



ARTÍCULO / ARTICLE

# ESPECIES MADERABLES Y AGENTES PATÓGENOS DEL RETABLO DE LOS REYES DE LA CATEDRAL METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

## WOODEN SPECIES AND PATHOGENIC AGENTS OF THE ALTARPIECE OF THE KINGS OF THE METROPOLITAN CATHEDRAL OF MEXICO CITY

José Francisco Reséndiz Martínez<sup>1</sup>, Lilia Patricia Olvera Coronel<sup>2</sup>,  
Luis Vázquez Silva<sup>2</sup> y Cecilia Nieto de Pascual Pola<sup>1</sup>

### RESUMEN

El Retablo de los Reyes es una obra de arte en madera, elaborada de 1718 a 1737, que está ubicada en la Catedral Metropolitana de la Ciudad de México; es considerado patrimonio cultural y una muestra cumbre en su género, además de haber sido un ejemplo para la construcción de subsecuentes retablos en el país. Sin embargo, a través de los años sufrió de gran deterioro, por lo que se consignaron varias solicitudes para su restauración. El proyecto para emprender tal tarea se inició a finales de 2002 y finalizó en 2006, periodo en el cual se realizó el estudio aquí descrito, cuyos objetivos consistieron en determinar los agentes de su deterioro, las especies de madera que lo componen, así como el porcentaje de humedad de la misma. Para ello se seleccionaron ocho puntos en el retablo con evidencia de daño por hongos e insectos; de cada sitio se sacó una muestra de cuadrados de madera de 1 a 2 cm. Los resultados indican la presencia de un hongo de la familia Dematiaceae como causante del deterioro de la madera, que se manifiesta formando manchas; su ataque es muy frecuente, pero no llega a modificar sus propiedades químicas. De los insectos xilófagos se determinó a *Calymmaderus* sp., como el de mayor importancia. Durante el muestreo no se observaron nuevos orificios de salida de insectos. Se determinó que los taxa utilizados para elaborar el retablo corresponden a los géneros *Cupressus* y *Pinus*.

**Palabras clave:** Biodeterioro, *Calymmaderus* sp., Catedral Metropolitana, especies de madera, Hyphomycetes, Retablo de los Reyes

### ABSTRACT

The Altar of the Kings is a wooden masterpiece built between the years of 1718 to 1737, and it belongs to the Metropolitan Cathedral of Mexico City; it has been considered cultural heritage and a summit sample of its kind, as well as an example for altarpieces built later in the rest of the country. However, through the years it suffered great deterioration, which provoked many requests to restore it. The project to accomplish this task started at the end of 2002 and finished in 2006, time in which the actual study was made, with the objectives of finding the deterioration agents, the wooden species with which the piece was made as well as its moisture content. Therefore, eight points were chosen which exhibited damage by fungi or insects; from each one of them, 1 to 2 cm wooden square samples were taken. Results reveal the presence of a fungus of the Dematiaceae family as the cause of wood decay that becomes apparent through stains; its attacks are very frequent but it does not change its chemical properties. *Calymmaderus* sp. was the most important xylophagous insect. During the sampling process, no more new holes were found. The wooden species used in making the altarpiece belong to the *Cupressus* and *Pinus* genera.

**Key words:** Wood deterioration, *Calymmaderus* sp., Metropolitan Cathedral, wood species, Hyphomycetes, Altarpiece of the Kings.

Fecha de recepción / date of receipt: 28 de mayo de 2010. Fecha de aceptación / date of acceptance: 21 de junio de 2012.

<sup>1</sup> Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. INIFAP. Correo-e: resendiz.francisco@inifap.gob.mx

<sup>2</sup> Ex-investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

## INTRODUCCIÓN

México posee una gran riqueza de obras de arte labradas en madera, como son los retablos de las iglesias y de las catedrales en algunas entidades como Puebla, Oaxaca, Chiapas y el Distrito Federal, entre otras. Reconocidos historiadores afirman que ya para la tercera etapa del siglo XVIII en la Ciudad de México existían más de 300 de ellos en iglesias, capillas, conventos y colegios, pues es una estructura religiosa para la Iglesia Católica de carácter decorativo y propagandístico (Tovar y de Teresa, 1984). En el siglo XVII se multiplicó su elaboración de estas piezas, tanto en la capital como en las principales ciudades de la provincia mexicana, pero muchos de ellos fueron destruidos a mediados del siglo XIX como consecuencia de las Leyes de Reforma (Tovar y Mas, 1994), pero aún se pueden apreciar muchos ejemplos.

El Retablo de los Reyes de la Catedral Metropolitana de la Ciudad de México es considerado el más importante en su tipo (Fernández, 1959); mide 24 m de altura, 13.75 m de ancho y su desarrollo longitudinal es de 21.0 m (Cortés y Álvarez, 2006). Fue proyectado por José de Sáyago en 1688 (Tovar y de Teresa, 1984) y construido por el artista español Gerónimo de Balbás (c.1680-1748) entre 1718 y 1737; destacan en él cuatro estípites que fueron imitados, repetidos o reinterpretados cientos de veces en las localidades de todo el territorio virreinal (Parra, 1993). Se elaboró en su totalidad con madera, de manera independiente a la estructura del recinto, y representa uno de los más sobresalientes ejemplos del estilo Churrigueresco y el primer retablo construido en América con estas características (Figura 1).

Los estragos del tiempo y la acumulación del polvo paulatinamente dejaron su huella en esta obra arquitectónica, y en 1967 sufrió un impacto muy grave al incendiarse la Catedral. En la década de los años 80 se ejecutaron algunos trabajos de restauración y de conservación (Tovar y de Teresa y Ortiz, 1985), pero resultaron insuficientes ante los daños causados por el fuego. Algunas de las actividades incluyeron la fumigación del retablo contra hongos e insectos, ya que se detectó manchado de la madera y orificios producidos por los últimos.

A partir del deterioro de los materiales, acumulado a través de los años, se hicieron varias solicitudes para su mejoramiento, tanto al gobierno local como al responsable del recinto que lo alberga. Como resultado de la visita realizada por los reyes de España a la capital mexicana, a finales del año 2002, y ante el interés de conservar el recinto como patrimonio cultural de la humanidad se estableció un acuerdo con el gobierno español para copatrocinar la restauración del Retablo de los Reyes (Aeci, 2007), de tal manera que ese año comenzó la segunda gran obra para su recuperación y finalizó en 2006, periodo en el cual se llevó a cabo el estudio aquí descrito.

