



Pudrición blanca en duramen de ejemplares de *Melia azedarach* (Meliaceae) del arbolado urbano de La Plata (Buenos Aires): agente causal y caracterización químico-anatómica del leño atacado

White rot in heartwood of *Melia azedarach* (Meliaceae) specimens from urban trees of La Plata (Buenos Aires): causal agent and chemical-anatomical characterization of the attacked wood

Murace, Mónica^{1*} ; María L. Luna² ; Gustavo Lucentini^{1,3} ; Laura, Maly¹ ; Analía Perelló^{1,3} ; Mario C.N. Saparrat^{1,4,5} 

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata (FCAyF – UNLP). Calle 60 y 119 (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina.

² Cátedra Morfología Vegetal, Facultad de Ciencias Naturales y Museo (FCNyM – UNLP). Edificio Anexo Museo, Unidades de Investigación. Boulevard 120 y 61 (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina.

³ Centro de Investigación de Fitopatología (CIDEFI) – FCAyF – UNLP, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

⁴ Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE) – FCAyF – UNLP – CONICET.

⁵ Cátedra de Microbiología Agrícola (FCAyF – UNLP).

* Autor corresponsal: <mmurace@gmail.com>

RESUMEN

Los hongos xilófagos atacan frecuentemente ejemplares del arbolado urbano descomponiendo su madera. Esto afecta negativamente la estabilidad y resistencia al quiebre, poniendo en riesgo a la población y sus bienes. Durante un relevamiento de las pudriciones presentes en el arbolado de la ciudad de La Plata, fueron observados ejemplares de *Melia azedarach* (Meliaceae) con evidencias de pudrición blanca en duramen expuesto. El objetivo del trabajo fue identificar al hongo responsable de esta pudrición y analizar las alteraciones anatómicas y químicas que causa en el leño.

► Ref. bibliográfica: Murace, M.; Luna, M. L.; Lucentini, G.; Maly, L.; Perelló, A.; Saparrat, M. C. N. 2022. Pudrición blanca en duramen de ejemplares de *Melia azedarach* (Meliaceae) del arbolado urbano de La Plata (Buenos Aires): agente causal y caracterización químico-anatómica del leño atacado. *Lilloa* 59 (Suplemento): 387-407. doi: <https://doi.org/10.30550/j.lil/2022.59.S/2022.09.29>

► Recibido: 27 de junio 2022 – Aceptado: 29 de septiembre 2022 – Publicado en línea: 18 de octubre 2022.

► URL de la revista: <http://lilloa.lillo.org.ar>

► Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.



Se examinaron muestras de duramen con evidencias de pudrición blanca en estadios intermedio y avanzado extraídas de fuste y rama, respectivamente. Los aislamientos fúngicos fueron obtenidos de secciones de madera sembradas en agar malta con antibiótico y fungicida. La identificación fue llevada a cabo a partir de las características de las colonias y confirmada mediante técnicas moleculares. Los estudios anatómicos fueron realizados con microscopios estereoscópico, óptico y electrónico de barrido, y los análisis químicos mediante química húmeda y espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (FT-IR). *Phlebia brevispora* (Basidiomycota, Polyporales) fue la única especie xilófaga aislada del material. Las alteraciones anatómicas registradas permitieron diagnosticar pudrición blanca simultánea en fuste y coexistencia de pudrición blanca simultánea y selectiva en rama. Mediante química húmeda fueron determinados incrementos relativos en el tenor de lignina y extraíbles lipofílicos, y disminuciones en el porcentaje de los extraíbles hidrofílicos en las muestras de ambos estadios de degradación (rama y fuste); la disminución del tenor de celulosa sólo fue identificada en rama. El FT-IR reveló el ataque a la celulosa y la lignina. Si bien existe información previa de la presencia *P. brevispora* en árboles en pie, el presente hallazgo constituye el primer registro para la Argentina, mientras que la interacción *P. brevispora* - *Melia azedarach* es reportada por primera vez en esta contribución.

Palabras clave — Leño; modificaciones anatómicas; modificaciones químicas; paraíso; *Phlebia brevispora*.

ABSTRACT

The xylophagous fungi frequently attack specimens of urban trees, decomposing their wood. This negatively affects stability and resistance to breakdown, putting the population and their goods at risk. During a survey of the rot present in the trees of La Plata city, specimens of *Melia azedarach* (Meliaceae) with evidence of white rot in exposed heartwood were observed. The aim of this work was to identify the fungus responsible for this rot and to analyze the anatomical and chemical alterations it causes in the wood. Heartwood samples with evidence of white rot in intermediate and advanced stages attained from stem and branch, respectively, were used. Fungal isolates were obtained from wood sections cultured on malt agar with antibiotic and fungicide. The identification was based on the characteristics of the colonies and confirmed by molecular techniques. Anatomical studies were performed with stereoscopic, optical and scanning electron microscopes and the chemical analysis by using wet chemistry and Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR). *Phlebia brevispora* (Basidiomycota, Polyporales) was the only xylophagous species isolated from the material. The anatomical alterations recorded allowed the diagnosis of simultaneous white rot in the stem and the coexistence of simultaneous and selective white rot in branch. Through wet chemistry, relative increases in the content of lignin and lipophilic extracts were determined, and decreases in the percentage of hydrophilic extractables in the samples of both degradation stages (branch and stem); the decrease in cellulose content was only identified in branch. FT-IR revealed the attack on cellulose and lignin. Although there is previous information about the

presence of *P. brevispora* in standing trees, the current finding constitutes the first record for Argentina, while the interaction *P. brevispora* – *Melia azedarach* is reported for the first time in this contribution.

Keywords — Wood; anatomical modifications; chemical modifications; china berry; *Phlebia brevispora*.

INTRODUCCIÓN

El “paraíso” [*Melia azedarach* L., (Meliaceae)] es una especie arbórea de origen asiático, cultivada en nuestro país tanto con fines comerciales como para el establecimiento de montes de abrigo y como ornamental. En este último caso, el porte, la arquitectura, amplitud y densidad de la copa y la floración abundante y perfumada que caracterizan a la especie determinan que sea considerada una buena opción para el arbolado público (Municipalidad de La Plata, 1983). El arbolado urbano público otorga beneficios ambientales, estéticos, sociales y económicos que frecuentemente se ven alterados por estreses propios de este tipo de ambiente (Nowak y Dwyer, 2007; Robles *et al.*, 2011). Los daños por vandalismo, las prácticas de poda inadecuadas, la falta de espacio, la polución, entre otros, reducen el vigor de los árboles afectando en consecuencia los múltiples beneficios que éstos aportan, como también los predisponen al ataque fúngico (Robles *et al.*, 2011). Los hongos xilófagos se encuentran entre los principales agentes bióticos que afectan el valor de la forestación urbana (Urcelay *et al.*, 2012). Estos patógenos descomponen la madera y a causa de ello los ejemplares disminuyen su resistencia al quiebre y vuelco, poniendo en riesgo a la población y sus bienes, así como la diversidad biológica del medio y demás funciones que dichos ejemplares arbóreos cumplen en los ecosistemas urbanos (Schwarze *et al.*, 2000). En nuestro país, los trabajos de Robles *et al.* (2011, 2014), Urcelay *et al.* (2012) y Murace *et al.* (2017), entre otras contribuciones, revelan los perjuicios que causan estos hongos en el leño.

Durante un relevamiento de las pudriciones presentes en los árboles de los espacios públicos de la ciudad de La Plata, fueron observados ejemplares de paraíso con evidencias de pudrición blanca (“white rot”) en el duramen de ramas de primer orden y en el tercio inferior de los fustes.

Los hongos de pudrición blanca (“white rot fungi”) son los principales descomponedores de los sustratos lignocelulósicos debido a su capacidad para degradar celulosa, hemicelulosas y lignina hasta lograr su mineralización. Estos hongos pueden comportarse como delignificadores selectivos (pudrición blanca selectiva) o bien pueden degradar la lignina y la celulosa simultáneamente (pudrición blanca simultánea) (Blanchette, 1995; Schwarze, 2007).

El objetivo de este trabajo fue identificar al hongo responsable de la pudrición blanca observada en ejemplares de paraíso del arbolado de la ciudad de La Plata y analizar las alteraciones anatómicas y químicas que causa en su leño.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Material leñoso

Se trabajó con muestras de duramen obtenidas de ejemplares de paraíso ubicados en la vía pública (veredas) de la ciudad. Fueron muestreados dos individuos (de un total de cinco ejemplares con síntomas similares), considerados los más representativos de los estadios intermedio y avanzado de pudrición, según las características del leño observadas a nivel macroscópico (cf. Zabel y Morrell, 1992). En ningún caso se observaron basidiomas. El material correspondiente al estadio intermedio provino del tercio inferior del fuste de un ejemplar volteado, cuyo leño manifestó una apariencia moteada y consistencia corchosa, circundante a un ahuecamiento central (Figs. 1A-D). El material en estadio avanzado se obtuvo de una rama de primer orden cuyo duramen expuesto mediante herida de poda presentaba consistencia esponjosa y aspecto fibrilar (Figs. 3A, B). De cada uno de ellos fueron obtenidas muestras de madera deteriorada (a) (N=40), de entre 1 y 2 cm de lado. El material testigo (t) (N=20), provino del tercio inferior de un fuste sano.

2. Aislamiento e Identificación fúngica

Las colonias fúngicas fueron obtenidas a partir de la siembra, previo flameado, de pequeñas muestras de madera colocadas en cajas de Petri con agar malta, antibiótico y fungicida (benomil) (Murace *et al.*, 2017). Una vez obtenidas las colonias, éstas fueron repicadas por siembra de punta de hifa con el propósito de obtener cultivos puros y proceder a su identificación. La identificación fue realizada a partir de las características culturales de los aislamientos obtenidos, de acuerdo con Deschamps y Wright (1975) y mediante la amplificación por la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) de la región ITS, utilizando los primers ITS4 e ITS5, siguiendo la metodología descrita por Lucentini *et al.* (2021) y posterior secuenciación en Macrogen (Seúl, Corea). Las secuencias fueron depositadas en el *National Center for Biotechnology Information* (NCBI) *GenBank*. También fue depositado material en el Cepario del Instituto Spegazzini (UNLP).

