 10). La presencia de cristales euédricos de cuarzo indica espacio y tiempo suficiente para su formación, posiblemente en partes degradadas de los tejidos vegetales donde se donde se generaron espacios porosos que facilitaron la cristalización con hábitos bien definidos.

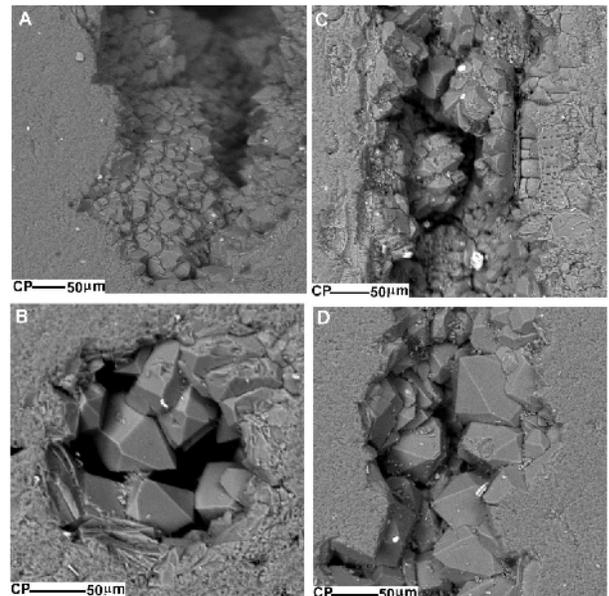


Fig. 10. Imagen CP de las muestras en sección transversal AMP-1 (A), AMP-2 (B) y en sección radial AMP-3 (C), AMP-4 (D).

También se observaron vasos rellenos con bandas paralelas de calcedonia, una de las variedades microcristalinas de cuarzo (Fig. 11A, 11B). La serie de bandas observadas es característica del ágata, el cual es un mineral que alterna capas delgadas de calcedonia de diferentes colores y porosidad [23]. En otros elementos vasculares fue posible apreciar agregados granulares y esféricos (Fig. 11C, 11D). En maderas silificadas de Madagascar se detectaron estructuras redondeadas, tipo framboides y se sugiere que estas son remanentes de estructuras orgánicas silificadas como polen o esporas [24]. Por otra parte, en ensayos de laboratorio de silificación también fueron observados micro agregados granulares [6]. Otro tipo de estructura observada en las paredes de algunas cavidades, presenta hábito botroidal (Fig. 11E), común tanto en el ópalo ($\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) como en la calcedonia (SiO_2) [23].

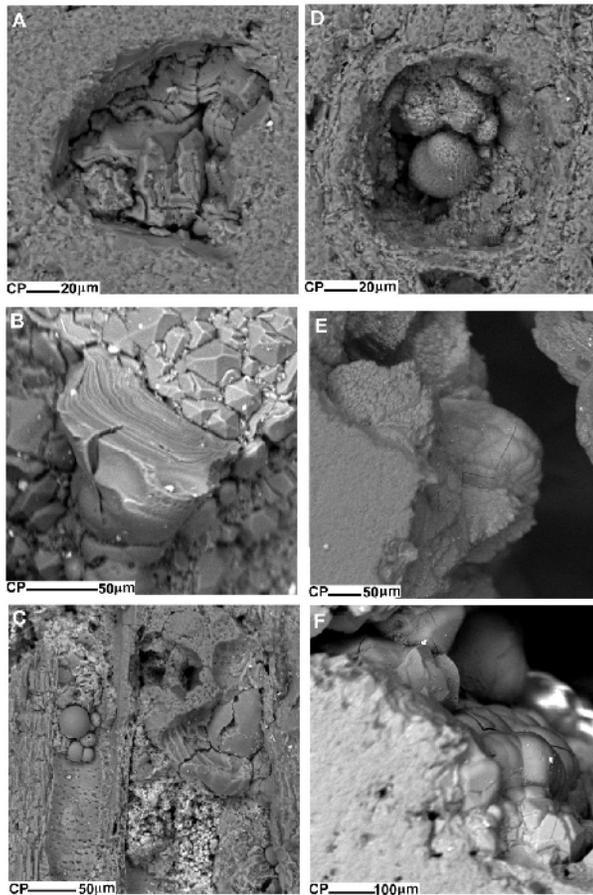


Fig. 11. Imágenes CP de elementos vasculares rellenos con ágata (A, B), agregados esféricos y granulares de SiO_2 (C, D) y cristales de SiO_2 con hábito botroidal (E, F).

