

2.1. Introducción

La arquitectura se caracteriza por ser un edificio de planta o estructura sencilla, en un conjunto regular y estático donde las paredes y el techo son las superficies de los muros y el suelo. Este sistema fue utilizado por los egipcios para sus templos y palacios.

En la época romana se utilizó el arco y el arco de triunfo para dar mayor resistencia a las estructuras. Este sistema fue utilizado por los romanos en sus edificios públicos y privados.

En la época medieval se utilizó el arco gótico para dar mayor altura a las estructuras. Este sistema fue utilizado por los góticos en sus catedrales y castillos.

En la época renacentista se utilizó el arco de medio punto para dar mayor belleza a las estructuras. Este sistema fue utilizado por los renacentistas en sus edificios públicos y privados.

En la época barroca se utilizó el arco de medio punto y el arco de triunfo para dar mayor decoración a las estructuras. Este sistema fue utilizado por los barrocos en sus edificios públicos y privados.

En la época neoclásica se utilizó el arco de medio punto y el arco de triunfo para dar mayor sencillez a las estructuras. Este sistema fue utilizado por los neoclásicos en sus edificios públicos y privados.

En la época romántica se utilizó el arco de medio punto y el arco de triunfo para dar mayor decoración a las estructuras. Este sistema fue utilizado por los románticos en sus edificios públicos y privados.

En la época neoromántica se utilizó el arco de medio punto y el arco de triunfo para dar mayor decoración a las estructuras. Este sistema fue utilizado por los neorománticos en sus edificios públicos y privados.

En la época modernista se utilizó el arco de medio punto y el arco de triunfo para dar mayor sencillez a las estructuras. Este sistema fue utilizado por los modernistas en sus edificios públicos y privados.

En la época racionalista se utilizó el arco de medio punto y el arco de triunfo para dar mayor sencillez a las estructuras. Este sistema fue utilizado por los racionalistas en sus edificios públicos y privados.

En la época funcionalista se utilizó el arco de medio punto y el arco de triunfo para dar mayor sencillez a las estructuras. Este sistema fue utilizado por los funcionalistas en sus edificios públicos y privados.

En la época expresionista se utilizó el arco de medio punto y el arco de triunfo para dar mayor decoración a las estructuras. Este sistema fue utilizado por los expresionistas en sus edificios públicos y privados.

En la época constructivista se utilizó el arco de medio punto y el arco de triunfo para dar mayor sencillez a las estructuras. Este sistema fue utilizado por los constructivistas en sus edificios públicos y privados.

En la época stalinista se utilizó el arco de medio punto y el arco de triunfo para dar mayor decoración a las estructuras. Este sistema fue utilizado por los stalinistas en sus edificios públicos y privados.

En la época soviética se utilizó el arco de medio punto y el arco de triunfo para dar mayor sencillez a las estructuras. Este sistema fue utilizado por los soviéticos en sus edificios públicos y privados.

Capítulo 3

Estructura microscópica de la madera de frondosas

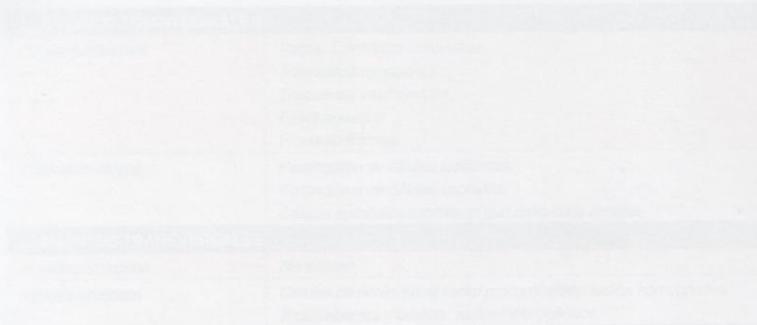


Fig. 3.1 Estructura microscópica de la madera de frondosas.