3. Estudios anatómicos

El estudio de las alteraciones micro-estructurales presentes en la madera atacada fue realizado mediante microscopios estereoscópico (lupa), óptico (MO) y electrónico de barrido (MEB). Para los estudios con MO, las muestras fueron fijadas en formaldehído - ácido acético - alcohol (FAA), deshidratadas a través de una serie ascendente de etanol y embebidas en Paraplast (D'Ambroggio de Argüeso, 1986). Las secciones (10-12 μm) obtenidas en los tres planos de corte (transversal, longitudinal radial y longitudinal tangencial) fueron teñidas con safranina fast-green. Para la descripción de la madera sana de *M. azederach* se consultó Inside Wood Data Base (Wheeler, 2011) y se utilizaron también preparados microscópicos de la Xiloteca de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF, UNLP). Todos los preparados

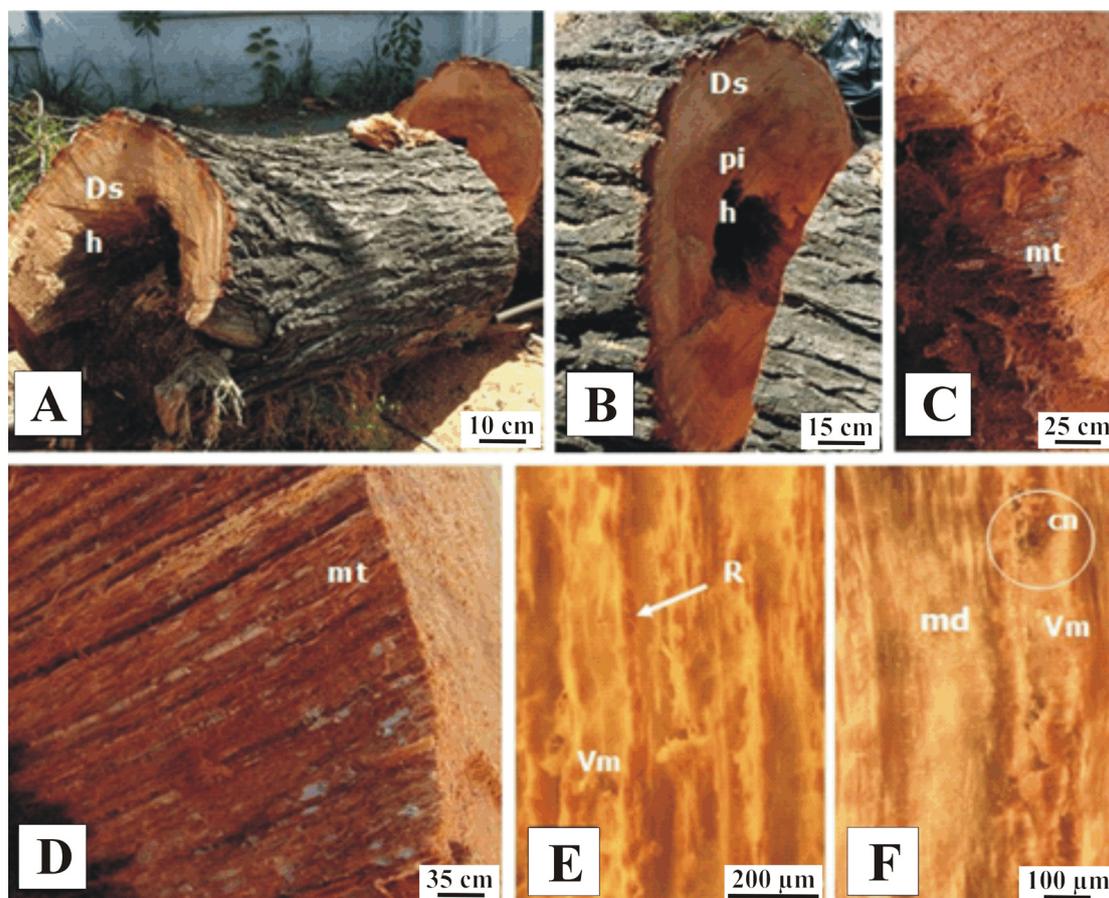


Fig. 1. Pudrición blanca moteada en *M. azedarach* (paraíso). A) Ejemplar volteado donde se observa una porción de tronco con ataque en el duramen. B) Detalle de distintas zonas del leño, atacada y no atacada. C-D) Aspecto moteado por concentración micelial. E-F) Fotomicrografías con lupa. Patrón moteado en vista longitudinal. Referencias: DS, duramen sano; h; ahuecamiento; pi, pudrición incipiente; mt, patrón moteado; R, radio; Vm, vaso con micelio; md; micelio en zona completamente degradada; cn, contenidos gomosos en vaso.

Fig. 1. White mottled rot in *M. azedarach* (china berry). A) Upturned specimen where a portion of the trunk with attack on the heartwood is observed. B) Detail of different areas of the wood, attacked and not attacked. C-D) Mottled appearance by mycelial concentration. E-F) Photomicrographs with stereoscopic microscope. Mottled pattern in longitudinal view. References: DS, healthy heartwood; h; hollowing; pi, incipient rot; mt, mottled pattern; R, ray; Vm, vessel with mycelium; md; mycelium in a completely degraded area; cn, gummy contents in vessel.

fueron observados y fotografiados con un microscopio óptico (MO) Nikon E200. Para las observaciones y análisis de las muestras con microscopio electrónico de barrido (MEB) se obtuvieron porciones de leño con cuchillas descartables. Éstas fueron montadas sobre las platinas sin tratamiento previo y metalizadas con oro. Se empleó el microscopio MEB FEI, modelo Quanta 200 del Servicio de Microscopía Electrónica de Barrido y Microanálisis del Laboratorio de Investigaciones de Metalurgia Física (LIMF), Facultad de Ingeniería (FI), UNLP. Las descripciones de los caracteres de diagnóstico de las pudriciones fueron realizadas siguiendo a Anagnost (1998) y Schwarze (2007).

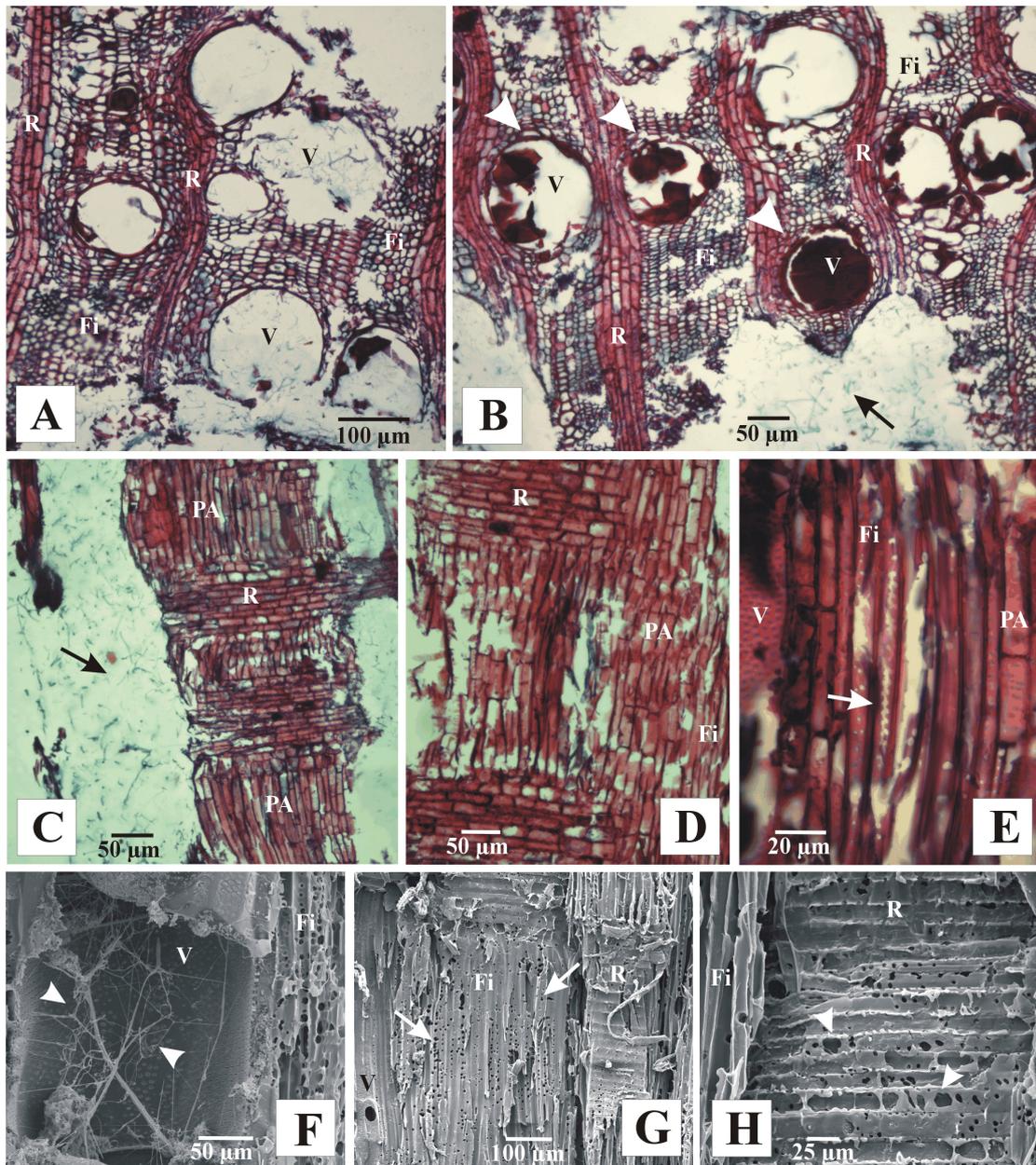


Fig. 2. Pudrición blanca moteada en el tronco de un ejemplar de *M. azedarach* (paraíso). A-E) Fotomicrografías con MO. A-B) Secciones transversales (CT). A) Porción de leño donde se observa la concentración de micelio en los vasos, los radios inalterados y el ataque a vasos y fibras por sectores. B) Zona del leño con depósitos gomosos en los vasos, éstos con paredes lignificadas (puntas de flecha). Se observa una porción de leño completamente degradada, con abundante micelio (flecha). C-E) Secciones longitudinales (CL). C) Porción de leño degradada con abundante micelio (flecha) y parénquima axial y radial prácticamente inalterados. D) Detalle de radios inalterados (la erosión del parénquima axial es producto del corte). E) Detalle de fibra con punteaduras erosionadas, coalescentes (flecha). F-H) Fotomicrografías con MEB. Secciones longitudinales de leño. F) Detalle de concentración de micelio en vaso (puntas de flecha). G) Fibras con punteaduras erosionadas (flechas). H) Porción del leño con estado más avanzado de pudrición donde se observa el ataque del parénquima de los radios (puntas de flecha). Referencias: V, vaso; R, radio; PA, parénquima axial; Fi, fibra.

