

# ANATOMIA DE MADERAS DE FRONDOSAS A NIVEL DE ESPECIE. REGIONES TEMPLADAS BOREALES Y AUSTRALES

L. GARCIA(1); A. GUINDEO(2); P. DE PALACIOS(3) ; I. BOBADILLA(4); F. GARCIA(5);

I. LAZARO(6); A. CAMACHO(7); E. PASCUAL(8); L. GARCIA(9)

(1) (2) (3) (7) Cátedra de Tecnología de la Madera, E.T.S. Ingenieros de Montes (U.P.M.)

(4) (5) (6) (9) Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de Madera y Corcho

(8) Empresa Nacional de Celulosas, S.A.

## RESUMEN

Este trabajo constituye la continuación de la línea de investigación emprendida en la Cátedra de Tecnología de la Madera de la E.T.S.I. de Montes de Madrid, sobre el establecimiento de los caracteres microscópicos de las maderas del mundo a nivel de especie. En este trabajo se recogen en total 275 descripciones correspondientes a géneros y especies de frondosas boreales y australes de clima templado. Dichas descripciones se han realizado siguiendo los métodos tradicionales de preparación y análisis.

La técnica seguida para el tratamiento de la información una vez obtenidas las descripciones, ha sido la creación de una clave abierta dividida en 7 grupos de caracteres: Vasos, con 24 caracteres; Fibras con 5 caracteres; Radios leñosos con 17 caracteres; Parénquima con 13 caracteres; Canales, cristales y minerales con 8 caracteres; Regiones geográficas con 9 caracteres y Otros caracteres con 7. De las 83 entradas posibles que se recogen en la clave, 68 se refieren a caracteres a nivel microscópico del xilema de frondosas, reservándose 6 para caracteres macroscópicos y 9 para su distribución geográfica. Estos 83 caracteres son generales, habiendo así mismo casos particulares en muchos de ellos.

P.C.: anatomía, madera, frondosa, especie, identificación, xilema

## SUMMARY

This work constitutes the continuation of the line of research undertaken by the Cátedra de Tecnología de la Madera de la E.T.S.I. de Montes in Madrid, in order to establish the microscopic characters of the woods of the world as a species. This work contains a total of 275 descriptions of species, all of which are boreal and austral temperate climate hardwoods. The descriptions have been undertaken in accordance with traditional methods of preparation and analysis.

Once the description of the species was obtained, the technique used for the processing of the information was the creation of an open key divided into seven groups of characters: Vessels, with 24 characters; Fibres, with 5 characters; Rays, with 17 characters; Parenchyma, with 13 characters; Canals, crystals, and mineral bodies, with 8 characters; Geographical regions, with 9 characters; and Other characteristics, with 7. Of the 83 possible entries that the key covers, 68 refer to the microscopic characters of the hardwood xilema, 6 of them to macroscopic characteristics, and 9 to their geographical distribution. These 83 entries are general characters, although at the same time they also show particular cases in many instances.

K.W.: anatomy, wood, hardwood, species, identification, xylem.

## INTRODUCCION

Ya en el siglo I a.C. podemos encontrar estudios sobre anatomía de madera. Así **Theophrasto** mencionaba en su libro "*Historia plantarum*" que la madera como parte interior de la planta consiste en "fibras, venas y carne". Había descubierto las fibras de madera, las tuberías por donde circula la savia y el agua, las "venas" de la resina y la "carne" como tejido fundamental. De esta forma comparaba el tejido leñoso de los vegetales con el tejido animal. Esta comparación, hoy día inverosímil, se repitió hasta la Edad Media.

En el siglo I d.C encontramos las descripciones de 500 árboles y raíces realizadas por el médico y botánico **Dioskorides** y los 37 libros de “*Historia Naturalis*” de **Plinius Secundus**, en los que describe todo el saber de Ciencias Naturales que se había acumulado hasta entonces. Habla ya de albura, duramen y médula y escribe también sobre aceites, bolsas de savia, fibras, madera densa y blanda, madera nudosa y los diferentes colores y defectos de la madera.