3.1 Introducción

Las angiospermas se caracterizan por tener sus semillas (de *sperma* = semilla) encerradas en un recipiente (*aggeion* = vaso), siendo éste precisamente el carácter que las diferencia de las gimnospermas. Dicho término fue utilizado por **Linneo** para catalogar estas plantas.

Todas las especies vegetales que presentan esta característica se agrupan en la división XVII de **Engler** y a la vez, se subdividen en dos clases: monocotiledóneas y dicotiledóneas.

Para diferenciar ambas clases podríamos hacer uso de dos caracteres. El primero atendiendo a la morfología de sus hojas y el segundo al tejido conductor. Mientras que la nervadura de las monocotiledóneas es de nervios paralelos, en el caso de las dicotiledóneas, generalmente existe un nervio principal del cual surgen ramificaciones secundarias.

En cuanto a la estructura del tejido conductor de las monocotiledóneas, la ausencia de cambium y el aislamiento de sus haces liberoleñosos durante toda la vida de la planta, origina que no generen madera. Por el contrario, en las dicotiledóneas, los haces liberoleñosos que recorren el tallo, no forman tejidos independientes, es decir, no se aíslan como en las

monocotiledóneas, sino que se agrupan en dos grandes sistemas conductores, el xilema, o conductor de savia bruta, y el floema, o conductor de savia elaborada.

Las dicotiledóneas a su vez se dividen en dos subclases, la subclase I: Arqui-clamídeas, con 33 órdenes, y la subclase II: Metaclamídeas o simpétalas, con 11 órdenes. Todas las maderas de frondosas de interés comercial o científico se encuentran incluidas en alguna de las familias de esos 44 órdenes.

3.2. Anatomía de las maderas de frondosas

Los elementos de las maderas de frondosas se incluyen en la tabla 3.1 y fig.3.1.

3.2.1. Elementos longitudinales

3.2.1.1. Prosenquimatosos

Son las células originadas después de su formación por las fusiformes iniciales del cambium. La modificación de las células se hace principalmente en longitud para todos los elementos longitudinales, excepto para los vasculares, en los que su longitud es muy poco diferente de las iniciales del cambium, aumentando mucho en diámetro (fig. 3.2).

ELEMENTOS LONGITUDINALES	
<i>Prosenquimatosos</i>	<i>Vasos: Elementos vasculares Traqueidas vasculares Traqueidas vasicéntricas Fibrotraqueidas Fibras libriformes</i>
<i>Parenquimatosos</i>	<i>Parénquima de células fusiformes Parénquima de células septadas Células epiteliales secretoras que rodean los canales</i>
ELEMENTOS TRANSVERSALES	
<i>Prosenquimatosos</i>	<i>No existen</i>
<i>Parenquimatosos</i>	<i>Células de parénquima radial procumbentes: radios homogéneos Procumbentes y erectas: radios heterogéneos</i>