## INTRODUCTION

Mexico has an enormous wealth of art works carved in wood, such as the altarpieces of churches and cathedrals in several states, including Puebla, Oaxaca, Chiapas, and Mexico City. Renowned historians claim that by the last third of the XVIII<sup>th</sup> century, there were in Mexico City more than 300 of these altarpieces in churches, chapels, convents, and schools, since for the Catholic Church they are religious structures of a decorative and propagandistic nature (Tovar y de Teresa, 1984). In the XVII<sup>th</sup> century the manufacture of these pieces was multiplied both in the capital city and in the main cities of the Mexican provinces. However, a large number of them were destroyed in the mid XIX<sup>th</sup> century as a consequence of the Reformation Laws (Tovar and Mas, 1994). Yet, many examples can still be appreciated.

The Altarpiece of the Kings of the Mexico City Metropolitan Cathedral is regarded as the foremost art work of its kind (Fernández, 1959); it is 24 m tall, 13.75 m wide, and 21.0 m long (Cortés and Álvarez, 2006). It was projected by José de Sáyago in 1688 (Tovar y de Teresa, 1984) and built by the Spanish artist Gerónimo de Balbás (c.1680-1748) between 1718 and 1737; among its most outstanding features are four tapered pilasters that were later repeated or reinterpreted hundreds of times throughout the viceregal territory (Parra, 1993). It was carved in wood in its entirety, independently from the structure of the building, and it is one of the most prominent examples of the Churrigueresque style, as well as the first altarpiece ever built in the American continent with these characteristics (Figure 1).

The ravages of time and the accumulation of dust gradually left their imprint on this structure, which suffered very serious damage when the Cathedral caught fire in 1967. In the 1980s efforts were made to restore and preserve it (Tovar y de Teresa and Ortiz, 1985), but they were insufficient to fix the damage caused by the fire. Some of these endeavors included the fumigation of the altarpiece against fungi and insects, as stains and insect-bored holes were detected in the wood.

Because of the deterioration of the materials accumulated through the years, several requests were made for its restoration both to the local government and to the curator of the Cathedral. As a result of a visit to the capital city of Mexico by the Spanish king and queen at the end of 2002, and given the interest in preserving the building as a cultural heritage of humankind, the Spanish government agreed to co-sponsor the restoration of the Altarpiece of the Kings (Aeci, 2007), and therefore the second major restoration of this art work was begun that year and was finished in 2006, during which period of study described herein was carried out.

The objectives of this research were to determine the biological agents that have contributed to the deterioration of the Altarpiece of the Kings in order to determine the pertinent



Figura 1. Retablo de los Reyes en la Catedral Metropolitana de la Ciudad de México.

Figure 1. Altarpiece of the Kings in the Metropolitan Cathedral in Mexico City.

Los objetivos de la presente investigación consistieron en determinar los agentes biológicos que han intervenido en el deterioro del Retablo de los Reyes para emitir las medidas de control pertinentes; identificar las especies de madera que integran el retablo y calcular el porcentaje de humedad de la misma; dicha información servirá de base para recomendar la sustitución de las piezas de madera dañadas, si se pretende efectuar su restauración.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Toma de muestras

Se reconocieron ocho áreas con evidencia de daño como lo son manchado de la madera y orificios de entrada de insectos (Figura 2). Con base en la opinión experta de los restauradores, en el sentido de no alterar el estado de conservación del Retablo, solo se tomó una muestra de cada uno de los sitios identificados previamente; las porciones de madera tuvieron forma cuadrangular de 1 a 2 cm<sup>3</sup>, se extrajeron a una profundidad de 1 cm, mediante cortes (Figura 3) realizados con navaja de doble filo; se guardaron en bolsas de polipapel debidamente etiquetadas con marcador indeleble; y así fueron llevadas al Laboratorio de Fitopatología del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Mejoramiento de Ecosistemas Forestales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) para su identificación y análisis.



control measures; to identify the wooden species from which the altarpiece is made, and to estimate the moisture content of the wood; this information will serve as a basis to recommend the replacement of the damaged pieces of wood if the altarpiece is to be restored.

## MATERIALS AND METHODS

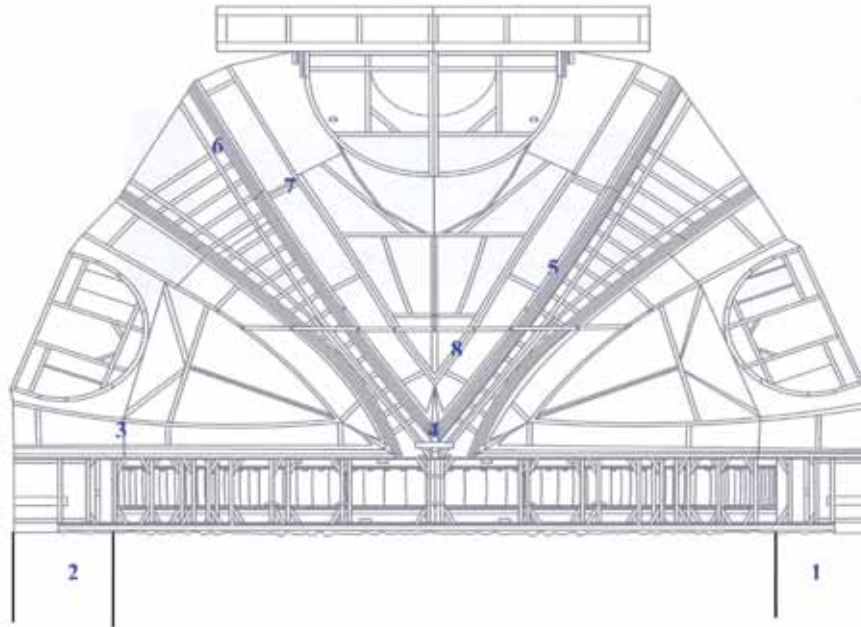
### Sampling

Eight areas with evidences of damage, such as stains and insect entrance holes were detected (Figure 2). Based on the expert opinion of the restorers, in order not to alter the state of preservation of the altarpiece, only a sample was taken from each of the previously identified spots; the portions of wood, cut out with a double-edge knife, measured 1 to 2 m<sup>3</sup> and 1 cm deep (Figure 3). The samples were kept in polythene paper bags duly labeled with a permanent marker, and were thus taken for their identification and analysis to the Phytopathology Laboratory of the National Disciplinary Research Center for Enhanced Forest Ecosystems Management of the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock Research (Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Mejoramiento de Ecosistemas Forestales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