Fig. 2. Mottled white rot on the trunk of a specimen of *M. azedarach* (china berry). A-E) Photomicrographs with MO. A-B) Cross sections (TC). A) Portion of wood where the concentration of mycelium in the vessels, the unaffected rays and the attack on vessels and fibers by sectors is observed. B) Area of the wood with gummy deposits in the vessels, these with lignified walls (arrowheads). A completely degraded portion of wood is observed, with abundant mycelium (arrow). C-E) Longitudinal

- sections (CL). C) Portion of wood degraded with abundant mycelium (arrow) and axial and radial parenchyma practically unaffected. D) Detail of unaffected ray (erosion of the axial parenchyma is a product of the cut). E) Fiber detail with eroded, coalescing pits (arrow). F-H) Photomicrographs with MEB. Longitudinal sections of wood. F) Detail of mycelium concentration in vessel (arrowheads). G) Fibers with eroded pits (arrows). H) Portion of the wood with more advanced state of rot where the attack of the parenchyma of the rays (arrowheads) is observed. References: V, vessel; R, ray; PA, axial parenchyma; Fi, fiber.

4. Caracterización química de las maderas

La composición química de la madera atacada y testigo fue determinada mediante química húmeda [Normas TAPPI, adaptadas por Rodríguez (1978)] y por Espectroscopía Infrarroja Transformada de Fourier (FT-IR).

4.1. Química húmeda.— El material testigo (t) y atacado (a) seco al aire fue astillado y luego procesado en molino Thomas Wiley Laboratory Mill Model 4 Thom, Scientific TM USA. Las muestras de aserrín obtenidas fueron tamizadas entre mallas No 40/60 (0,420/0,250 mm) y posteriormente utilizadas para realizar las siguientes determinaciones: contenido de humedad (determinado sobre 1 g de muestra a fin de referir los resultados de los análisis a peso seco); porcentaje de extraíbles en alcohol benceno (determinado sobre 2 g de aserrín expuesto a alcohol etílico 95% y tolueno 100%, 1:2 v/v, con un tiempo de extracción de 6 h); porcentaje de extraíbles en agua caliente (determinado sobre 2 g de aserrín con 100 ml de agua destilada en Erlenmeyer, colocado en condensador a reflujo y mantenido en un baño de agua en ebullición durante 3 h); porcentaje de lignina insoluble en ácido (lignina Klason) y porcentaje de celulosa. Para la determinación de lignina se mezcló 1 g de muestra con ácido sulfúrico al 96,5% (15 ml) durante 2 h a temperatura de 20 °C y bajo agitación frecuente. Luego ésta se diluyó con 600 ml de agua destilada hirviendo para obtener una solución al 3% de ácido sulfúrico, y al cabo de 4 h de calentar bajo reflujo la mezcla se filtró. El residuo de lignina se lavó con agua destilada caliente y se secó a 105 °C hasta peso constante. En cuanto al contenido porcentual de celulosa, fue determinado mediante el método de Kûrshner-Höffer. De acuerdo con esto, 1 g de material libre de extraíbles fue incorporado en un Erlenmeyer junto con 25 ml de ácido nítrico - etanol (1:4, v/v) y posteriormente colocado a reflujo en baño María durante 1 h. A continuación, se procedió al filtrado del sobrenadante en papel de filtro (3 veces) y por último al filtrado del sobrenadante más la muestra en un crisol. El material resultante fue lavado con agua destilada caliente, luego con solución saturada de acetato de sodio y por último con agua caliente hasta reacción neutra. El sólido obtenido se puso a secar en estufa a 105 °C hasta peso constante, se dejó enfriar en desecador y finalmente fue pesado. Fueron realizadas dos repeticiones por tipo de determinación, por condición del material. Según Norma, las repeticiones fueron consideradas como válidas cuando entre ambas, la diferencia de los valores obtenidos fue \leq a 0,1%.

4.2. Espectroscopía Infrarroja Transformada de Fourier.— El material particulado de cada condición (testigo: t y atacado: a) fue obtenido mediante lima metálica ($<$ 0,4

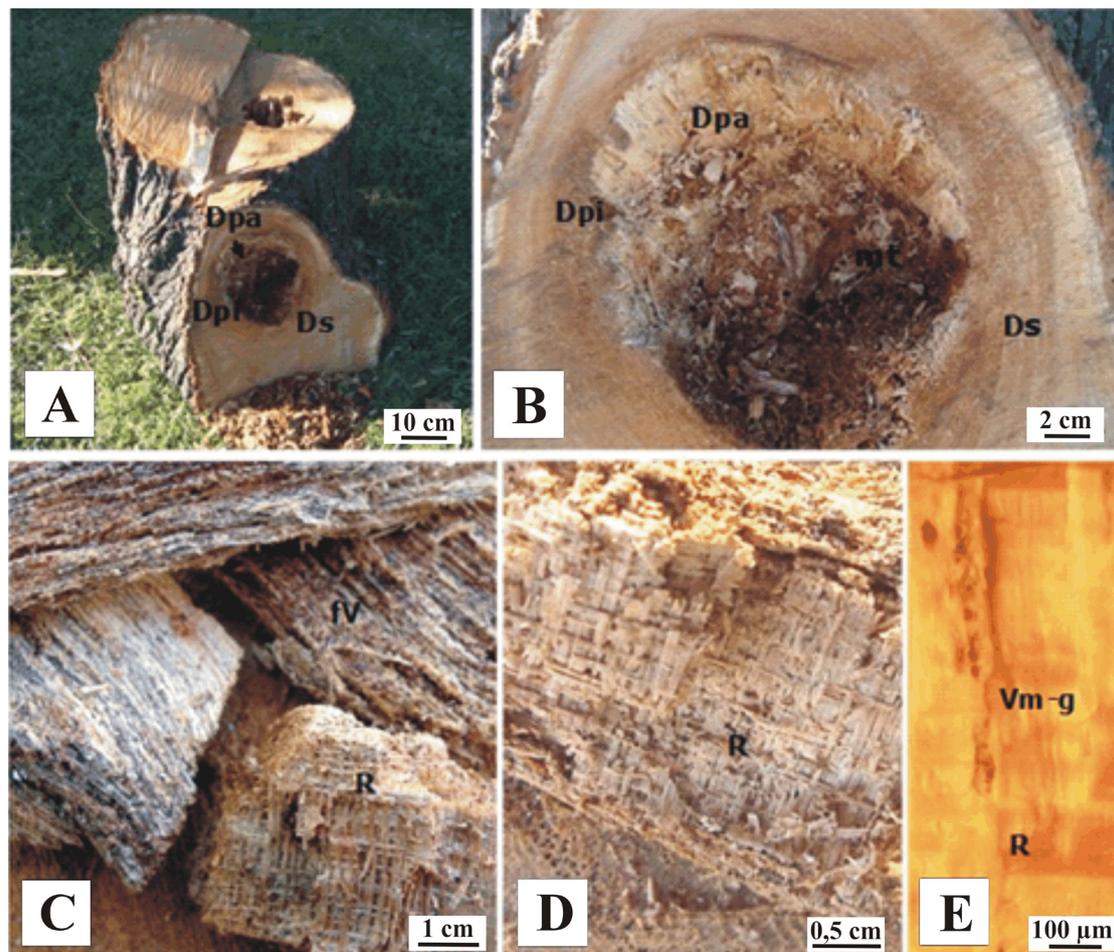


Fig. 3. Pudrición blanca fibrilar en la rama de un ejemplar de *M. azedarach* (paraíso). A-B) Porciones de la rama donde se observa el ataque en la zona del duramen. C-D) Porciones de leño con patrón de pudrición fibrilar mostrando el entramado característico. E) Fotomicrografía con lupa. Contenidos gomosos y micelio en vasos. Referencias: Ds, duramen sano; Dpi, duramen con pudrición incipiente; Dpa, duramen con pudrición avanzada; fv, patrón fibrilar por persistencia de vasos; R, radios persistentes; Vm-g, vasos con micelio y contenidos gomosos.