Tabla 3.1.
Elementos anatómicos de frondosas

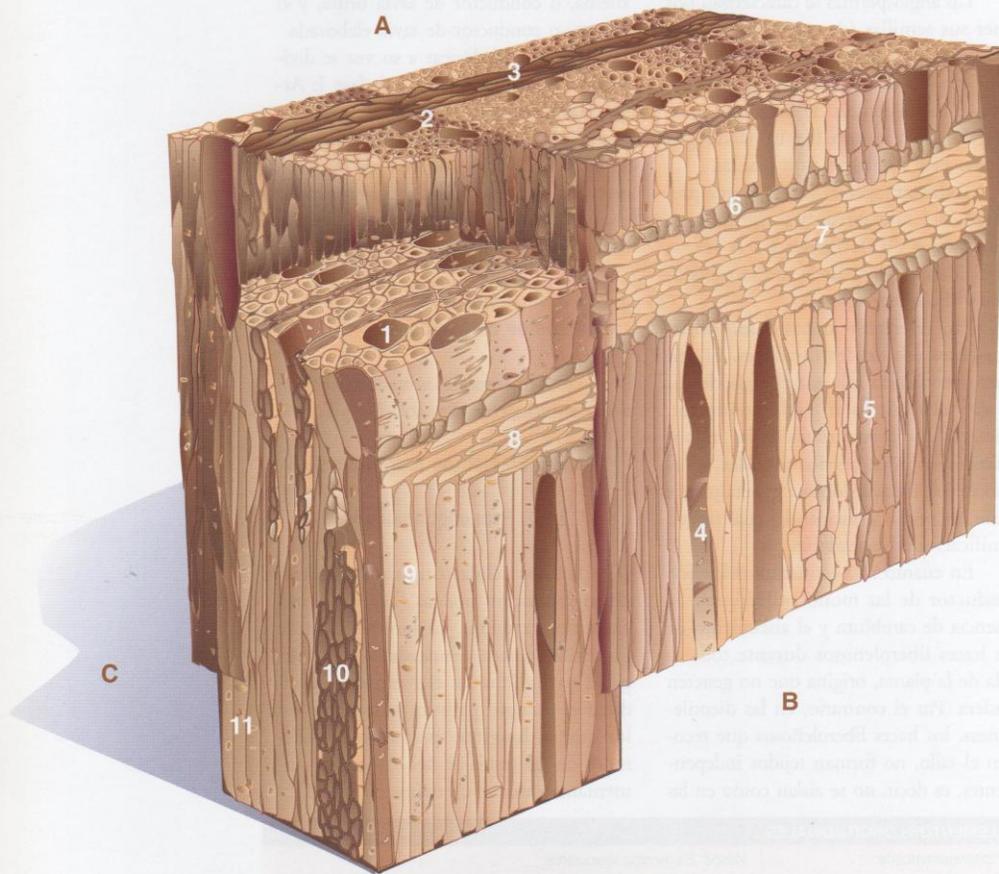


Figura 3.1 Estructura microscópica de madera de frondosas

Sección A. Transversal. 1. Vaso, 2. Parénquima longitudinal, 3. Radio leñoso

Sección B. Radial. 4. Elemento vascular, 5. Parénquima longitudinal, 6. Células erectas, 7. Células procumbentes, 8. Radio leñoso heterogéneo, 9. Fibrotraqueidas

Sección C. Tangencial. 10. Radio leñoso multiseriado, 11. Fibrotraqueidas

a. Vasos: elementos vasculares. La presencia de vasos en una madera es un factor indicativo de su pertenencia al grupo de las frondosas. No obstante, existen algunas familias de las dicotiledóneas que carecen de vasos, estando constituido su tejido xilemático íntegramente por elementos longitudinales no perforados y parénquima. Son los casos de *Amborellaceae*, *Tetracentraceae*, *Trochodendraceae* y *Winteraceae*. Aunque el paquete fibroso tiene el aspecto de una madera de coníferas, se diferencia de ésta en la presencia de radios leñosos multiseriados.

Los vasos son auténticos tubos de conducción de agua y savia dentro del tejido del vegetal, que se extienden en el sentido longitudinal del árbol, y están formados por el empalme longitudinal de células, cada una de las cuales recibe el nombre de **elemento vascular**.

La célula inicial fusiforme del cambium, que va a dar origen al elemento vascular, no es perforada y posee pared primaria y protoplasma. Primeramente sufre un crecimiento en diámetro hasta varios cientos de veces el inicial, mientras que su crecimiento longitudinal es escaso. Cuando ha adquirido su dimensión máxima empieza a depositarse la pared secundaria, quedando unos puntos o zonas en los que no se forma pared, dando origen a las punteaduras. Mientras tanto, en las paredes terminales o extremos de los elementos vasculares se desarrollan las perforaciones longitudinales.