Identificación de la especie de madera silicificada: A partir de los remanentes de estructura de la madera que se encuentran silicificadas, tales como: células parenquimáticas axiales del tipo paratraqueal aliforme y confluyente, platinas de perforación, punteaduras intervasculares y la presencia de tílides en los vasos, permitieron determinar que los fragmentos de madera petrificada analizados pertenecen al género *Maclura* Nutt., el cual está ubicado taxonómicamente dentro de la familia Moraceae. En Venezuela, las únicas especies representantes de este género son *M. tinctoria* (L.) D. Don ex Steud. y *M. brasiliensis* (Mart.) Endl. [25]. Estas dos especies presentan una serie de similitudes anatómicas entre sí, que a su vez coinciden con la mayoría de los elementos observados en la estructura de las muestras de madera petrificada como son platinas de perforación

simples, punteaduras intervasculares alternas, y parénquima axial aliforme y confluyente [22,26].

Las imágenes CP de la figura 12 muestran la réplica de los vasos y del tejido parenquimático radial y axial de una de las muestras estudiadas (Fig. 12A) que pueden compararse con una imagen microscópica de una sección transversal de la especie *M. tinctoria* (Fig. 12B), observándose similitud entre ambas.

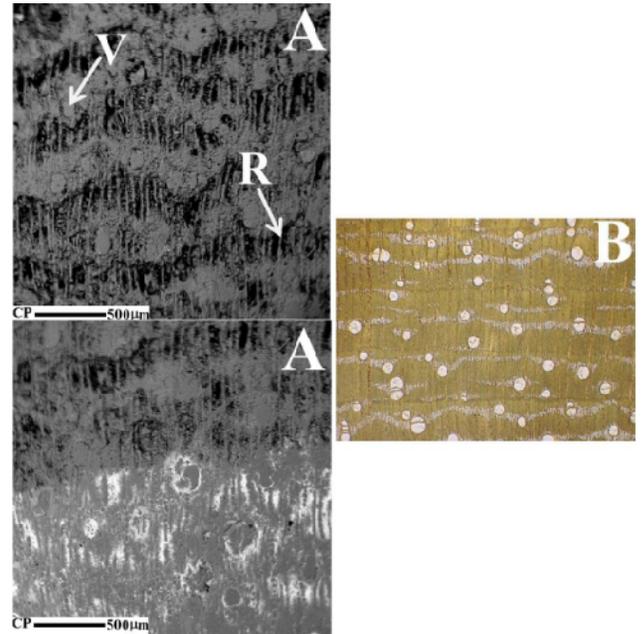


Fig. 12. Imágenes CP de dos zonas en sección transversal (A). Imagen microscópica de la especie *M. tinctoria*, sección transversal (B) [22].

Otra característica importante observada que contribuyó a determinar el género es la presencia de tílides, que además indica que la parte analizada de ese fragmento corresponde al duramen de la madera (Fig. 13).

A pesar de todas las coincidencias encontradas entre *M. tinctoria*, *M. brasiliensis* y las muestras de madera petrificada, existen ciertas características anatómicas que difieren entre ellas. Uno de los rasgos anatómicos para diferenciar entre las especies *M. tinctoria* y *M. brasiliensis* es la composición de los radios, la *M. brasiliensis* posee radios heterocelulares, mientras que los radios de *M. tinctoria* son homocelulares [27]. En las maderas silicificadas analizadas se observaron radios con células parenquimáticas procumbentes y cuadradas o erectas, lo

que indica la presencia de dos tipos de células (radios heterocelulares). Esto apoya que las muestras pertenecen a la especie *M. brasiliensis*. Sin embargo, las tílides, que fueron observadas en las muestras, son comunes en la especie *M. tinctoria*, pero no están reportadas para *M. brasiliensis* [22,26]. Estas características anatómicas sugieren que las maderas silicificadas de la Formación Mesa podrían corresponder a una o ambas especies.