Fig. 3. White stringy rot in the branch of a specimen of *M. azedarach* (china berry). A-B) Portions of the branch where the attack is observed in the area of the heartwood. C-D) Portions of wood with stringy rot pattern showing the characteristic framework. E) Photomicrography with stereoscopic microscope. Gummy contents and mycelium in vessels. References: Ds, healthy heartwood; Dpi, heartwood with incipient rot; Dpa, heartwood with advanced rot; fv, stringy pattern due to persistence of vessels; R, persistent radios; Vm-g, vessels with mycelium and gummy contents.

mm), luego triturado con nitrógeno líquido y posteriormente expuesto a una serie de lavados siguiendo el procedimiento de Espiñeira *et al.* (2011). El material resultante fue secado a 60 °C y mantenido en una atmósfera libre de humedad hasta el momento de proceder al armado de las pastillas para obtener los espectros de absorción FT-IR. Estos fueron registrados entre 1800 y 800 cm^{-1} empleando un espectrómetro modelo Spectrum (Perkin-Elmer-Instruments). El análisis espectral se realizó a una velocidad de 1 cm s^{-1} con 4 cm^{-1} de resolución bajo atmósfera de aire seco (cámara con silicagel), obteniéndose un espectro promedio como resultado de 64 escaneos. Se realizaron 3 réplicas por muestra. Para el procesamiento de los datos se utilizó el software EZ-OMNIC y se llevó a cabo la corrección de cada espectro sustrayendo

automáticamente aquel correspondiente a la pastilla blanco, obtenido inmediatamente antes del registro de cada muestra. Se analizaron las bandas consideradas de referencia de los polímeros de la madera (Tabla 1) y se estimaron intensidades relativas siguiendo a Pandey y Pitman (2003, 2004) y Luna *et al.* (2015).

5. Análisis estadístico

Con los datos obtenidos del análisis espectral ($n=3$ muestras atacadas y $n=3$ muestras testigo), se obtuvieron las relaciones de las absorbancias correspondientes a grupos químicos específicos. La comparación de las relaciones pertenecientes a la madera atacada versus aquellas obtenidas con la madera control, se llevó a cabo utilizando la prueba de t de Student, con un nivel de confianza del 95%. Para el análisis se utilizó el software Infostat versión 2020.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Aislamiento e identificación fúngica

Los rasgos morfo-biométricos de los aislamientos se correspondieron con los de *Phlebia brevispora* Nakas. Nakas. & Eslyn (Basidiomycota, Polyporales) (LPSC 1391) (Nakasone y Esly, 1981; Nakasone *et al.*, 1982; Nakasone, 1990). La comparación de las secuencias obtenidas (OM574642; 574643) con aquellas depositadas en DNA databases, usando el programa BLAST, arrojaron 96,5% de similitud con esta especie, única xilófaga aislada de las muestras de duramen. Si bien hasta la década de los ochenta *P. brevispora* era reconocida como responsable del deterioro de postes de madera, particularmente postes telefónicos de pino (Nakasone y Eslyn, 1981; Nakasone *et al.*, 1982), años más tarde se menciona su presencia en ejemplares vivos. Suhara

Tabla 1. Asignación de bandas de absorción en los espectros FT-IR de las muestras de madera.
Table 1. Assignment of absorption bands in the FT-IR spectra of wood samples.

Nº de onda (cm ⁻¹)	Grupos funcionales	Referencia
896 ± 3	Vibraciones de grupos C1-H en celulosa.	Hinterstoisser <i>et al.</i> (2001).
1164 ± 3	Vibraciones de grupos glicosílicos C-O-C (holocelulosa).	Fackler <i>et al.</i> (2010); Saparrat <i>et al.</i> (2010).
1268 ± 2	Vibraciones de C-O del anillo guayacil (lignina).	Pandey y Pitman (2003, 2004).
1335 ± 3	Vibraciones del C-O del anillo siringyl (lignina).	Pandey y Pitman (2003, 2004).
1420 – 1430	Celulosa cristalina.	Poletto <i>et al.</i> (2014).
1508 ± 3	Vibraciones de esqueletos aromáticos (lignina).	Saparrat <i>et al.</i> (2010); Jelle y Hovde (2012); Shi <i>et al.</i> (2012).
1655	Grupos carboxílicos conjugados de esqueletos aromáticos (lignina).	Bari <i>et al.</i> (2019).
1734 + 4	Grupos carbonilos no conjugados de pectinas y hemicelulosas (xilanos).	Luna <i>et al.</i> (2015).

et al. (2002, 2005) aportaron el primer registro de la ocurrencia de *P. brevispora* en la base del fuste del “ciprés japonés” (*Chamaecyparis obtusa*), asociada a una pudrición blanca de duramen, por lo cual sugirieron su rol patogénico. Posteriormente Win et al. (2009, 2010) aislaron a este hongo de ejemplares vivos de *Shorea gibbosa* (“meranti amarillo”) a partir de tejido xilemático con evidencias de pudrición, ubicado en las proximidades de una lesión cancerosa en fuste. Estos autores tampoco detectaron basidiomas en el material muestreado, atribuyendo esta particularidad a la preferencia de la especie por xilema en descomposición. La presencia de *P. brevispora* en ejemplares de *M. azedarach* se suma a otras como *Ganoderma australe*, *Ganoderma resinaceum*, *Perenniporia gomezii* y *Fomitopsis punctata* citadas por Rajchenberg y Robledo (2013) en el duramen de paraíso causando pudrición blanca.

2. Estudios anatómicos

Las características más relevantes de la madera sana de *M. azedarach* son: duramen de color marrón o tonos de marrón, la albura de coloración más clara. Anillos de crecimiento demarcados, porosidad anular. Vasos solitarios y radiales múltiples, con placas de perforación simple y engrosamientos helicoidales, punteaduras alternas, poligonales, punteaduras radio-vaso areoladas. Presencia de gomas y otros depósitos en los vasos del leño temprano del duramen. Fibras con punteaduras simples a diminutamente areoladas. Parénquima axial vasicéntrico confluyente. Cristales en células del parénquima axial. Radios multiseriados (4-10), heterocelulares, constituidos por células procumbentes y 1-2 hileras marginales de células cúbicas (Wheeler, 2011).

Madera de paraíso degradada por *P. brevispora*.— En las muestras de fuste con un estadio intermedio de pudrición se observó bajo lupa que el micelio se concentró en los vasos del leño temprano (LT) sin contenidos gomosos o con escasos contenidos (Figs. 1E, F) y un patrón moteado dado por la concentración de micelio en agujeros del tejido originados por la degradación total localizada (Fig. 1F). Con MO, en secciones transversales (CT) se evidenció el mayor ataque fúngico en los vasos del leño temprano, cuyas paredes aparecieron adelgazadas y en ocasiones rotas, y sus lúmenes con abundante micelio por sectores (Fig. 2A). Algunos vasos mostraron contenidos gomosos oscuros y una mayor resistencia a la degradación (Fig. 2B). Las fibras también aparecieron degradadas en mayor o menor grado, al igual que el parénquima vasicéntrico, mientras que los radios resultaron más resistentes al ataque (Figs. 2A, B). Tanto en CT como en secciones longitudinales (CL) se observaron zonas del tejido totalmente degradadas (agujeros) ocupadas por abundante micelio (Figs. 2B, C), y radios poco alterados (Fig. 2D). En las fibras, se registró erosión de las punteaduras, las cuales en ocasiones confluyeron con el avance del ataque (Fig. 2E). Con MEB se observó en detalle la localización de las hifas en el interior de los vasos (Fig. 2F), así como la degradación más pronunciada de las paredes de las fibras y la erosión de las punteaduras (Fig. 2G). En algunos sectores de las muestras se registró el ataque de las células parenquimáticas de los radios, evidenciado por la erosión de las punteaduras y la formación de agujeros en las paredes del parénquima

radial (Fig. 2H). Los caracteres observados a nivel macroscópico y microscópico (bajo lupa) en este estadio de pudrición del duramen se corresponden con el concepto de “*mottled appearance*” (apariencia moteada) de Otjen y Blanchette (1986). Barrasa *et al.* (1992) y Kubayashi y Maekawa (2001) reportaron un síntoma similar en latifoliadas naturalmente infectadas por una especie fúngica afín, *P. chrysocrea*. La presencia de abundante micelio en los vasos del LT con depósitos escasos/ausentes, indica el rol preponderante de los mismos como vía de colonización fúngica, particularmente en las maderas con porosidad anular (Schwarze *et al.*, 2000; Schwarze, 2007). Por otro lado, la resistencia a la degradación registrada en vasos con contenidos pigmentados oscuros es compatible con el rol de estos extractivos como barrera a la colonización (Schwarze y Fink, 1997; Schwarze *et al.*, 1997). La visualización de punteaduras erosionadas en distintos tipos celulares señala que el hongo se propaga en el tejido principalmente atravesando las punteaduras (Levin y Castro, 1998; Gao *et al.*, 2018). De este modo, las alteraciones anatómicas observadas en estas muestras son diagnósticas del tipo de pudrición blanca simultánea (PBSi) (Blanchette, 1995; Anagnost, 1998): presencia de abundante micelio en áreas con total degradación, adelgazamiento de las paredes de los vasos, presencia de punteaduras erosionadas y agujeros en paredes celulares, en todos los casos sin evidencias de una delignificación selectiva previa (las paredes celulares se tiñen de rojo con safranina/fast-green). Respecto de la mayor resistencia a la degradación identificada en los radios, podría resultar de la preponderancia de guayacil-lignina (Schwarze, 2007) como también de su elevado contenido de nitrógeno (N), lo cual reprime la expresión de los sistemas ligninolíticos fúngicos (Agosín *et al.*, 1990; Singh *et al.*, 2012).