In order to recognize the fungi structures and identify them with the aid of specialized literature (Barnett, 1960; Ellis, 1971), the samples were cut in five 1 cm<sup>2</sup> portions with a Carl Zeiss Microm HM 450 microtome; the portions were placed on a microscope slide, dyed with lactophenol cotton blue (Cañedo and Ames, 2004) and analyzed with an Axiostar plus Carl Zeiss microscope.

As for the insects, the samples of the eight areas with insect entrance holes were examined with a Carl Zeiss Stemi 2000-C stereo microscope. The organisms found were fixated in alcohol (Martínez, 2002) and identified according to the codes by Cibrián *et al.* (1995).

In order to identify the types of wood of the various parts of the altarpiece, 1 cm<sup>2</sup> cuts were made in the samples and placed in Petri dishes with distilled water and boiled until they softened; then the water was removed and the samples were dyed with 2% of iodine green and fixated with Canada balm (De la Paz and Olvera, 1981). They were then examined with a Car Zeiss Axiostara plus microscope. In order to determine the pine and cedar species, the IAWA codes were consulted (Richter *et al.*, 2004 and Panshin, 1980). Finally, microphotographs were taken with a Zeiss AxioCam MRc camera. The samples were compared to 1 x 7 x 15 cm tablets from the National Forestry Xylotheque to corroborate their identity. A description was then made, based on this information.



1= Entablamento arco frontal lado derecho; 2= Entablamento arco frontal lado izquierdo; 3=Tocón de arco frontal derecho (entablamento); 4=Zona de inserción central lóbulo; 5=Nervadura moldura gajo interlobular izquierdo; 6=Polín de anclaje; 7=Gajo interlobular derecho (lado derecho); 8=Costilla lóbulo central (parte central).  
 1= Entablature, right front arch; 2= Entablature, left front arch; 3=Stub of right front arch (entablature); 4=Central lobe insertion area; 5=Rib molding, left interlobular wedge; 6=Anchoring beam; 7=Right interlobular wedge (right side); 8=Central lobe rib (center).

Figura 2. Áreas de muestreo en el Retablo de los Reyes.

Figure 2. Sampling areas in the Altarpiece of the Kings.

A fin de reconocer las estructuras fúngicas e identificarlas mediante la literatura especializada (Barnett, 1960; Ellis, 1971), el material fue seccionado en cinco porciones de 1 cm<sup>2</sup> con un microtomo Carl Zeiss Microm HM 450; las porciones se colocaron en portaobjetos, se tiñeron con azul-lactofenol-algodón (Cañedo y Ames, 2004), y se revisaron con un microscopio Carl Zeiss modelo Axiostar plus.

En el caso de los insectos, las muestras de las ocho áreas que presentaron orificios por entrada de insectos se observaron en un estereomicroscopio Carl Zeiss modelo Stemi 2000-C. Los organismos encontrados se fijaron en alcohol (Martínez, 2002) y se identificaron siguiendo las claves de Cibrián *et al.* (1995).

Para la identificación de los tipos de madera de las diferentes partes del retablo, a las muestras se les hicieron cortes de 1 cm<sup>2</sup>, que fueron colocados en cajas de Petri con agua destilada y llevados a ebullición para su ablandamiento; paso seguido se les retiró el agua, se tiñeron con verde yodo al 2% y se fijaron con bálsamo de Canadá (De la Paz y Olvera, 1981). Para su observación se utilizó el microscopio Carl Zeiss Axiostar plus; para la determinación de las especies de pino y de cedro se consultaron las claves de IAWA (Richter *et al.*, 2004) y Panshin



Figura 3. Superficie de madera con daños por hongos 40x.  
 Figure 3. Wooden surface damaged by fungi 40x.

(1980). Finalmente, se les tomaron microfotografías con una cámara AxioCam MRc Zeiss. Las muestras fueron comparadas con tablillas de 1 x 7 x 15 cm de la Xiloteca Nacional Forestal para corroborar su identidad. Con esta información se hizo su descripción.

El contenido de humedad se calculó por el método de diferenciación de pesos. Se registró el peso inicial del material en una balanza analítica AE Adam modelo PW254; se sometió a secado en un horno de convección mecánica TECSA modelo HDY-28, a una temperatura de 103°C durante 24 h, hasta obtener un peso constante, que indicó el peso final (Echenique, 1971).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Hongos

Se identificó la presencia de organismos pertenecientes a la clase Hyphomycetes, familia Dematiaceae, también conocidos como hongos negros, que son saprófitos pues se alimentan de madera muerta; sus hifas provocan el manchado de la madera (Berrocal, 2007) (figuras 3 y 4). Las condiciones favorables para su desarrollo consisten en un pH entre 4 y 6, humedad de 40 a 80% y temperatura de 20 a 29°C. Este tipo de daño es muy frecuente, pero por lo general no llega a modificar las propiedades mecánicas de la madera, ya que el hongo no posee la capacidad enzimática para degradar y destruir la pared celular, y sus metabolitos secundarios (pigmentos) solo la manchan; por lo tanto, se localizan en la superficie (Valentín y García, 2011). La porción del Retablo con estructuras fúngicas características de dicho grupo taxonómico se ubicaron en la zona de inserción del lóbulo central (Figura 2).