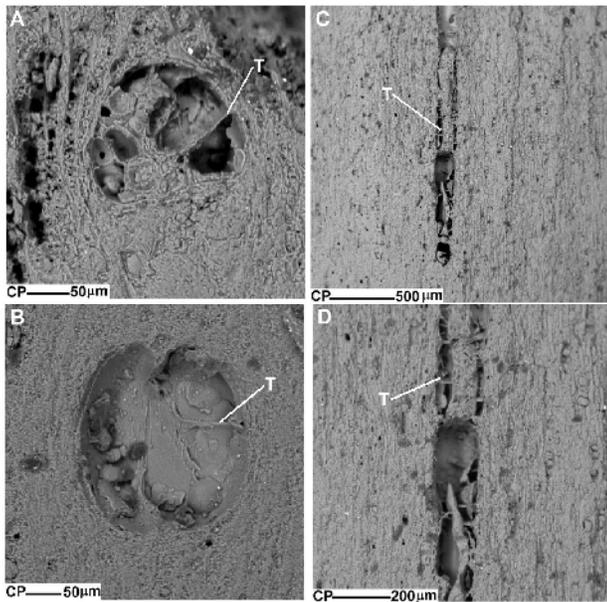


Fig. 13. Imágenes CP que muestran la réplica de las tílides (T) en los elementos vasculares. Sección transversal (A) y (B), sección tangencial (C) y (D).

Proceso de silicificación de la madera en la Formación Mesa: En los fragmentos de madera silicificada analizados, prácticamente todos sus espacios intra e intercelulares están rellenos con sílice, principal agente petrificante de la madera. Este proceso de silicificación ocurre tanto en maderas que han sido soterradas in situ como en maderas que han sido transportadas antes del soterramiento final [28]. Para las maderas petrificadas de la Formación Mesa, las observaciones de campo realizadas indican la existencia de fragmentos dispersos de madera silicificada, mas no la presencia de troncos fósiles en su posición de crecimiento, lo que sugiere transporte previo a la silicificación.

El hecho de que los tejidos de la madera estén bien replicados, sugiere que la silicificación ocurrió a través del mecanismo de impregnación [15]. Para ello, probablemente los fragmentos de madera fueron soterrados rápidamente, en condiciones reductoras, lo que inhibió la descomposición de la materia orgánica, favoreciendo la silicificación con preservación de las estructuras de la madera. Esto pudo ser posible en el paleoambiente de sedimentación de la Formación Mesa, del tipo fluvio-deltaica y paludal [20].

La litología de la Formación Mesa no está asociada a eventos volcánicos, por lo que la sílice involucrada en la petrificación no fue liberada debido a la alteración de cenizas volcánicas, la cual es la fuente de sílice más común en este proceso. El modelo que se aplica a la fuente de sílice para la petrificación de la madera corresponde a la liberación de sílice de la meteorización de silicatos, cuya fuente principal pudo ser el Escudo de Guayana, donde son comunes las rocas ricas en sílice [20].

Las condiciones de pH existentes durante la silicificación pudieron ser variables, ya que la solubilidad de la sílice es dependiente de este parámetro. Sin embargo, existe un consenso en la literatura, que la precipitación de sílice ocurre a pH ligeramente ácidos, cercanos a la neutralidad [1,6,14,19,29]. Es por ello que considerando la preservación de la madera en ambientes fluvio-deltaicos y paludales de la Formación Mesa, donde pudo ocurrir descomposición de materia orgánica y formación de sustancias húmicas se sugiere la existencia de un pH ligeramente ácido durante la silicificación.