En cuanto a las muestras de rama de primer orden en estado avanzado de pudrición, se evidenció el aspecto fibrilar del leño dado por la persistencia de los vasos del LT con contenidos oscuros, los cuales por sectores se hallaban circundados por radios parenquimáticos, determinando un entramado característico (Figs. 3C-E). Con MO se observaron en detalle los contenidos oscuros en algunos vasos del LT y las paredes con mayor o menor grado de deterioro, siempre lignificadas (teñidas de rojo con safranina/fast-green) (Figs. 4A, B). Las fibras aparecieron totalmente colapsadas por sectores o con las paredes adelgazadas, deformadas, en otros (Figs. 4A, C). En CL el parénquima apareció intacto en términos generales. El parénquima axial mostró las paredes tanto delignificadas como lignificadas (Figs. 4B, D), mientras que en el parénquima radial las paredes aparecieron siempre lignificadas (teñidas de rojo con safranina/fast-green), indicando su mayor resistencia al ataque fúngico (Fig. 4D). En algunas zonas se detectó separación celular, principalmente entre fibras, asociada a la delignificación de sus paredes en mayor o menor grado (Fig. 4E). Éstas presentaron asimismo punteaduras erosionadas, en ocasiones coalescentes (Fig. 4F). Con MEB, tanto el patrón fibrilar dado por la persistencia de los vasos y los radios, así como la separación entre fibras, fueron fácilmente identificables en CL de leño (Figs. 4G, H). La persistencia de los vasos con contenidos es compatible con el rol que cumplen dichos depósitos, que actúan como barrera a la colonización y degradación fúngica. Blanchette *et al.* (1988) también mencionan en maderas con avanzada pudrición blanca un aspecto o patrón fibrilar asociado a la resistencia de los vasos, rasgo que atribuyen a sus características químico-anatómicas. En los vasos, la presencia de un

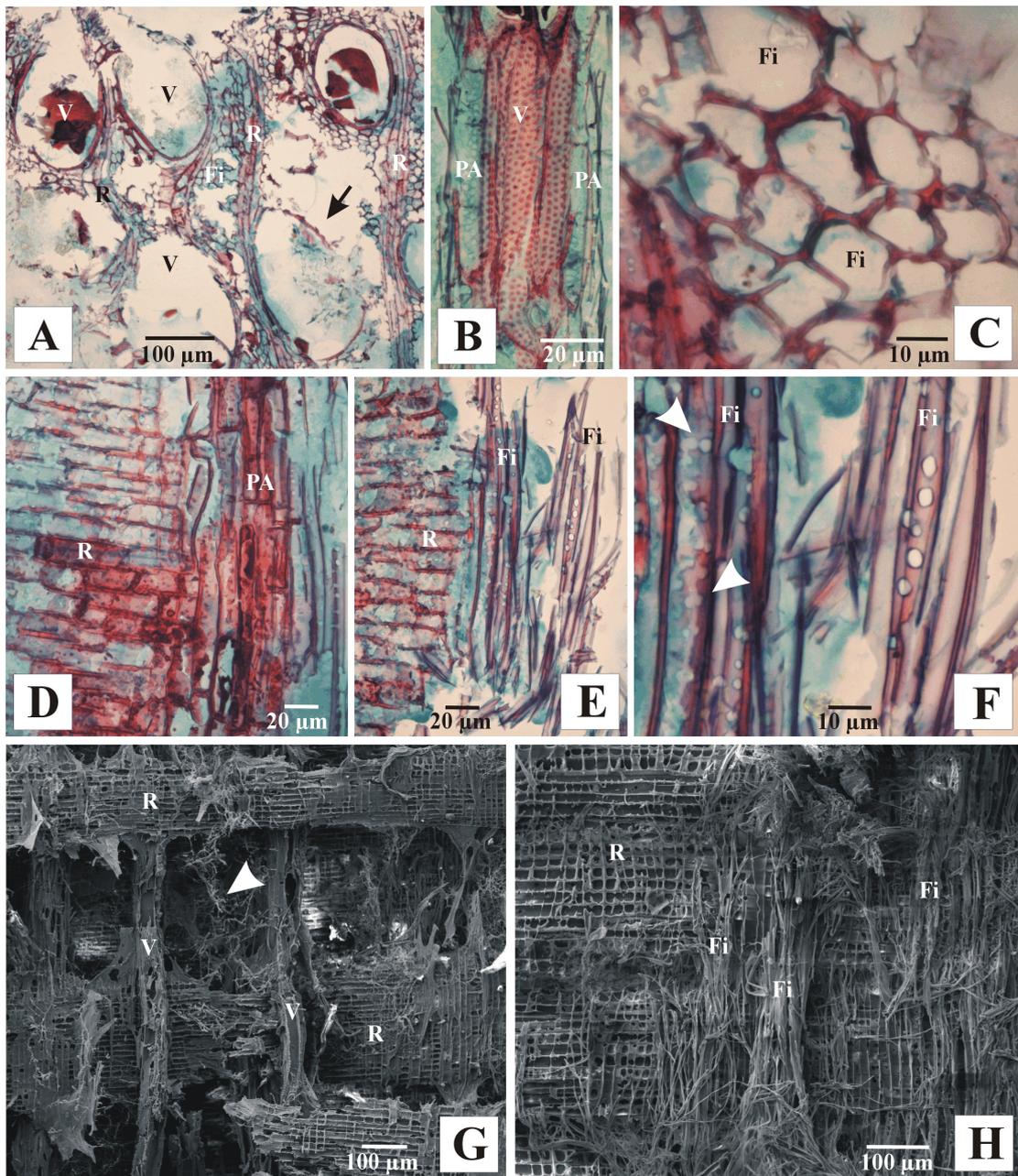


Fig. 4. Pudrición blanca fibrilar en la rama de un ejemplar de *M. azedarach* (paraíso). A-F Fotomicrografías con MO. A) Sección transversal (CT) donde se observan vasos y radios más resistentes al ataque en comparación con las fibras (éstas aparecen representadas por los “agujeros” en el tejido, flecha). Se evidencia una mayor resistencia de los vasos con contenidos gomosos. B) Sección longitudinal (CL) mostrando las paredes lignificadas de los vasos y delignificadas del parénquima axial. C) Detalle de fibras con paredes deformadas, erosionadas en CT. D-F) Secciones longitudinales de leño mostrando las paredes lignificadas del parénquima axial y radial. E) Detalle de separación celular entre fibras. F) Detalle de la erosión de las punteaduras de las fibras y punteaduras coalescentes (puntas de flecha). G-H) Fotomicrografías con MEB. G) Visualización del patrón fibrilar dado por los vasos y radios persistentes. Se registra abundante micelio (punta de flecha). H) Zona del tejido donde se evidencia la separación celular entre fibras. Referencias: V, vasos; R, radios; PA, parénquima axial; Fi, fibras.

Fig. 4. White stringy rot on the branch of a specimen of *M. azedarach* (china berry). A-F) Photomicrographs with MO. A) Cross section (CT) where vessels and rays are observed more resistant to attack compared to fibers (these are represented by the “holes” in the tissue, arrow). A greater resistance of the vessels with gummy contents is evident. B) Longitudinal section (CL) showing the

- lignified vessel and delignified walls of the axial parenchyma. C) Detail of fibers with deformed walls, eroded in CT. D-F) Longitudinal sections of wood (CL). D) Wood sector showing the lignified walls of the axial and radial parenchyma. E) Detail of cell separation between fibers. F) Detail of erosion of the fiber pits and coalescing pits (arrowheads). G-H) Photomicrographs with MEB. G) Visualization of the stringy pattern given by the persistent vessels and rays. Abundant mycelium (arrowhead) is recorded. H) Area of the tissue where the cellular separation between fibers is evident. References: V, vessels; R, rays; PA, axial parenchyma; Fi, fibers.

estrato S2 delgado y de estratos S1 y S3 más espesos, así como la alta proporción de lignina, de tipo guayacil-lignina, determinarían dicha propiedad (Blanchette, 1995; Skyba *et al.*, 2013; Pramod *et al.*, 2015). De este modo y como se indicó previamente, algunos rasgos observados en las muestras son característicos de PBSi. En contraste, la pérdida de lignina identificada en algunas células parenquimáticas axiales y la separación celular por sectores del tejido son considerados caracteres relevantes para el diagnóstico de pudrición blanca selectiva (PBSe) (Srebotnik y Messner, 1994; Anagnost, 1998). La presencia de áreas selectivamente delignificadas localizadas entre sectores con evidencias de PBSi es característica del tipo de pudrición “*mottled rot*” (pudrición moteada) (PBMo) definida por Otjen y Blanchette (1986). Las PBMo son frecuentes en sustratos colonizados por especies consideradas delignificadoras selectivas como lo es *P. brevispora* (Otjen *et al.*, 1987). Win (2016) describió caracteres de diagnóstico de PBSe y PBSi similares, en duramen de *S. gibbosa* expuesto a *P. brevispora* mediante ensayos *in vitro* y en árboles en pie.

3. Caracterización química de las muestras de madera estudiadas

Comparado al control (t), en el duramen con rasgos de pudrición blanca en estadio intermedio (ai) se registró un aumento en el porcentaje de celulosa (C), algo menor en el de lignina (L), particularmente notable en el de los componentes del extraíble liposoluble (R) (taninos, esteroides, grasas, entre otros), y una leve disminución en aquellos hidrosolubles (Ac) (azúcares, gomas, pectinas, compuestos fenólicos varios, etc.). En correspondencia con ello, se determinó una mayor relación C/L y R/Ac (Tabla 2). En el duramen con pudrición avanzada (aa), se registró una disminución severa en el porcentaje de celulosa y con menor intensidad en el de los extraíbles en agua caliente, y un incremento significativo en el tenor de lignina y extraíbles lipofílicos, lo cual también fue revelado mediante las relaciones C/L y R/Ac. Los resultados obtenidos son compatibles con el predominio en las maderas de una fracción amorfa de polisacáridos (incluyendo celulosa, hemicelulosas y pectinas), altamente susceptible a la degradación (Bari *et al.*, 2019), cuyo ataque preferencial condujo a incrementos relativos en el resto de la fracción polimérica y de los contenidos lipofílicos no estructurales. Diferentes autores reportan la importancia del consumo de holocelulosa para el crecimiento fúngico y la cometabolización de la lignina (Blanchette, 1991; Ejechi *et al.*, 1996). Además, las muestras atacadas posiblemente revelen datos de química húmeda que sean sobreestimaciones originadas por la acumulación de productos resultantes de la degradación de la fracción amorfa

Tabla 2. Caracterización química de la madera estudiada según la metodología de química húmeda.
Table 2. Chemical characterization of the wood studied according to the wet chemistry methodology.