Sin embargo, habrá que esperar hasta el siglo XVII para ver un auge de la investigación anatómica de la madera gracias al invento del microscopio que permitió, por ejemplo, a **Rober Hooke** descubrir la célula de la planta investigando carbón vegetal, corcho y médula de varias plantas. (“*Micrographia*”, Londres, 1665/67). Unos años más tarde, en 1671, **M. Malpighi**, médico del Papa en Roma, publica sus primeros ensayos de Anatomía de la madera en la Royal Society, tratando la anatomía no solamente de una manera descriptiva sino también fisiológica y acompañando el estudio de excelentes imágenes hechas a base de fuertes ampliaciones. En 1675/79 publica su “*Anatomía plantatum* “ y en 1686 su obra principal “*Opera omnia*”. En estos libros trata la morfología y anatomía de la corteza y de la madera. Cabe destacar que reconoció con su microscopio particularidades anatómicas como los thyllos y que descubrió el crecimiento secundario y realizó diversos ensayos para analizar el movimiento del agua y los nutrientes dentro del tejido vegetal, llegando a la conclusión de que el agua se movía de abajo a arriba y los asimilados de arriba a abajo. **N. Grew**, médico inglés y secretario de la Royal Society, continúa con las investigaciones de **Malpighi** en el campo del crecimiento secundario, introduciendo el concepto de cambium. Publica los resultados de sus ensayos en el libro “*The Anatomy of Plants*” (1671/82) en el que los excelentes dibujos dejan diferenciar elementos del tejido de las plantas tales como el parénquima. Por su parte, **A. von Leeuwenhook** averigua por medio de microscopios nuevos fabricados por él mismo, la estructura de los elementos vasales y las paredes intercelulares (1695).

En el siglo XVIII los nuevos aportes en el campo de la anatomía vegetal y por tanto de la madera son pobres, destacando un número muy reducido de obras. En aquel tiempo prevalecieron las investigaciones sobre anatomía animal, fisiología experimental y biología de la reproducción. Cabe destacar la obra publicada en 1770 por el médico inglés **J. Hill** “*The Construction of Timber*” en la que se explica que el anillo anual tiene dos zonas de tejido en ocasiones marcadamente diferenciado, aunque todavía no se les da un nombre específico.

En el siglo XIX hay un progreso en la anatomía vegetal debido fundamentalmente a las mejoras introducidas en la microscopía óptica así como en las preparaciones microscópicas, maceración, cortes, etc. Caben destacar: **J. J. Bernardi** que diferencia las células según tamaño y forma y reconoce la distribución de los vasos en anillo, las perforaciones con forma de escalera y las punteaduras intervasculares; **Ch. L. Trevanus** que describe la formación de los vasos y de las paredes intercelulares; **J. P. Moldenhauer** que reconoce la importancia de la pared celular; **H. von Mohl** que explica la organización y distribución de los vasos y describe en 1858, las diferentes capas de la pared celular y su evolución (primera, segunda y laminilla intermedia), así como la formación y evolución de las punteaduras.; **C. W. Nägeli** que mejora y completa la teoría celular y en 1858 diferencia entre los tejidos prosenquimatosos, de sostén y transporte, y parenquimatosos o de almacenamiento. Además encuentra por primera vez explicación al problema largamente discutido del crecimiento secundario. En 1860 expone la hipótesis de la existencia de micelas de estructura cristalina en la pared celular. Con este aporte, inició la investigación de la organización exacta de la pared celular. Además descubrió el protoplasma y sus movimientos dentro de la célula, el núcleo celular y la facultad de división de los cloroplastos. **Nägeli** era uno de los más célebres investigadores del siglo XIX, con un amplio campo de investigación y excelente don de observación; **Th. Hartig** que estudia por primera vez la estructura de la corteza, encontrando homologías entre corteza y madera. Además describió profundamente la estructura de las punteaduras; y **A. de Bary** que hace una sinopsis de todos los resultados de ensayos sobre la estructura de la madera en su obra “*Anatomía comparativa de los órganos de vegetación en fanerógamas y helechos*” (*Vergleichende Anatomie des Vegetationsorganeder Phanerogamen und Farne*”) 1877. La parte de su libro que trata de la madera y de la corteza, acompañada por microfotos, forma un tercio de la obra. Otros investigadores con publicaciones importantes en el campo de la anatomía en esta época son **Sanio**, **Strasburger**,