El deterioro y decoloración de la madera son causados por hongos y están ligados a la formación de manchas, como resultado de las excreciones o a la presencia de hifas oscuras (Figura 4). Mohali *et al.* (2002) describen que el manchado azul es común en países con climas templados y tropicales; los hongos que producen este efecto colonizan rápidamente maderas en las que la cantidad de azúcares solubles y de almidón es muy alta. Algunos géneros de la familia Dematiaceae, como *Aspergillus*, *Fusarium*, *Aureobasidium*, *Trichoderma* y ascomicetos como *Chaetomium* son responsables de dicha enfermedad (Caneva *et al.*, 2000). *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko & Sutton, específicamente, se caracteriza por la presencia de hifas ramificadas y septadas, oblongas a clavadas, rectas, de paredes gruesas, ornamentadas, ápice obtuso y truncado (Mohali *et al.*, 2002); picnidios inmersos y superficiales, separados o agregados, globosos, uniloculares y de color marrón oscuro, además de conidios marrón oscuro, de 28-43 x 10-16  $\mu\text{m}$ ; esta descripción coincide con lo observado en el análisis practicado a las muestras, en *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. en particular, y cuya fotografía aparece en la Figura 4.

The moisture content of the samples was estimated using the weight differentiation method. Their baseline weight was registered in an AE Adam PW254 analytical balance; they were dried at a temperature of 103°C in a TECSA HDY-28 mechanical convection oven for 24 hours, until a constant weight, indicative of the final weight, was reached (Echenique, 1971).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Fungi

The presence of organisms belonging to the Hyphomycetes class, Dematiaceae family, also known as black fungi, was identified; these fungi are saprophyte, as they feed on dead wood, and their hyphae are responsible for staining the wood (Berrocal, 2007) (figures 3 and 4). The favorable conditions for its development are a pH between 4 and 6, a 40% to 80% moisture content, and a temperature between 20 and 29°C. This type of damage is very frequent, but it generally does not modify the mechanical properties of the wood, since the fungus does not have the enzymatic ability to degrade and destroy the cell walls, and their secondary metabolites (pigments) only stain it; therefore, they are located on the surface (Valentín and García, 2011). The portion of the altarpiece showing structures that are characteristic of fungi that belong to that taxonomical group was located in the insertion area of the central lobe (Figure 2).

The deterioration and discoloration of the wood are caused by fungi and are linked to staining as a result of excretions or of the presence of dark hyphae (Figure 4). According to Mohali *et al.* (2002), blue stains are common in the wood in countries with temperate and tropical climate; the fungi that produce this effect quickly colonize woods with a high content of soluble sugars and starch.

A few examples are certain genera of the Dematiaceae family, such as *Aspergillus*, *Fusarium*, *Aureobasidium*, *Trichoderma* and ascomycetes like *Chaetomium* (Caneva *et al.*, 2000). *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko & Sutton, specifically, is characterized by the presence of branched and septated, oblong or embedded, straight, thick-walled or ornamented hyphae, with an obtuse apex and truncated (Mohali *et al.*, 2002); immersed and superficial, separate or aggregated, globular, unilocular and dark brown pycnidia, and 28-43 x 16  $\mu\text{m}$  dark brown conides. This description agrees with the findings of the analysis of the samples, particularly in those of *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl., shown in the photograph in Figure 4.



## Insectos xilófagos

Se detectaron ataques viejos en las áreas 4 y 6 del Retablo. Como agente causal se identificó a *Calymmaderus* sp., orden Coleóptera, familia Anobiidae (White, 1983); de estos escarabajos se conocen más de 50 especies, que se distribuyen en Norte América, principalmente; y en el ámbito nacional, en el Distrito Federal y en los estados de, Guerrero, Estado de México Oaxaca y Veracruz. A partir de su hábito alimentario de roer la madera (xilófago) destruyen estructuras y muebles. En general, atacan a diversos taxa de *Cupressus*, *Pinus* y a *Taxodium mucronatum* Ten., en particular (Cibrián *et al.*, 1995).

Con base en su forma de vida, resultan absolutamente nocivos para la conservación de la madera, pues los adultos ponen sus huevecillos en grietas o hendiduras de materiales secos como vigas de casas, mesas, libreros, esculturas, cruces, relieves, etcétera (Cibrián *et al.*, 1995) (Figura 5); y las larvas construyen galerías que, por lo regular, no siguen una dirección y las llenan de excremento seco de forma granular, parecido al de las termitas de madera seca. Para salir, los nuevos adultos hacen orificios circulares de 2 mm de diámetro, aproximadamente, en la superficie de la estructura dañada, misma que puede ser reinfestada durante varios años, hasta dejar el material inservible por completo.

Las condiciones favorables para el desarrollo de las especies pertenecientes a la familia Anobiidae varían, entre 22 y 28°C, y de 70 a 90% de humedad (Gallo, 1992). Durante la realización del presente estudio se determinó un bajo porcentaje de humedad, cuyo intervalo de valores fue de 8.18 a 58.33 y un promedio de 29.06%, lo que supone condiciones ambientales para que los insectos no estén activos o bien que las poblaciones sean remanentes o escasas, lo que se confirmó con la detección de un solo ejemplar muerto.



Fuente: Cibrián *et al.*(1995).  
Source: Cibrián *et al.*, 1995

Figure 5. Adult *Calymmaderus* sp. and exit holes 10x.

Figura 5. Adulto de *Calymmaderus* sp. y orificios de salida 10x.



Fuente: J. F. Reséndiz M., 2010.

Source: J. F. Reséndiz M., 2010.

Figura 4. Hifas del hongo dematiaceo 40x.

Figure 4. Hyphae of a dematiacean 40x.

## Xylophagous insects

Old attacks were detected in areas 4 and 6 of the altarpiece. *Calymmaderus* sp., of the Coleoptera order and the Anobiidae family, was identified as the causal agent (White 1983). More than 50 species or these beetles are known to be distributed primarily in North America, and, within Mexico, mostly in Mexico City and the states of Mexico, Guerrero, Oaxaca and Veracruz. Because of their feeding habit of gnawing wood (i.e. xylophagous), they destroy structures and furniture. In general, they attack various taxa of *Cupressus*, *Pinus* and, particularly, *Taxodium mucronatum* Ten. (Cibrián *et al.*, 1995).



## Maderas identificadas



En el Cuadro 1 se listan las especies maderables identificadas.

Cuadro 1. Especies maderables identificadas en el Retablo de los Reyes.