CONCLUSIONES

La composición mineralógica y la distribución elemental determinada en las estructuras indican que la madera petrificada de la Formación Mesa está silicificada, en donde sus componentes principales pueden ser cuarzo, ópalo y/o calcedonia. Las arcillas como illita, pudieron coprecipitar con la sílice.

Como los tejidos de la madera están bien replicados, se sugiere que la silicificación ocurrió a través del mecanismo de impregnación en condiciones reductoras y pH ligeramente ácidos (cerca de pH neutro). La fuente de sílice probablemente provino de la meteorización de silicatos del Escudo de Guayana. Esto pudo ser posible en el paleoambiente de sedimentación de la Formación Mesa, del tipo fluvio-deltaica y paludal.

Los elementos estructurales de la madera como células parenquimáticas axiales del tipo paratraqueal aliforme y confluyente, platinas de perforación simples, punteaduras intravasculares alternas, tílides y la composición celular de los radios indican que la madera petrificada de la Formación Mesa pertenece al género *Maclura* Nutt., pudiendo corresponder a las especies *M. tinctoria*, *M. brasiliensis* o a ambas.

AGRADECIMIENTOS

Al CDCH de la UCV (Proyecto PG-03-00-5884/2005) y Petro-UCV (PDVSA-Universidad Central de Venezuela).
Al FONACIT (Proyecto LAB-2001001442).

REFERENCIAS

[1] Sigleo A.C, (1978) "Organic geochemistry of silicified wood, Petrified Forest National Park, Arizona" *Geochim Cosmochim Acta*. 42(9): 1397-1405.

[2] Kuczumow A., Chevallier P., Dillmann P., Wajnberg P., Rudaś M. (2000) "Investigation of petrified wood by synchrotron X-ray fluorescence and diffraction methods" *Spectrochim Acta B*. 55(10): 1623-1633.

[3] Kuczumow A, (2004) "Microprobe investigations of patterned natural and petrified biological objects" *J Alloy Compd*. 362(1-2): 71-82.

[4] Siurek J., Chevallier P., Roc C., Chund H., Youn H., Zięba E., Kuczumow, A. (2004) "Studies on the wood tissue substitution by silica and calcite during the preservation of fossil wood" *J Alloy Compd*. 362(1-2): 107-115.

[5] Weibel R, (1996) "Petrified wood from an

unconsolidated sediment, Voervadsbro, Denmark" *Sediment Geol*. 101(1-2): 31-41.

[6] Ballhaus C., Gee C.T., Bockrath C., Greef K., Mansfeldt T, Rhede D. (2012) "The silicification of trees in volcanic ash - An experimental study" *Geochim Cosmochim Acta*. 84: 62-74.

[7] Scurfield G., Segnit E.R. (1984) "Petrification of wood by silica minerals" *Sediment Geol*. 39(3-4): 149-167.

[8] Nowak J., Florek M., Kwiatek W., Lekki J, Chevallier P., Zięba E., Mestres N, Dutkiewicz E.M., Kuczumow A. (2005) "Composite structure of wood cells in petrified wood" *Mater Sci Eng C*. 25(2): 119-130.

[9] Klusek, M, (2012) "Silicified angiosperm wood from the Middle Miocene of Poland: *Ulmoxylon* in the Neogene cover of the Holy Cross Mountains, southern Poland" *Acta Palaeobot*. 52(2): 359-367.

[10] Tiwari R.P., Mehrotra R.C., Srivastava G., Shukla A. (2012) "The vegetation and climate of a Neogene petrified wood forest of Mizoram, India" *J Asian Earth Sci*. 61: 143-165.

[11] Kumarasamy D, (2013) "A fossil araucarian wood from the Sriperumbudur Formation, Tamil Nadu, India" *IJPAES*. 3(1): 50-55. Available online at www.ijpaes.com.

[12] Capretz R.L., Rohn R. (2013) "Lower Permian stems as fluvial paleocurrent indicators of the Parnaíba Basin, northern Brazil" *J S Am Earth Sci*. 45: 69-82.