## Wiessner y Russow.

Ya en el siglo XX, de la unión de la anatomía de la madera con otras disciplinas de ciencias naturales y de la tecnología de la madera, se formó el campo de actividad de la anatomía aplicada a la madera. Frente a éste, se desarrolla la anatomía de la madera puramente sistemática, la llamada anatomía descriptiva. La aparición de los ordenadores ha supuesto, como en casi todas las disciplinas científicas, una revolución en el campo de la anatomía y de la identificación de maderas, permitiendo el uso de claves de múltiple entrada con gran cantidad de caracteres.

En este artículo se propone una clave de identificación para maderas de frondosas, que permita el tratamiento de la información obtenida del estudio realizado sobre la analítica anatómica del xilema de 275 especies de frondosas boreales y australes de climas templados.

## MATERIAL Y METODOS

Las maderas estudiadas proceden de muestras de nuestra propia xiloteca y de colecciones obtenidas por intercambio con distintos centros de investigación pertenecientes a la International Association of Wood Anatomists (IAWA). La realización de las preparaciones ha seguido los métodos tradicionales de reblandecimiento, corte, tinción y montaje. Se han estudiado 275 especies pertenecientes a los siguientes géneros: *Acacia*, *Acer*, *Aesculus*, *Aextoxicon*, *Ailanthus*, *Albizia*, *Aleurites*, *Alnus*, *Amelanchier*, *Arbutus*, *Asimina*, *Azara*, *Berberis*, *Betula*, *Bougainvillaea*, *Broussonetia*, *Bumelia*, *Bursera*, *Buxus*, *Caldcluvia*, *Calluna*, *Carpinus*, *Carya*, *Castanea*, *Castanopsis*, *Catalpa*, *Celtis*, *Cephalanthus*, *Ceratonia*, *Cercis*, *Chilopsis*, *Cinnamomum*, *Cistus*, *Citrus*, *Cladrastis*, *Cladrastis*, *Cliftonia*, *Condalia*, *Cornus*, *Corylus*, *Cotinus*, *Cotoneaster*, *Crataegus*, *Cyrilla*, *Dasyphyllum*, *Diospyros*, *Embothrium*, *Erica*, *Eriobotrya*, *Erythrina*, *Eucalyptus*, *Eucryphia*, *Euonimus*, *Fagus*, *Ficus*, *Firmiana*, *Frangula*, *Fraxinus*, *Gevuina*, *Gleditschia*, *Gymnocladus*, *Halesia*, *Ilex*, *Juglans*, *Koeberlinia*, *Koelreuteria*, *Laburnum*, *Lagerstroemia*, *Laurelia*, *Laurus*, *Ligustrum*, *Liquidambar*, *Liriodendron*, *Lithocarpus*, *Lomatia*, *Lysiloma*, *Maclura*, *Magnolia*, *Malus*, *Maytenus*, *Melia*, *Mespilus*, *Morus*, *Myrceugenella*, *Myrica*, *Myrtus*, *Nerium*, *Nothofagus*, *Olea*, *Ostrya*, *Oxydendrum*, *Paliurus*, *Parkinsonia*, *Paulownia*, *Persea*, *Peumus*, *Philadelphus*, *Phillyrea*, *Pistacia*, *Pistacia*, *Planera*, *Platanus*, *Polygala*, *Populus*, *Prunus*, *Pyrus*, *Quercus*, *Quillaja*, *Rhamnus*, *Rhododendron*, *Rhus*, *Robinia*, *Salix*, *Sambucus*, *Sapindus*, *Sapium*, *Sassafras*, *Schinus*, *Sophora*, *Sorbus*, *Staphylaea*, *Styrax*, *Symplocos*, *Syringa*, *Tamarix*, *Tilia*, *Trema*, *Ulmus*, *Umbellularia*, *Viburnum*, *Vitex*, *Weinmannia*, *Zizyphus*.