Table 1. Wooden species identified in the Altarpiece of the Kings.

Número de muestra	Especie	Nombre común
1, 2, 5 y 6	<i>Cupressus</i> spp.	Cedro blanco
3	<i>Pinus ayacahuite</i> var. <i>veitchii</i> Shaw.	Acalote, ayacahuite, cahuite, sisigüiri
4	<i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schltdl.	Ocote chino, sinoso, pino albellano, pino amarillo, pino chino, barrayán, ixtaj, pino real, avellano, ocote, pino resinoso, ocote, ocote macho, pino colorado y pino prieto, pino ocote
7 y 8	<i>Pinus ayacahuite</i> Ehr.	pino cahuite, ayacahuite, acalocahuite, cahuite, ocote, pinabete, tuusha, wiyo y wiyoko

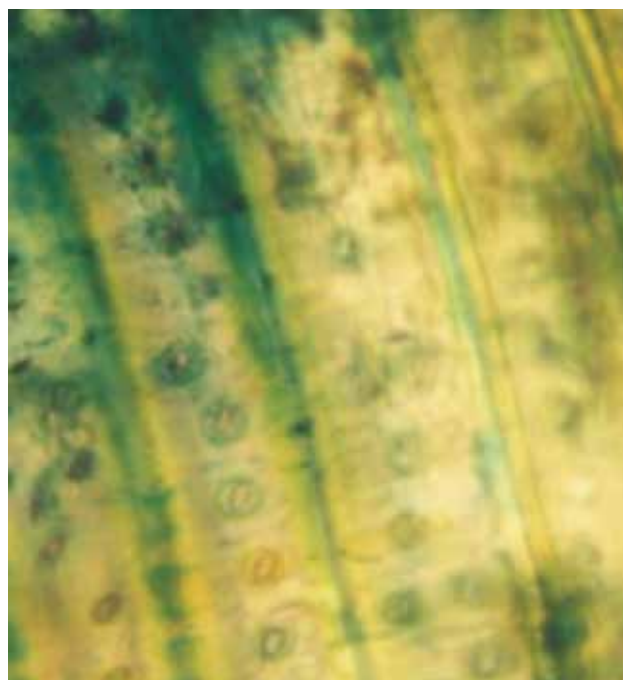
Número de muestra = Sample number, Especies = Species; Nombre común = Common name.

*Cupressus* spp. Su madera se ha descrito (Huerta, 1978) como de albura de color amarillo pajizo, duramen amarillo con tinte castaño o rosado; olor y sabor característicos, textura fina, grano derecho vetado suave, lo que coincide con las muestras analizadas. En el corte radial de cada una se observan los campos de cruce en donde se advirtieron de una a dos puntuaciones de tipo cupressoide por campo (Figura 8), como lo indica De la Paz (1990). Con este material fue construida la mayor parte del Retablo, al que se hacía referencia como "ciprés", y se ocupaba como materia prima para la talla de decoraciones religiosas como la del altar mayor de la Catedral de México (Salazar, 2009). Era uno de los materiales preferidos, al que se apreciaba, en particular, por su aroma y que se describía como abundante en las faldas de la Sierra Nevada (Vargas y Victoria, 1985).

*Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw. La madera no presenta diferencia de color entre albura y duramen; la temprana es color rosa; y la tardía, castaño claro; su olor es resinoso; brillo bajo, vetado suave, textura mediana e hilo recto. Rayos aparentes en las caras transversal y radial; canales resiníferos visibles. Sus caras radiales tienen una hilera de puntuaciones areoladas; en los campos de cruzamiento se ven de 1 a 2 puntuaciones de tipo fenestroide y las traqueidas de rayo son de bordes lisos. Entre sus usos, se le aprovecha ampliamente para artesanías (Olvera, 1985).

*Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. En su corte radial (Figura 9) se advierten los campos de cruce con una o dos puntuaciones de tipo pinoide por campo y bordes dentados en las traqueidas radiales, lo que coincide con la descripción realizada por Olvera (1985). No hay una diferencia aparente entre la albura y el duramen; la madera temprana es de tono amarillo pálido, y la tardía, castaño amarillento; su textura es gruesa, el hilo es recto. Los rayos se observan a simple vista en el corte transversal, tangencial y radial así como sus canales resiníferos. Sus caras radiales presentan una hilera de puntuaciones

Due to their life habits, these insects are absolutely hazardous to the preservation of wood, since, on one hand, the adult beetles lay their eggs in cracks or clefts, crosses, reliefs, etc. (Cibrián *et al.*, 1995) (Figure 5), and, on the other, the larvae bore galleries that usually do not follow a particular direction and which they fill with dry granular feces similar to those of dry wood termites. In order to emerge from the wood, the new adults bore circular holes of approximately 2 mm of diameter, on the surface of the damaged structure, which may be reinfested during several years until the material is left completely useless.



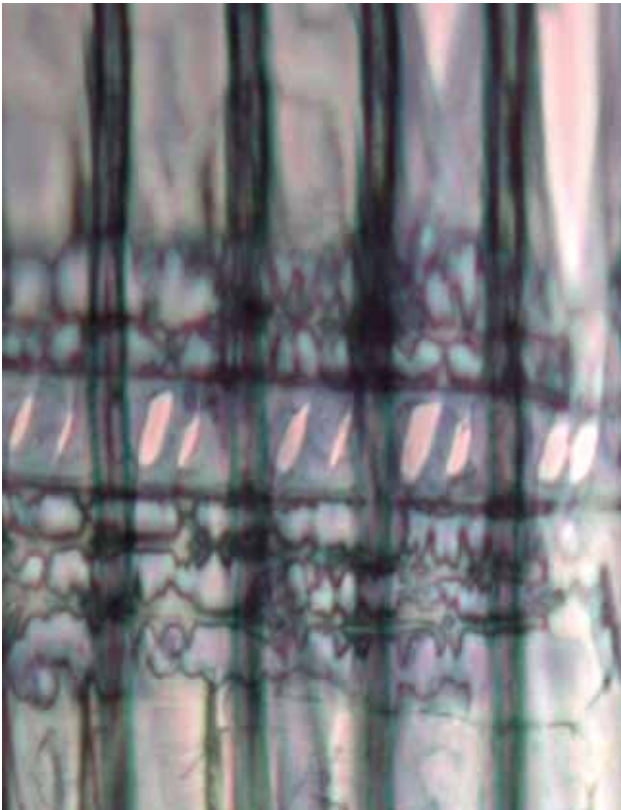
Fuente: P. Olvera C., 2010.