[13] Mencl V., Holeček J., Rößler R., Sakal J. (2013) "First anatomical description of silicified calamitalean stems from the upper Carboniferous of the Bohemian Massif (Nová Páka and Rakovník areas, Czech Republic)" *Rev Palaeobot Palyno*. 197: 70-77.

[14] Sigleo A.C, (1979) "Geochemistry of silicified Wood and associated sediments, Petrified Forest National Park, Arizona" *Chem Geol*. 26(1-2): 151-163.

- [15] Kuczumow A., Vekemans B., Schalm O., Dorriné W., Chevallier P., Dillmann P., Ro Ch-U., Janssens, K., René V.G. (1999) "Analyses of petrified wood by electron, X-ray and optical microprobes" *J Anal Atom Spectrom.* 14(3): 435-446.
- [16] Kuczumow A., Chevallier P., Ro Ch-U., Wajnberg P., Kalita J., Siurek J. (2001) "Microspectrometry investigation of petrified wood from south-eastern Poland" *Mikrochim Acta.* 137(3-4): 173-183.
- [17] Matysová P., Rössler R., Götze J., Leichmann J., Forbes G., Taylor E.L., Sakala J., Grygar T. (2010) "Alluvial and volcanic pathways to silicified plant stems (Upper Carboniferous-Triassic) and their taphonomic and palaeoenvironmental meaning" *Palaeoeco.* 292(1-2): 127-143.
- [18] Kuczumow A., Pikus S., Ro CH-U., Sadowski P., Wajnberg P., Jurek M. (2001) "Structural investigations of a series of petrified woods of different origin" *Spectrochim Acta B.* 56(4): 339-350.
- [19] Akahane H., Furuno, T., Miyajima H., Yoshikawa T., Yamamoto S. (2004) "Rapid wood silicification in hot spring water: an explanation of silicification of wood during the Earth's history" *Sediment Geol.* 169: 219-228
- [20] González de Juana C., Iturralde J., Picard X. (1980) *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*, Ediciones Foninves, pp. 712-713.
- [21] Léxico Estratigráfico de Venezuela (2013) En <http://www.pdv.com/lexico/m40w.htm>. Versión: 2011. [Acceso: 10 de abril de 2013].
- [22] Richter H.G., Dallwitz M.J. (2000) "Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval" [online]. En <http://delta-intkey.com>. Versión: 25 de Junio de 2009. [Acceso: 10 de abril de 2013].
- [23] Klein C., Hurlbut Jr C.S. (1999) *Manual of mineralogy*, Vigésimo primera edición: John Wiley & Sons, Inc., pp. 524-532.
- [24] Yoon C.J., Kim K.W. (2008) "Anatomical descriptions of silicified woods from Madagascar and Indonesia by scanning electron microscopy" *Micron* 39(7): 825-831.
- [25] Huber O., Duno R, Riina R, Stauffer F., Pappaterra L., Jiménez A, Llamozas S., Orsini G. (1998) "Estado actual del conocimiento de la flora en Venezuela" Documentos Técnicos de la Estrategia Nacional de Diversidad Biológica". N° 1. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Caracas. 153 p.
- [26] ter Welle B.J.K., Koek-Noorman J., Topper S.M.C. (1986) "The systematic wood anatomy of the Moraceae (Urticales) IV. Genera of the Tribe Moreae with urticaceous stamens" *IAWA Bulletin.* 7(2): 91-128.
- [27] Martínez-Cabrera H.I., Cevallos-Ferriz S.R.S. (2006) "Maclura (Moraceae) wood from the Miocene of the Baja California Península, México: Fossil and biogeographic history of its closer allies" *Rev Palaeobot Palyno.* 140(1-2): 113-122.
- [28] Buurman P, (1972) "Mineralization of fossil wood" *Scripta Geol.* 12: 1-43.
- [29] Fengel D, (1991) "Aging and fossilization of wood and its comments" *Wood Sci. Technol.* 25(3): 153-177.