## RESULTADOS

Estudiadas las muestras seleccionadas así como diferentes claves de identificación se propone la siguiente clave para la identificación de frondosas a nivel de especie:

**Vasos:** **V1.** Exclusivamente aislados. **V2.** Vasos en alineación múltiple de 4 o más. **V3.** Vasos dispuestos en formaciones radiales u oblicuas. **V4.** Vasos en disposición tangencial. **V5.** Vasos agrupados. **V6.** Perforaciones simples. **V7.** Perforaciones múltiples o escalariformes. **V8.** Perforaciones escalariformes con más de 20 barras. **V9.** Vasos con engrosamientos helicoidales (**V9A.** Engrosamientos sólo en el extremo del elemento vasal, **V9F.** Engrosamientos helicoidales finos, **V9S.** Engrosamientos sólo en vasos pequeños). **V10.** Punteaduras intervasculares pequeñas:  $f < 3 \mu\text{m}$  (**V10H.** El diámetro máximo de la puntedura alcanza un valor entre 4 y 5  $\mu\text{m}$ ). **V11.** Punteaduras intervasculares escalariformes, transicionales u opuestas (**V11S.** Escalariformes, **V11O.** Opuestas). **V12.** Punteaduras intervasculares ornadas. **V13.** Vasos ausentes. **V14.** Thyllos abundantes. **V15.** Thyllos escleróticos. **V16.** Vasos con depósitos. **V17.** Vasos en número inferior a 5 por cada  $\text{mm}^2$ . **V18.** Vasos en número inferior a 20 por cada  $\text{mm}^2$ . **V19.** Vasos en número superior a 40 por cada  $\text{mm}^2$ . **V20.** Vasos con diámetro tangencial medio inferior a 50  $\mu\text{m}$ . **V21.** Vasos con diámetro tangencial medio inferior a 100  $\mu\text{m}$ . **V22.** Vasos con diámetro tangencial medio superior a 200  $\mu\text{m}$ . **V23.** Madera en anillo poroso. **V24.** Madera en anillo semiporoso.

**Fibras, traqueidas y fibrotraqueidas:** **F1.** Fibras septadas. (**F1S.** Pocas fibras son septadas). **F2.** Fibras de paredes gruesas. **F3.** Fibrotraqueidas presentes. **F4.** Traqueidas presentes. **F5.** Fibras con engrosamientos helicoidales.

**Radios leñosos:** **RL1.** Radios más altos de 1 mm. **RL2.** Radios exclusivamente uniseriados. **RL3.** Radios multiseriados de 4 a 10 células de anchura. **RL4.** Radios de más de 10 células de anchura. **RL5.** Radios agregados presentes. **RL6.** Radios de dos anchuras netamente diferentes. **RL7.** Radios leñosos homogéneos (**RL7S.** Están compuestos de células erectas y cuadradas). **RL8.** Radios leñosos de 4 o más filas marginales. **RL9.** Radios de 10 o más filas marginales. **RL10.** Radios leñosos cuya parte bi- o triseriada es estrecha. **RL11.** Célula en forma de teja en el radio. **RL12.** Células en vaina dentro de los radios leñosos. **RL13.** Canales intercelulares, tubos laticíferos o taníferos, presentes en los radios (**RL13T.** Tubos laticíferos o taníferos). **RL14.** Radios en pisos o cardas. **RL15.** Radios en número menor a 4 por mm. **RL16.** Radios en número mayor a 12 por mm. **RL17.** Punteaduras entre vasos y parénquima radial grandes.