Perforaciones. El tabique de separación, más o menos perforado, entre los elementos vasculares está formado por los restos de la pared celular correspondiente a cada uno de los elementos vasculares. Como mínimo tienen dos tabiques perforados pertenecientes a cada uno de sus extremos, pero muchas veces poseen

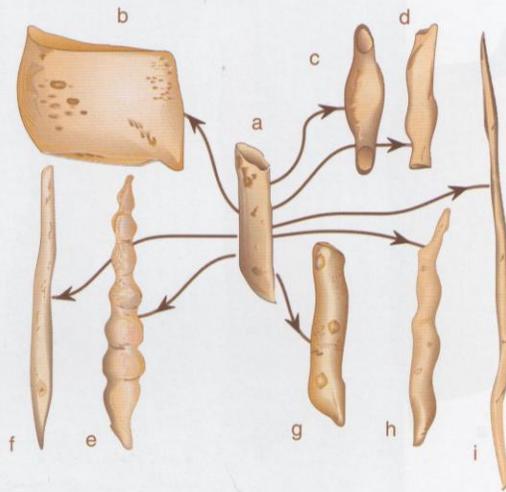
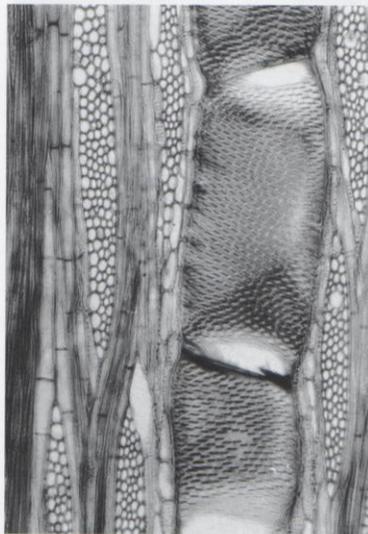


Figura 3.2.
Elementos longitudinales de las maderas de frondosas
a. Célula inicial fusiforme del cambium, b, c, d. Segmentos vasales
e. Célula de parénquima septada, f. Célula fusiforme de parénquima
g. Traqueidas vasculares, h. Traqueidas vasicéntricas, i. Fibra

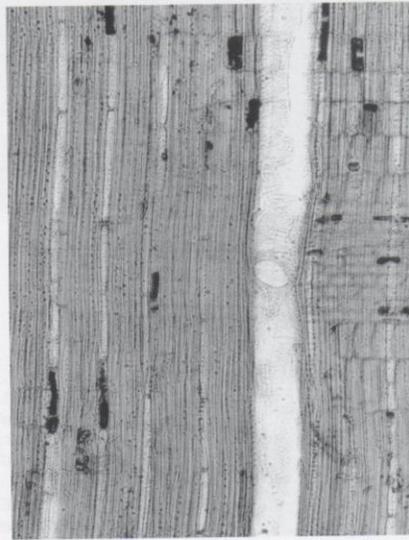


Elementos vasculares
en *Antiaris africana*



Figura 3.3.
Tipos de perforaciones
a. Simples
b. Escalariformes
c. Cribosas

más de dos zonas perforadas debido a las comunicaciones contiguas con otros elementos vasculares. El proceso de perforación empieza por una punteadura sin reborde de grandes dimensiones, originán-



Perforaciones
simples en
Anainona guianensis

dose por la reabsorción de la membrana de la misma. Las investigaciones realizadas sobre la naturaleza de las perforaciones han permitido llegar a la conclusión de que el tipo de perforación es un indicador de la evolución del vegetal.

Las perforaciones que se pueden encontrar en los elementos vasculares de la madera de frondosas presentan la característica de ser consideradas como elementos analíticos a nivel de identificación. Los tipos que existen, son: (fig 3.3)

Perforaciones simples. La membrana de la punteadura se reabsorbe completamente, dejando libre el paso entre los elementos vasculares. Se presenta en especies como *Entandrophragma spp.*, *Pterocarpus spp.*, etc.

Entre las maderas comerciales españolas se encuentran en los géneros *Populus* (chopos), *Salix* (sauces), *Fraxinus* (fresnos), *Acer* (arces), entre otros. El castaño presenta perforaciones simples en los vasos de primavera.