Source: P. Olvera C., 2010.

Figura 8. Puntuaciones de tipo cupressoide 40x.

Figure 8. Cupressoide type punctures, 40x.

areoladas, algunas con crásulas que abarcan de una o dos puntuaciones; en los campos de cruzamiento se notan de 2 a 4 puntuaciones de tipo pinoides; las traqueidas tienen bordes dentados. Su madera se clasifica como pesada a partir de su densidad promedio (0.56 g m<sup>3</sup>) y los usos recomendados se destinan a la construcción en general, muebles, ebanistería, molduras, artesanías y pulpa para papel (Gutiérrez *et al.*, 2010).



Fuente: Olvera, 2010.

Source: Olvera, 2010.

Figura 9. Puntuaciones de tipo pinoides y traqueidas de radio con bordes dentados 40x

Figure 9. Pinoid punctures and radial tracheids with jagged edges 40x.

*Pinus ayacahuite* Ehren (ayacahuite). Huerta (1978) describe algunas de las principales características macroscópicas de la madera: color amarillo pajizo, sin diferencia aparente entre albura y duramen; su olor y sabor son algo resinosos, tiene textura fina, grano derecho y veteado suave. En el corte radial de las muestras seleccionadas del Retablo (Figura 10) se observan los campos de cruce de una a dos puntuaciones de tipo fenestroides por campo y traqueidas de radio con bordes lisos. La madera de ayacahuite se consideró como la favorita para la construcción de retablos en la Nueva España, posiblemente desde mediados del siglo XVI; según Muñoz Camargo (1579-1585), historiador mestizo de la Colonia, es una "...madera blanca y muy tupida, pesada que es la que en

The conditions that favor the development of the species of the Anobiidae family vary, with temperatures ranging between 22 and 28°C, and moisture contents of 70% to 90% (Gallo, 1992). During the present study, a low percentage of moisture content was determined, with an interval of values between 8.18 and 58.33 and an average of 29.06%, suggesting environmental conditions in which the insects are not active or in which their populations may be vestigial or scarce; this was confirmed by the fact that only a single, dead specimen was found.

## Wooden species identified

Table 1 shows the identified wooden species.

*Cupressus* spp. This wood has been described (Huerta, 1978) as having a yellowish, straw-like alburnum, and a yellow duramen with a hazel or pink hue, a characteristic smell and flavor, a fine texture, a straight grain with very pale streaks, all of which agrees with the analyzed samples. The radial cut of each sample shows the intersection fields, in each of which one or two cupressoid punctures were observed (Figure 8), as pointed out by De la Paz (1990). Most of the altarpiece was built of this wood, referred to as "cypress", which was used as raw material for carving religious decorations like those of the main altarpiece of the Mexico City cathedral (Salazar, 2009). It was one of the preferred materials for this purpose, particularly due to its scent, and it is said to abound on the slopes of Sierra Nevada (Vargas and Victoria, 1985).

*Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw. Its wood shows no difference between alburnum and duramen; it is pink at an early age, and at a later age becomes a light hazel; it has a resinous scent; it has a low luster and pale streaks, a medium texture, and a straight grain. Radii and resiniferous canals are visible in its transversal and radial faces. Its radial faces show a row of aureolated punctures; 1 to 2 fenestroid punctures and radial tracheids with smooth edges may be seen in the intersection fields. It is widely exploited for use in crafts (Olvera, 1985).

*Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. Its radial cut (Figure 9) shows the intersection fields with one or two pinoid punctures per field, as well as radial tracheids with jagged edges, as described by Olvera (1985). In this wood there is no apparent distinction between alburnum and duramen; the early wood is pale yellow, and the late wood has a yellowish hazel hue. Its texture is thick, and its grain is straight. The radii and the resiniferous canals can be appreciated by the naked eye in the transversal, tangential, and radial cuts. Its radial faces show a row of aureolated punctures, some with crassulae encompassing one or two punctures; in the intersection fields 2 to 4 pinoid punctures and tracheids with jagged edges may be observed.





esta tierra se labra para hacer caxas y puertas ... y para hacer retablos ... es madera muy preciada..." (Vargas y Victoria, 1994).

### Porcentaje de humedad

De las ocho muestras de madera que se tomaron, en cuatro de ellas (1, 3, 4 y 8) el porcentaje de humedad fluctuó entre 8 y 19; en las muestras 2 y 6 de 32 a 38%; y en la 5 y 7, entre 53 y 58.33 % (Cuadro 2).

Martín (1997) define que el desarrollo de hongos manchadores y pudriciones de la madera es favorecido por un porcentaje de humedad superior a 22%. Con base en esta estimación de las áreas del retablo evaluadas, en las que su contenido de humedad fue menor a 22% (1, 2, 4 y 8), el establecimiento de hongos es poco probable. La temperatura promedio para el desarrollo de los insectos de la familia Anobiidae va de los 22 a 28 °C, mientras que la temperatura óptima para el desarrollo de hongos manchadores fluctúa de 25 a 30°C (Valentín y García, 2011).

Cuadro 2. Porcentaje de humedad de las muestras de madera.  
Table 2. Percentage of moisture content of the wood samples.

Número de muestra	Área de muestreo	Humedad (%)
1	Entablamiento arco frontal lado derecho	18.33
2	Entablamiento arco frontal lado izquierdo	32.33
3	Tocón de arco frontal lado derecho (entablamiento)	8.18
4	Zona de inserción central lóbulo	9.66
5	Nervadura moldura gajo interlobular izquierdo	53.00
6	Polín de anclaje	37.66
7	Gajo interlobular derecho (lado derecho)	58.33
8	Costilla lóbulo central (parte central)	15.00

Número de muestra = Sample number, Área de muestreo = Sample area, Humedad = Moisture.