**Parénquima longitudinal:** **P1.** Parénquima apotraqueal predominantemente. **P2.** Parénquima axial apotraqueal difuso y/o formando breves cadenas (**P2A.** Agregado difuso). **P3.** Parénquima paratraqueal predominantemente (**P3A.** Unilateral). **P4.** Parénquima vasicéntrico (**P4C.** Escaso a vasicéntrico, **P4E.** Escaso). **P5.** Parénquima aliforme confluyente (**P5A.** Más abundante el aliforme que el aliforme confluyente). **P6.** Parénquima axial ausente o raro. **P7.** Parénquima en bandas (**P7O.** En bandas oblicuas). **P8.** Parénquima en bandas uniseriadas. **P9.** Parénquima en bandas de más de 4 series. **P10.** Número de bandas de parénquima > 6 por mm. **P11.** Parénquima en pisos o cardas. **P12.** Parénquima de células fusiformes. **P13.** Parénquima marginal.

**Canales axiales, cristales, inclusiones minerales y células oleíferas:** **C1.** Canales intercelulares axiales. (**C1T.** Traumáticos) **C2.** Canales verticales en líneas tangenciales (**C2T.** Traumáticos). **C3.** Cristales en células normales (**C3A.** Parénquima axial, **C3R.** Parénquima radial, **C3F.** Fibras). **C4.** Cadenas axiales de cristales en células septadas (**C4R.** Parénquima radial, **C4A.** Parénquima axial, **C4F.** Fibras). **C5.** Cristales en idioblastos (**C5R.** Parénquima radial, **C5A.** Parénquima axial). **C6.** Rafidas o drusas. **C7.** Células oleíferas o mucilaginosas presentes (**C7R.** Asociada a los radios, **C7A.** Asociada al tejido axial). **C8.** Gránulos minerales presentes en los radios, en el parénquima o en las fibras (**C8A.** Parénquima axial).

**Otros caracteres:** **OC1.** Olor característico. **OC2.** Color característico. **OC3.** Madera muy pesada >1,0 g/cm<sup>3</sup>. **OC4.** Madera muy ligera <0,4 g/cm<sup>3</sup>. **OC5.** Anillos de crecimiento netamente diferenciados. **OC6.** Floema incluido (**OC6F.** Foraminado). **OC7.** Astillas que se queman formando ceniza.

**Regiones geográficas:** **RF1.** Eurasia y Norte de Africa. **RF2.** India. **RF3.** Sudeste asiático y Malasia. **RF4.** Australia y Nueva Zelanda. **RF5.** Africa tropical y Madagascar. **RF6.** Sudáfrica. **RF7.** América del Norte. **RF8.** América Central, Caribe y Sudamérica tropical. **RF9.** América del Sur templada.

## CONCLUSIONES

A diferencia de las maderas de coníferas, la identificación de maderas de frondosas a nivel de especie presenta unas diferencias más amplias. Aún así discriminar dentro de un mismo género especies muy próximas entre sí es muy complicado. Sólo algunos caracteres biométricos nos permiten aproximarnos con cierto índice de fiabilidad a la identificación de especies.

Esta nueva clave presenta como ventaja frente a otras ya existentes, la utilización de caracteres anatómicos que hasta ahora no se habían incluido, así como la combinación de caracteres no sólo microscópicos, sino también macroscópicos y de distribución geográfica. Todo ello, unido a su empleo mediante un programa informático, facilita y agiliza el difícil trabajo de la identificación de maderas de frondosas.

## AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT), por su aportación económica para la adquisición de los equipos de microscopía y microtomía utilizados en este estudio, y a todas las entidades que han colaborado aportando muestras de maderas de sus colecciones.