Interacción	Condición	Determinaciones					
		Celulosa %	Lignina %	C/L	Extraíbles %		
					R	Ac	R/Ac
<i>P. brevispora</i> paraíso	t	47,65a	29,63a	1,60a	2,21a	6,74a	0,33a
	ai	70,80b (+1,48)	32,81b (+1,11)	2,15b	4,60b (+2,08)	6,28b (-0,93)	0,73b
	aa	26,40b (-0,55)	38,35b (+1,29)	0,68b	3,22b (+1,46)	5,73b (0,85)	0,56b

Referencias: t, testigo; a, muestras atacadas; ai, atacada incipiente; aa, atacada avanzada; C, celulosa; L, lignina; C/L, relación celulosa/lignina; R, alcohol benceno; Ac, agua caliente; R/Ac, relación alcohol benceno/agua caliente. Letras distintas indican diferencias significativas; se consideran como tal, diferencias > a 0,10 (Rodríguez, 1978; Pandey y Pitman, 2003); (+, -), aumento/disminución surgida de la relación $\%X_{(a)}/\%X_{(t)}$.

References: t, witness; a, samples attacked; ai, incipient attacked; aa, attacked advanced; C, cellulose; L, lignin; C/L, cellulose/lignin ratio; R, benzene alcohol; Ac, hot water; R/Ac, benzene alcohol/hot water ratio. Different letters indicate significant differences; differences > to 0.10 are considered as such (Rodríguez, 1978; Pandey & Pitman, 2003); (+, -), increase/decrease arising from the ratio $\%X_{(a)}/\%X_{(t)}$.

que no fueron absorbidos por el hongo o bien de aquellos resultantes de una acotada transformación (Kirk y Highley, 1973). La presencia de masas de micelio en las maderas (concentradas en áreas con total degradación), también pudo tener impacto en los resultados mediante el aporte de esteroides, grasas y α -quitina, esta última químicamente análoga a la celulosa y con un comportamiento similar en cuanto a su insolubilidad y estabilidad en solventes orgánicos y en agua a elevada temperatura y presión (Deguchi *et al.*, 2015; Hou *et al.*, 2021). Del mismo modo, fenómenos de repolimerización de compuestos fenólicos sobre el esqueleto de lignina de los productos originados de su degradación pudieron también estar involucrados (Martínez *et al.*, 2005; Skyba *et al.*, 2013). Según fue mencionado, *P. brevispora* es considerada como delignificadora selectiva (Otjen *et al.*, 1987), estrategia de degradación que no fue identificada en el duramen atacado mediante química húmeda. Factores como la humedad y temperatura ambiente, el tenor de oxígeno, las características del sustrato y el potencial enzimático de la cepa fúngica gobiernan el ataque preferencial a la lignina (Blanchette, 1991). Ejechi *et al.* (1996) y Maryam *et al.* (2016) también observaron una modificación en la estrategia de degradación de *Pleurotus ostreatus*, otro hongo considerado delignificador selectivo, en maderas de latifoliadas infectadas natural y artificialmente.

Los espectros FT-IR de las muestras de duramen con estadio de pudrición intermedia (ai) y avanzada (aa) también avalaron la alteración de la matriz lignocelulósica. Respecto del testigo (t, o espectro de partida), se detectaron variaciones en la intensidad de absorbancia (IA) de los números de onda que representan a la fracción estructural del leño (Fig. 5). Dichas variaciones implicaron disminuciones en la IA de 896 nm (que corresponde a vibraciones de grupos C₁-H en celulosa), e incrementos particularmente notables en 1508 nm (excepto en las muestras ai) y en 1655 nm (ambos utilizados como diagnóstico de estructuras aromáticas de la

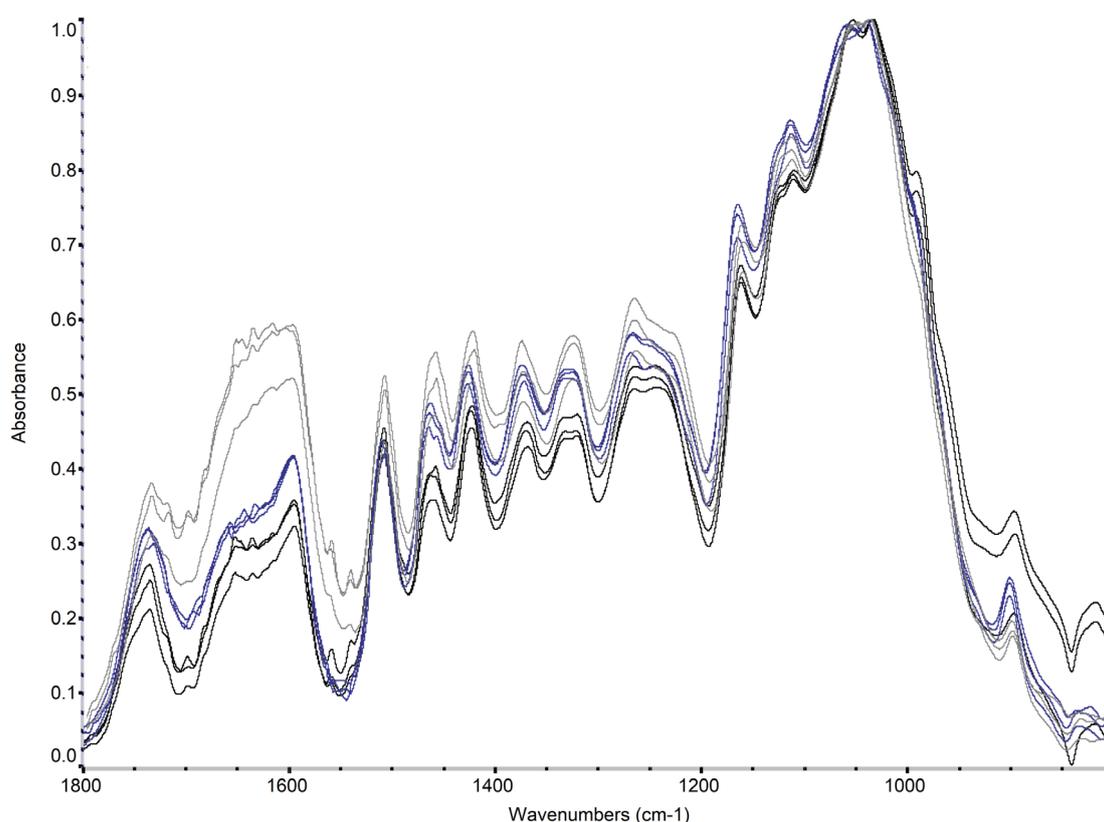


Fig. 5. Espectros FT-IR provenientes de la madera de paraíso testigo y afectada por pudrición blanca en estado intermedio (ai) y avanzado (aa). Madera testigo: línea color negro. Madera atacada ai: línea de color azul. Madera atacada aa: línea color gris.

Fig. 5. FT-IR spectra from chinaberry wood witness and affected by white rot in intermediate (ai) and advanced (aa) state. Witness wood: black line. Wood attacked ai: blue line. Wood attacked aa: gray line.

lignina y sus grupos carboxílicos conjugados), en 1335 nm y 1268 nm (que corresponden a las subunidades S y G de la lignina respectivamente) y en 1734 nm (que son diagnósticos de heteropolisacáridos) (Fig. 5). En cuanto a la celulosa amorfa, como ya fue mencionado, lo hallado se corresponde con su alta susceptibilidad a la degradación y uso para la cometabolización de la lignina. Respecto a la lignina, su reducción en las muestras ai (Fig. 5), revelada además por las relaciones I_{1508}/I_{1734} , I_{1508}/I_{1164} , I_{1508}/I_{1429} , es compatible con la estrategia de degradación conocida para *P. brevispora* (delignificadora selectiva) (Otjen *et al.*, 1987). La relación I_{1335}/I_{1268} , también indicó su alteración en las maderas con pudrición intermedia, y en particular de las subunidades G (Tabla 3). Distintos estudios sugieren la modificación de la lignina por procesos de metoxidación y/o demetoxilación, entre otros mecanismos existentes de transformación de este heteropolímero aromático (Skyba *et al.*, 2013). Estas reacciones posiblemente se llevaron a cabo y consecuentemente, determinaron el enmascaramiento del ataque a las subunidades S, consideradas las más susceptibles a los hongos responsables de pudrición blanca (Blanchette, 1991; Skyba *et al.*, 2013). En ambos estadios de pudrición, el ataque a la lignina también se detectó a partir del incremento de las IAs I_{1655} . Los grupos carboxilos se presentan en concentraciones

Tabla 3. Relación entre la intensidad de absorbancia de grupos funcionales específicos de los polímeros componentes de la madera y su variación por la actividad de *P. brevispora*.

Table 3. Relationship between the absorbance intensity of specific functional groups of wood component polymers and their variation by the activity of *P. brevispora*.