A partir de la extensión de los daños observados, es muy probable que las manchas que se advierten obedezcan a momentos en los que la humedad ambiental y en la madera hayan sido altas, pues los valores determinados en el presente estudio indican bajo riesgo de infestación por hongos o de proliferación de insectos, lo cual supondría que el biodeterioro es un evento antiguo, probablemente anterior a la década de los 80 cuando al Retablo se le hicieron algunos trabajos de conservación, uno de ellos fue la fumigación contra hongos e insectos. La presencia de un ejemplar muerto de *Calymnaderus* sp. sugiere que las poblaciones se retiraron o fueron removidas, por lo que en la actualidad no representan un problema.

This wood is classified as heavy based on its average density (0.56 g m<sup>3</sup>), and its recommended uses include construction in general, furniture, cabinetry, moldings, crafts, and pulp for paper (Gutiérrez *et al.*, 2010).

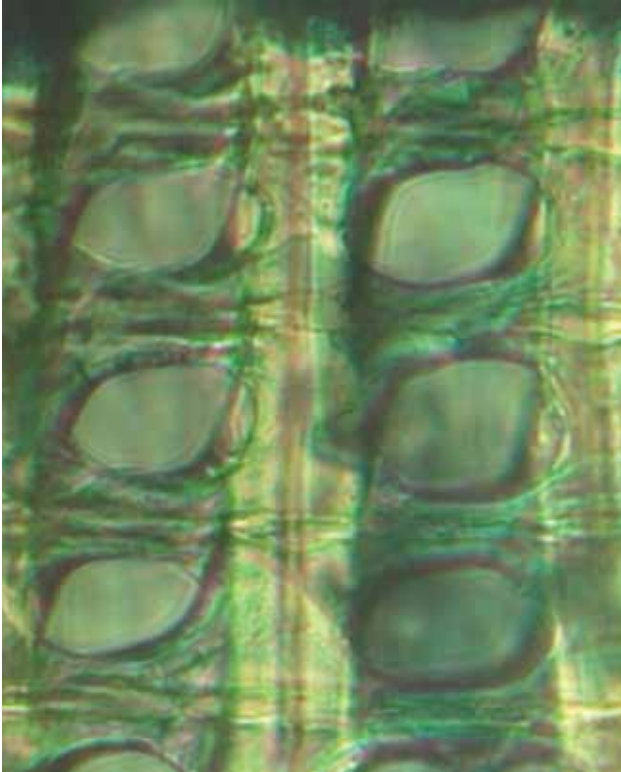
*Pinus ayacahuite* Ehren (*Ayacahuite*). Huerta (1978) describes some of its main macroscopic characteristics: it has a straw-like yellowish hue, without visible distinction between alburnum and duramen; a resinous scent and flavor, a fine texture, straight grain and pale streaks. The radial cuts of the samples selected from the altarpiece (Figure 10) show the intersection fields with one or two fenestroid punctures per field and radial tracheids with smooth edges.

*Ayacahuite* wood has been defined as the favorite wood for the construction of altarpieces in New Spain, possibly since the mid-XVI<sup>th</sup> century; according to Muñoz Camargo (1579-1585) —a Mestizo historian of the colonial period—, it is a "...a very thick, heavy white wood, which in these lands is used for making crates and doors.. and for carving altarpieces.. it is a very precious wood..." (Vargas and Victoria, 1994).

### Percentage of moisture content

The percentage of moisture content of four of the eight wood samples taken (1, 3, 4 and 8), ranged between 8% and 19%; that of samples 2 and 6 ranged between 32% and 38%, and that of samples 5 and 7, between 53% and 58.33% (Table 2).

According to Martín (1997), the development of staining fungi and wood rotting are favored by a percentage of moisture above 22%. Based on this estimate of the evaluated areas of the altarpiece whose moisture content was below 22% (*i.e.* 1, 2, 4 and 8), the establishment of fungi is unlikely. The average temperature for the development of insects of the Anobiidae family



Fuente: Olvera, 2010.  
Source: Olvera, 2010.

Figura 10. Puntuaciones de tipo fenestroid.  
Figure 10. Fenestroid-type punctures.

## CONCLUSIONES

La identificación de las muestras de maderas recolectadas revelan que el Retablo de los Reyes fue construido con *Cupressus* spp. y con dos especies de pino: *Pinus oocarpa* y *P. ayacahuite* y una variedad de esta última. Se recomienda, entonces, que para efectos de sustitución de las porciones dañadas de la madera se considere dicha información.

Se determinó un bajo porcentaje de humedad en 62.5% de los puntos muestreados, en los que el contenido es inferior a 22%, cifra significativa para evitar la proliferación de hongos destructores y manchadores de madera, así como de insectos xilófagos. Los resultados indican que en la actualidad, el biodeterioro del Retablo no es un riesgo grave para su conservación.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean hacer patente su agradecimiento al restaurador y artista plástico Javier A. Padilla Leimer por su amable invitación a participar en el proyecto de restauración del Retablo de los Reyes y al personal de su taller por la toma de muestras que se utilizaron en el presente estudio.

ranges between 22 and 28°C, while the optimal temperature for the development of staining fungi fluctuates between 25 and 30°C (Valentín and García, 2011).

Judging by the extent of the observed damage, it is highly probable that the stains appeared in times of high environmental humidity and moisture content of the wood, since the values estimated during this study are indicative of a low risk of infestation by fungi or insect proliferation. This would imply that biodeterioration is an old event, probably previous to the 1980s, when some work was performed to preserve the Altarpiece, including fumigation against fungi and insects. The presence of a dead specimen of *Calymnaderus* sp. suggests that the populations left or were removed and therefore are not a problem today.

## CONCLUSIONS

The identification of the collected samples of wood reveals that the Altarpiece of the Kings was built of *Cupressus* spp. and of two pine species: *Pinus oocarpa* and *P. ayacahuite*, as well as of a variety of the latter. It is therefore recommended to take this information into account when replacing the damaged portions of wood.

The percentage of moisture content of 62.5% of the sampled points was estimated to be below 22%, a figure considered significant for avoiding the proliferation of destructive and wood-staining fungi, as well as of xylophagous insects. The results indicate that the biodeterioration of the altarpiece is currently not a serious risk for its preservation.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to express our gratitude to Javier A. Padilla Leimer —plastic artist and restorer— for his kind invitation to participate in the project of the restoration of the Altarpiece of the Kings, as well as to the staff of his workshop for having taken the samples that were utilized in this study.