## BIBLIOGRAFIA

- HOFFMANN A. (1995). *Flora silvestre de Chile. Zona Central*. Ediciones Fundación Claudio Gay. Santiago de Chile. 255 p.
- HOFFMANN A.; (1994). *Flora silvestre de Chile. Zona Araucana*. Ediciones Fundación Claudio Gay. Santiago de Chile. 258 p.
- CEBALLOS, L. & RUIZ DE LA TORRE, J.; (1979). *Arboles y arbustos*. Fundación Conde del Valle Salazar. Madrid. 512p.
- COMMITTEE ON NOMENCLATURE; (1964). *Multilingual glossary of terms used in wood anatomy*. International Association of Wood Anatomist (IAWA). Zurich. 183 p.
- CORE, H.A. et al.; (1979). *Wood. Structure and identification*. Syracuse University Press. Syracuse. 182 p.
- GARCIA ESTEBAN, L. & GUINDEO CASASUS, A.; (1989). *Anatomía de Frondosas Españolas*. AITIM. Madrid. 618 p.
- GARCIA ESTEBAN, L. et al.; (1991). *Maderas del mundo. Tomo I. Coníferas Ab-Whi. Frondosas Ab-Azu*. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho (AITIM). Madrid. 217 p.
- GIORDANO, G.; (1980). *I legnami del mondo. Dizionario enciclopedico*. Il Cerilo Editrice. Roma. 1184 p.
- GUINDEO CASASUS, A. et al.; (1997). *Especies de maderas para carpintería, construcción y mobiliario*. AITIM. Madrid. 734 p.
- HARRAR, E.S.; (1957). *Hough's encyclopedia of American woods*. Robert Speller and Sons. 25p.
- JACKSON, B.D.; (1985-1971). *Index Kewensis. Plantarum Phanerogamarum(CD)*. Oxford.
- LAPASHA, C.A.; (1986). *GUESS (General unknown entry and search system). Computer assisted multiple entry key for computer assisted wood identification*. Department of wood and paper Science. North Carolina State University. North Carolina.
- LEMÉE, A.; (1929). *Dictionnaire des genres de plantes phanerogames*. 8 Tomos. Brest.
- LITTLE E.L.; (1988). *Field guide to North American Trees. Western Region*. The Audubon Society. New York. 639 p.
- LITTLE E.L.; (1992). *Field guide to North American Trees. Eastern Region*. The Audubon Society. New York. 715 p.
- METCALFE, C.R. & CHALK, L.; *Anatomy of Dicotyledons*. University Press. Oxford. 1500p.
- NORMAND, D.; (1972). *Manuel d'identification des bois commerciaux. Tomo 1*. Centre Technique Forestier Tropical (CTFT). Paris. 171 p.
- NORMAND, D. & PAQUIS, J.; (1976). *Manuel d'identification des bois commerciaux. Tomo 2*. Centre Technique Forestier Tropical (CTFT). Paris. 335 p.
- P. DETIENE, P. et al.; (1982). *Manuel d'identification des bois commerciaux. Tomo 3*. Centre Technique Forestier Tropical (CTFT). París. 315 p.
- PERAZA ORAMAS, C. & GUINDEO CASASUS, A.; (1974). *La madera, su anatomía, estructura e identificación*. AITIM. Madrid. 198 p.
- PERAZA ORAMAS, C. et al.; (1993) *Tecnología de la Madera I*. Fundación Conde del Valle Salazar. Madrid. 178 p.
- PRESTON R.J.; (1989). *North American Trees*. Iowa State University Press. Ames, Iowa. 407 p.
- SANTOS BILONI, J. (1990). *Arboles autóctonos Argentinos*. Tipográfica Editora Argentina. Buenos Aires. 335 p.
- SCHWEINGRUBER, F.H.; (1990). *Anatomy of European woods*. Haupt. Stuttgart. 800 p.
- WHEELER, E.A. et al.; (1986). *GUESS. Computer – Aided Wood Identification*. North Carolina Agriculture Station Bulletin N° 474. North Carolina.