Interacción / Condición de la muestra ²	Intensidades de Absorbancia Relativas (IAR) ¹								
	I ₈₉₆ /I ₁₁₆₄	I ₈₉₆ /I ₁₇₃₄	I ₈₉₆ /I ₁₄₂₉	I ₈₉₆ /I ₁₅₀₈	I ₁₅₀₈ /I ₁₇₃₄	I ₁₅₀₈ /I ₁₁₆₄	I ₁₅₀₈ /I ₁₄₂₉	I ₁₃₃₅ /I ₁₂₆₈	
<i>P. brevispora</i> paraíso	t	0,44a ³ (24,37)	1,22a (32,75)	0,61a (25,67)	0,65a (24,98)	1,85a (10,57)	0,68a (2,44)	0,94a (1,15)	0,86a (0,45)
	ai	0,33a (8,09)	0,79a (9,42)	0,46a (1,38)	0,57a (6,74)	1,38b (2,90)	0,59b (1,42)	0,82b (0,59)	0,92b (1,25)
	aa	0,27a (7,90)	0,52a (11,63)	0,33b (8,86)	0,37b (11,00)	1,40a (0,68)	0,72a (5,06)	0,89a (4,60)	0,90a (2,63)

Referencias. 1: I₈₉₆/I₁₁₆₄, celulosa / holocelulosa; I₈₉₆/I₁₇₃₄, celulosa / hemicelulosas; I₈₉₆/I₁₄₂₉, celulosa / celulosa cristalina; I₈₉₆/I₁₅₀₈, celulosa / lignina; I₁₅₀₈/I₁₇₃₄, lignina / hemicelulosas; I₁₅₀₈/I₁₁₆₄, lignina / holocelulosa; I₁₅₀₈/I₁₄₂₉, lignina / celulosa cristalina; I₁₃₃₅/I₁₂₆₈, lignin siringyl (S) / guaiacyl (G). 2: t, testigo; a, madera atacada; ai, atacada incipiente; aa, atacada avanzada. 3: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$, Tukey). El coeficiente de variación (CV), se indica entre paréntesis.

References. 1: I₈₉₆/I₁₁₆₄, cellulose / holocellulose; I₈₉₆/I₁₇₃₄, cellulose / hemicelluloses; I₈₉₆/I₁₄₂₉, crystalline cellulose / cellulose; I₈₉₆/I₁₅₀₈, cellulose / lignin; I₁₅₀₈/I₁₇₃₄, lignin / hemicelluloses; I₁₅₀₈/I₁₁₆₄, lignin / holocellulose; I₁₅₀₈/I₁₄₂₉, lignin / crystalline cellulose; I₁₃₃₅/I₁₂₆₈, lignin siringyl (S) / guaiacyl (G). 2: t, witness; a, wood attacked; ai, incipient attacked; aa, attacked advanced. 3: Different letters indicate significant differences ($p \leq 0.05$, Tukey). The coefficient of variation (CV) is indicated in parentheses.

extremadamente pequeñas en las ligninas nativas, y en concentraciones significativas en ligninas expuestas a tratamientos biológicos o químicos, por la ruptura de sus anillos aromáticos, que conduce a un incremento en las absorbancias que corresponden a estos grupos. Así, su cuantificación proporciona información valiosa acerca de la degradación y modificación de la lignina (Fackler y Schwanninger, 2012). En cuanto al aumento en el contenido de lignina registrado en la madera aa, lo obtenido es compatible con la remoción de la celulosa (Fig. 1), y es revelado también a partir de la disminución en la relación I₈₉₆/I₁₅₀₈ (Tabla 3). Además, el ataque preferencial a la celulosa y los incrementos en el tenor de lignina obtenidos en las muestras aa, colonizadas por un delignificador selectivo, se corresponden con la presencia de pudrición blanca moteada (PBMo) en el duramen bajo estudio. En las maderas con PBMo, es frecuente el enmascaramiento del ataque preferencial a la lignina (Otjen y Blanchette, 1986). En ellas, la detección conjunta de diferentes tipos y estadios de degradación que conducen a la persistencia de células/sectores del tejido altamente lignificados (como los vasos y la laminilla media compuesta, tal como se observó con MO) avalan esta propuesta. La formación de pseudoligninas (van Heerden *et al.*, 2008; Lancha *et al.*, 2021); la generación *de-novo* de polímeros aromáticos por repolimerización de los productos de delignificación (Martínez *et al.*, 2005; Skyba *et al.*, 2013); la transformación de compuestos derivados de los extraíbles (Toledo *et al.*, 2017) y la persistencia de contenidos gomosos coloreados, también impactarían en lo hallado para la lignina. Puesto que las I₈₉₆/I₁₇₃₄ y I₁₅₀₈/I₁₇₃₄ disminuyeron sus valores según avanzó la pudrición, la degradación de las hemicelulosas no parecería haber

sido un proceso dominante durante el ataque fúngico, tal como también se pudo inferir por los incrementos en los niveles de absorbancia en 1734 nm. Los valores provenientes de las I_{896}/I_{1429} de cada estadio de ataque indicaron la degradación de la celulosa amorfa por sobre la cristalina, particularmente en las muestras aa. La mayor proporción de celulosa cristalina (o aumento de la cristalinidad) en aa se corresponde con el estadio de pudrición de las muestras.

CONCLUSIONES

Phlebia brevispora fue la única especie xilófaga aislada del duramen de paraíso con evidencias de pudrición blanca, la cual fue corroborada mediante estudios anatómicos y químicos. Las alteraciones micro-estructurales observadas reflejan que esta especie puede causar pudrición blanca selectiva y simultánea en un mismo sustrato, modo de ataque que define a las pudriciones blancas moteadas (PBMo). Las alteraciones químicas identificadas se corresponden con el enmascaramiento del proceso de delignificación selectiva (tipo de descomposición conocido para la especie) que provocan las PBMo como también con los múltiples factores que gobiernan el ataque preferencial a la lignina. A la fecha, no existen registros para nuestro país de la presencia de *P. brevispora* en ejemplares en pie. Distintos autores mencionan a este xilófago asociado a pudrición blanca de duramen en ejemplares vivos y sugieren comprobar su rol patogénico. Por lo tanto, es necesario confirmar su patogenicidad y de este modo determinar si es responsable primario de la descomposición de la madera de estos ejemplares o bien si su presencia resulta de un proceso de sucesión, colonizando madera previamente atacada. Asimismo, esta investigación suma evidencias en torno al valor de los estudios químico-anatómicos para la interpretación de la estrategia de degradación que poseen las especies xilófagas en un sustrato determinado y dimensionar los perjuicios que esto puede ocasionar.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó gracias a los recursos financieros derivados de los subsidios correspondientes al Proyecto de Incentivos a la Investigación (A/355 y A344) de la Universidad Nacional de La Plata; CONICET (PIP 11220200100527CO) y FONCyT (PICT 2019-0207).

BIBLIOGRAFIA

- Agosín, E., Blanchette, R. A., Silva, H., Kory, C. L., Cease, R., Ibach, R. E., Abad, A. R. y Mugas, P. (1990). Characterization of palo podrido, a natural process of delignification in wood. *Applied and Environmental Microbiology* 56 (1): 65-74.
- Anagnost, S. E. (1998). Light microscopic diagnosis of wood decay. *IAWA Journal* 19 (2): 141-167.

- Bari, E., Daryaei, M. G., Karimb, M., Bahmani, M., Schmidt, O., Woodward, S., Ghanbary, M. A. T. y Sistani, A. (2019). Decay of *Carpinus betulus* wood by *Trametes versicolor* - An anatomical and chemical study. *International Biodeterioration & Biodegradation* 137: 68-77.
- Barrasa, J. M., Gonzales, A. E. y Martínez, A. T. (1992). Ultrastructural aspects of fungal delignification of Chilean woods by *Ganoderma australe* and *Phlebia chrysocrea*. A study of natural and in vitro degradation. *Holzforschung* 46 (1): 1-8.
- Blanchette, R. A. (1991). Delignification by wood-decay fungi. *Annual Review of Phytopathology* 29: 381-398.
- Blanchette, R. A. (1995). Degradation of the lignocellulose complex in wood. *Canadian Journal of Botany* 73 (Suppl. 1): 999-1010.
- Blanchette, R. A., Obst, J. R., Hedges, J. I. y Weliky, K. (1988). Resistance of hardwood vessels to degradation by white rot Basidiomycetes. *Canadian Journal of Botany* 66: 1841-1847.
- D'Ambrogio de Argüeso, A. (1986). Libro de técnicas histológicas en plantas. (1° Ed). Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina.
- Deguchi, S., Kaoru Tsujii, K. y Horikoshi, K. (2015). *In situ* microscopic observation of chitin and fungal cells with chitinous cell walls in hydrothermal conditions. *Scientific Reports* 5: 11907. doi: 10.1038/srep11907.
- Deschamps, J. y Wright, J. J. (1975). Clave para el reconocimiento en cultivo de las especies xilófagas de Basidiomycetes Argentinae. *Revista de Investigaciones Agropecuarias INTA Serie V.12* (2): 78-87.
- Ejechi, B.O., Obuekwe, C. O. y Ogbimi, A. O. (1996). Microchemical studies of wood degradation by brown and white rot fungi in two tropical timbers. *International Biodeterioration & Biodegradation* 38: 119-122.
- Espiñeira, J. M., Novo Uzal, E., Gómez Ros, L. V., Carrión, J. S., Merino, F., Ros Barceló, A. y Pomar, F. (2011). Distribution of lignin monomers and the evolution of lignification among lower plants. *Plant Biology* 13: 59-68.
- Fackler, K. y Schwanninger, M. (2012). How spectroscopy and microspectroscopy of degraded wood contribute to understand fungal wood decay. *Applied Microbiology and Biotechnology* 96: 587-599.
- Fackler, K., Stevanic, J. S., Ters, T., Hinterstoisser, B., Schwanninger, M. y Salmén, L. (2010). Localization and characterization of incipient brown-rot decay within spruce wood cell walls using FT-IR imaging microscopy. *Enzyme Microbiology and Technology* 47 (6): 257-267.
- Gao, J., Kim, J. S. y Daniel, G. (2018). Effect of thermal modification on the micromorphology of decay of hardwoods and softwoods by the white rot fungus *Pycnoporus sanguineus*. *Holzforschung* 72 (9): 1-15.
- Hinterstoisser, B., Jalkanen, R., Nowotny, M. y Schwanninger, M. (2001). Lignification of Scots Pine trees from Arctic Circle up to timberline. *Buvisindi Icelandic Agricultural Sciences* 14: 55-59.
- Hou, J., Aydemir, B. E. y Dumanli, A. G. (2021). Understanding the structural diversity of chitins as a versatile biomaterial. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 379: 20200331. Recuperado de <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0331>