*End of the English version*



## REFERENCIAS

- Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI). 2007. Restauración del Retablo de los Reyes de la Catedral Metropolitana. <http://www.aeci.org.mx/pagina%20proyectos%20y%20programas/fichas%20de%20proyectos/faseli/FICHA%20retablo%20%2016%2008%2007.pdf> (3 de septiembre de 2010).
- Barnett, H. L. 1960. Illustrated genera of imperfect fungi. Burgess Publishing Co. Minneapolis, MN, USA. 223 p.
- Berrocal J., A. 2007. Clasificación de daños producidos por agentes de biodeterioro en la madera. *Kurú: Revista Forestal (Costa Rica)* 4(19): 1-9.
- Caneva, G., M. P. Nugari y O. Salvadori. 2000. La biología de la conservación. Ed. Nerea. Andalucía, España. 275 p.
- Cañedo, V. y T. Ames. 2004. Manual de laboratorio para el manejo de hongos entomopatógenos. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú. 62 p.
- Cibrián T., D., J. T. Méndez M., R. Campos B., H. O. Yales III y J. E. Flores L. 1995. Insectos Forestales de México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. México. 453 p.
- Cortés R., X. y J. R. Álvarez. 2006. El Retablo de los Reyes en la Catedral de México. Restauración por México y España. Agencia Española de Cooperación Internacional. Madrid, España. 93 p.
- De la Paz Pérez O., C. y L. P. Olvera C. 1981. Anatomía de la madera de 16 especies de coníferas. Boletín Técnico No. 69. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, D. F. México. 111 p.
- De la Paz Pérez O., C. y L. P. Olvera C. 1990. Características anatómicas de la madera de catorce especies de coníferas. La madera y su uso. Bol. Téc. Núm. 25. Instituto de Ecología A.C. y Universidad Metropolitana Unidad Azcapotzalco. México, D. F. México. 64 p.
- Echenique M., R. 1971. Características de la madera y su uso en la construcción. Serie: Maderas de México. Cámara Nacional de la Industria de la Construcción. México, D. F. México. 173 p.
- Ellis, B. M. 1980. Dematiaceous Hyphomycetes. Commonwealth Mycological. CAB Kew Institute. Surrey, UK. 607 p.
- Fernández G., J. 1959. El Retablo de los Reyes: Estética del arte de la Nueva España. Instituto de Investigaciones Estéticas. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie: Estudios de Arte y Estética. México, D.F. México. Vol. 4. 389 p.
- Gallo, F. 1992. Il biodeterioramento di libri e documenti. Centro di Studi per Conservazione della Carta. ICCROM. Roma, Italia. pp. 55-80.
- Gutiérrez V., B., M. Gómez C., S. Valencia M., E. H. Cornejo O., J. A. Prieto R. y M. H. Gutiérrez V. 2010. Variación de la densidad de la madera en poblaciones naturales de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. del estado de Chiapas, México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 33 (Número especial 4): 75-78.
- Huerta C., J. 1978. Anatomía de la madera de 12 especies de coníferas mexicanas. Bol. Téc. No. 51. 3ª ed. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, D. F., México. 56 p.
- Martin, J. D. 1997. Duración al exterior y temperatura de transición vítrea. *Revista AITIM* No. 186. marzo-abril <http://users.movinet.com.uy/~ingeobra/articulomadera.htm> (22 de mayo de 2007).
- Martínez, I. 2002. Metodologías: Técnicas básicas de anatomía microscópica y de morfometría para estudiar los insectos. *Aracnet* 9-Bol. S.E.A. No. 30: 187-195.
- Mohali, S., O. Encinas y N. Mora. 2002. Manchado azul en madera de *Pinus oocarpa* y *Azadirachta indica* en Venezuela. *Fitopatol. Venez.* 15: 30-32.
- Olvera C., L. P. 1985. Descripción anatómica de la madera de siete especies del género *Pinus*. Bol. Téc. No. 126. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, D. F. México. 73 p.
- Panshin, A. J. 1980. Textbook of wood technology, structure, identification, uses and properties of the commercial woods of the United States and Canada. 3ª ed. McGraw-Hill Co. New York, NY, USA. 783 p.
- Parra, C. 1993. Acercamiento al misterio. La Catedral de México. Secretaría del Desarrollo Social. México, D. F. México. 239 p.
- Richter, H. G., D. Grosser, I. Heinz and P. E. Gasson (eds). 2004. IAWA list of microscopic features for softwood identification. *Repr. IAWA Journal* 25: 1-70.
- Salazar S., N. 2009. El altar mayor de la Catedral de México: construcción y desmantelamiento de baldoquino de Lorenzo Hidalgo (1810-1872). *Boletín de Monumentos Históricos. 3ª época, enero-abril.* No. 15: 85-111.
- Tovar de A., I. y M. Mas. 1994. Ensayos sobre la Ciudad de México: Reencuentro con nuestro patrimonio cultural VI. Universidad Iberoamericana. México, D. F. México. 72 p.
- Tovar y de Teresa, G. y J. Ortiz L. 1985. Catedral de México. Retablo de los Reyes. Historia y Restauración. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. México, D. F. México. 127 p.
- Tovar y de Teresa, G. 1984. Consideraciones sobre retablos, gremios y artesanos de la Nueva España en los siglos XVII y XVIII. *Historia Mexicana*, No. 133: 5-40.
- Valentín, N. y R. García. 2011. El biodeterioro de materiales orgánicos. [www.abractor.com.br/novosite/downloads/nieves\\_valentin](http://www.abractor.com.br/novosite/downloads/nieves_valentin) (5 de julio de 2011).
- Vargas L. de B., E. y J. G. Victoria. 1994. Juan Correa: su vida y su obra. Universidad Nacional Autónoma de México. Tomo II. México, D.F. México. pp. 250-251.
- White, R. E. 1983. Keys to Neotropical species of *Calymnaderus* Solier and species of *Calythea* White, with taxonomic notes (Coleoptera: Anobiidae). *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 85(2): 229-250.





*José Brener*