- Jelle, B. P. y Hovde, P. J. (2012). Fourier Transform Infrared Radiation Spectroscopy for wood rot decay and mould fungi growth detection. *Advances in Materials Science and Engineering*. doi:10.1155/2012/969360-
- Kirk, T. K. y Highley, T. L. (1973). Quantitative changes in structural components of conifer woods during decay by white and brown rot fungi. *Phytopathology* 63: 1338-1342.
- Kubayashi, T. y Maekawa, N. (2001). Identification and pathogenicity of the fungus isolated from butt rot of Japanese Cypress, *Chamaecyparis obtusa*. *Journal of General Plant Pathology* 67: 262-267.
- Lancha, J. P., Perré, P., Colin, J., Lv, P., Ruscassier, N. y Almeida, G. (2021). Multiscale investigation on the chemical and anatomical changes of lignocellulosic biomass for different severities of hydrothermal treatment. *Scientific Reports* 11 (8444): 1-16. doi: 10.1038/s41598-021-87928-y
- Levin, L. y Castro, M. A. (1998). Anatomical study of the decay caused by the white-rot fungus *Trametes trogii* (Aphyllorphorales) in wood of *Salix* and *Populus*. *IAWA Journal* 19 (2): 169-180.
- Lucentini, C. G., Medina, R., Franco, M. E. E., Saparrat, C. N. y Balatti, P. A. (2021). *Fulvia fulva* [syn. *Cladosporium fulvum*, *Passalora fulva*] races in Argentina are evolving through genetic changes and carry polymorphic avr and ecp gene sequences. *European Journal of Plant Pathology* 159: 525-542.
- Luna, M. L., Ramos Giacosa, J. P., Giudice, G. E., Fernández, P. V., Ciancia, M. y Saparrat, M. (2015). Structure and chemistry of the xylem of arborescent species of *Blechnum* from South America. *IAWA Journal* 36: 3-21.
- Martínez, A.T., Speranza, M., Ruiz-Dueñas, F. J., Ferreira, P., Camarero, S., Guillén, F., Martínez, M., Gutiérrez, A. y del Río, J. C. (2005). Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. *International Microbiology* 8: 195-204.
- Maryam, K., Daryaei, M. G., Torkaman, J., Oladi, R., Tajick Ghanbary, M. A. y Bari, E. (2016). In vivo investigation of chemical alteration in oak wood decayed by *Pleurotus ostreatus*. *International Biodeterioration & Biodegradation* 108: 127-132.
- Municipalidad de La Plata, Dirección de Espacios Verdes. (1983). Árboles de la Ciudad de La Plata.
- Murace, M., Luna, M. L., Ciuffani, M. G. y Perelló, A. (2017). Modificaciones anatómicas y químicas en el leño de ejemplares del arbolado de la ciudad de La Plata (Buenos Aires) causadas por *Laetiporus sulphureus* (Basidiomycota, Polyporales). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 52 (4): 647-661.
- Nakasone, K. K. (1990). Cultural studies and identification of wood – inhabiting Corticiaceae and selected Hymenomycetes from North America. Berlin, J. Cramer.
- Nakasone, K. K., Burdsall Jr., H. H. y Noll, L. A. (1982). Species of *Phlebia* section *Leptocystidiophlebia* (Aphyllorphorales, Corticiaceae) in North America. *Mycotaxon* 14 (1): 3-12.
- Nakasone, K. K. y Eslyn, W. E. (1981). A new species, *Phlebia brevispora*, a cause of internal decay in utility poles. *Mycologia* 73 (5): 803-810.

- Nowak, D. J. y Dwyer, J. F. (2007). Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. En: Kuser, J.E. (Ed.), *Urban and Community Forestry in the Northeast*. Netherlands (pp. 25-46). Springer.
- Otjen, L. y Blanchette, R. A. (1986). A discussion of microstructural changes in wood during decomposition by white rot basidiomycetes. *Canadian Journal of Botany* 64: 905-911.
- Otjen, L., Blanchette, R. A., Effland, M. y Leatham, G. (1987). Assessment of 30 white rot basidiomycetes for selective lignin degradation. *Holzforschung* 41: 343-349.
- Pandey, K. K. y Pitman, A. J. (2003). FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation* 52: 151-160.
- Pandey, K. K. y Pitman, A. J. (2004). Examination of the lignin content in a softwood and a hardwood decayed by a brown-rot fungus with the Acetyl Bromide Method and Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry* 42: 2340-2346.
- Poletto, M., Ornaghi Jr., H. L. y Zattera, A. J. (2014). Native Cellulose: Structure, characterization and thermal properties. *Materials* 7: 6105-6119.
- Pramod, S., Koyani, R. D., Bhatt, I., Vasava, A. M., Rao, K. S. y Rajput, K. S. (2015). Histological and ultrastructural alterations in the *Ailanthus excels* wood cell walls by *Bjerkandera adusta* (Willd.) P. Karst. *International Biodeterioration & Biodegradation* 100: 124-132.
- Rajchenberg, M. y Robledo, G. (2013). Pathogenic polypores in Argentina. *Forest Pathology* 43: 171-184.
- Robles, C. A., Carmarán, C. C. y López, S. E. (2011). Screening of xylophagous fungi associated with *Platanus acerifolia* in urban landscapes: Biodiversity and potential biodeterioration. *Landscape and Urban Planning* 100: 129-135.
- Robles, C. A., Castro, M. A. y López, S. E. (2014). Wood decay by *Inonotus rickii* and *Bjerkandera adusta*: A micro- and ultra-structural approach. *IAWA Journal* 35 (1): 51-60.
- Rodríguez, L. (1978). Métodos de Análisis empleados en la Industria papelera. (1° Ed.). Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- Saparrat, M. C. N., Estevez, J. M., Troncozo, M. I., Arambarri, A. y Balatti, P. (2010). In-vitro depolymerization of *Scutia buxifolia* leaf-litter by a dominant Ascomycota *Ciliochorella* sp. *International Biodeterioration & Biodegradation* 64: 262-266.
- Schwarze, F. W. M. R. (2007). Review wood decay under the microscope. *Fungal Biology Reviews* 21: 133-170.
- Schwarze, F. W. M. R., Engels, J. y Mattheck, C. (2000). Fungal strategies of wood decay in trees. (1° Ed). Springer Verlag, Berlin.
- Schwarze, F. W. M. R. y Fink, S. (1997). Reaction zone penetration and prolonged persistence of xilem rays in London plane wood degraded by the basidiomycete *Inonotus hispidus*. *Mycological Research* 101 (10): 1207-1214.
- Schwarze, F. W. M. R., Lonsdale, D. y Fink, S. (1997). An overview of wood degradation patterns and their implications for tree hazard assessment. *Arboricultural Journal* 21: 1-32.

- Shi, J., Xing, D. y Li, J. (2012). FTIR Studies of the Changes in Wood Chemistry from Wood Forming Tissue under Inclined Treatment. *Energy Procedia* 16: 758-762.
- Singh, P., Sulaiman, O., Hashim, R., Peng, L. Ch. y Singh, R. P. (2012). Biodegradation study of *Pycnoporus sanguineus* and its effects on structural and chemical features on Oil Palm biomass chips. *Lignocellulose* 1 (3): 210-227.
- Skyba, O., Douglas, C. J. y Mansfielda, S. D. (2013). Syringyl-rich lignin renders poplars more resistant to degradation by wood decay fungi. *Applied and Environmental Microbiology* 79 (8): 2560-2571.
- Srebotnik, E. y Messner, K. (1994). A simple method uses differential staining and light microscopy to assess the selectivity of wood delignification by white rot fungi. *Applied and Environmental Microbiology* 60 (4): 1383-1386.
- Suhara, H., Maekawa, N., Kubayashi, T., Sakai, K. y Kondo, R. (2002). Identification of the basidiomycetous fungus isolated from butt rot of the Japanese cypress. *Mycoscience* 43: 477-481.
- Suhara, H., Maekawa, N., Kubayashi, T., Kondo, R. (2005). Specific detection of a basidiomycete, *Phlebia brevispora* associated with butt rot of *Chamaecyparis obtusa*, by PCR-based analysis. *Journal of Wood Science* 51: 83-88.
- Toledo, A. V., Franco, M. E. E., López, S. M. Y., Troncozo, M. I., Saparrat M. C. N. y Balatti, P. A. (2017). Melanins in fungi: Types, localization and putative biological roles. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 99: 2-6.
- Urcelay, C., Robledo, G., Heredia, F., Morera, G. y García Montaña, F. (2012). Hongos de la madera en el arbolado urbano de Córdoba. (1° Ed). Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (UNC-CONICET).
- van Heerden, A., le Roux, N. J., Swart, J., Gardner-Lubbe, S. y Botha, A. (2008). Assessment of wood degradation by *Pycnoporus sanguineus* when co-cultured with selected fungi. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 24: 2489-2497.
- Wheeler, E. A. (2011). Insidewood Database. 2004-onwards. Recuperado de insidewood.lib.ncsu.edu. [Acceso: Mayo del 2022]. Inside Wood - a web resource for hardwood anatomy. *IAWA Journal* 32 (2): 199-211.
- Win, E. (2016). Microscopic decay pattern of yellow meranti (*Shorea gibbosa*) wood caused by white-rot fungus *Phlebia brevispora*. *Biodiversitas* 17 (2): 417-421.
- Win, E., Hwang, W., Takemoto, S. y Imamura, Y. (2009). Microscopy of progressive decay of fungi isolated from meranti tree canker. APPS Plant health management: An integrated approach. Recuperado de <https://www.appsnet.org/publications/proceedings/>
- Win, E., Takemoto, S. y Imamura, Y. (2010). Molecular identification of decay fungi in xylem of yellow meranti (*Shorea gibbosa*) canker: *Wood Research Journal* 1 (2): 78-81.
- Zabel, R. A. y Morrell, J. J. (1992). Wood microbiology. Decay and its prevention. (1° Ed). Academic Press, London.