Perforaciones escalariformes. La reabsorción de la membrana en la punteadura se hace en forma de ranuras dejando entre ellas unas barras que las separan entre sí. El número de barras establece en las claves de identificación los umbrales de paso de un grupo a otro, siendo habitual manejar los intervalos < 10 barras (*Corylus avellana*, *Goupia spp.*, *Liriodendron tulipifera*, *Coula edulis*, etc.), entre 10 y 20 (*Betula verrucosa*, *Altingia excelsa*, *Liquidambar styraciflua*, etc.), entre 20 y 40 (*Dicoryphe stipulacea*, *Nyssa ogeche*, *Staphylea pinnata*, etc.) y > 40 (*Aextoxicon punctatum*, *Hedyosmum spp.*, *Dillenia triquetra*, etc.).

Entre las especies españolas, el castaño (*Castanea sativa*) presenta este tipo de perforación en los vasos de la madera de verano, mientras que el abedul (*Betula pen-*

dula) lo presenta en todos sus elementos. Otras, como la madera de **haya** (*Fagus sylvatica*), presentan indistintamente perforaciones simples y escalariformes.

Dentro de este grupo, existe una perforación intermedia entre ésta y la foraminada, llamada **reticuliforme**.

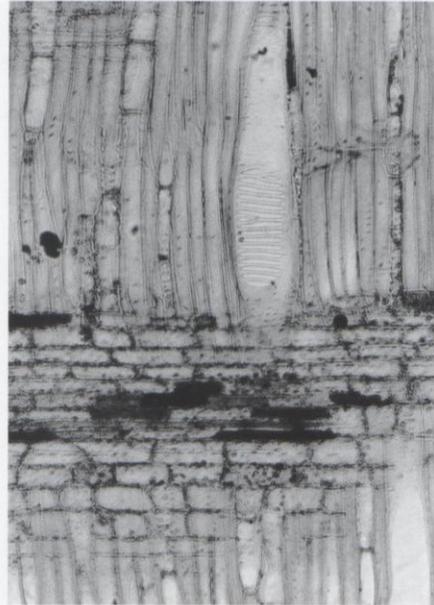
Perforación foraminada o cribosa. La reabsorción de la membrana de la punteadura se hace en varios puntos, lo que da un aspecto de colador al tabique de separación.

Se admite que los tabiques de separación entre elementos vasculares del tipo escalariforme, suponen una estructura primitiva en las frondosas y se producen generalmente cuando este tabique está inclinado con respecto al eje longitudinal del vaso. Cuando aumenta la especialización, los vasos son más gruesos, los tabiques de separación se colocan prácticamente horizontales y se produce entonces la perforación simple.

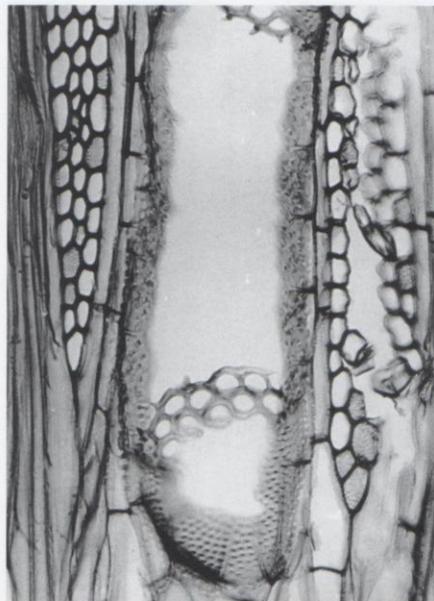
Según **Frost**, el tipo de perforación más primitivo es del tipo escalariforme situado sobre una pared terminal oblicua. Por el contrario, el más evolucionado es del tipo simple. Es decir, la progresión evolutiva ha generado la desaparición o disminución del número de las barras de la perforación, y ha reducido la inclinación de las paredes terminales del vaso hasta llegar al plano horizontal. Como dato significativo, la mayor parte de las maderas de frondosas tropicales presentan perforaciones simples, siendo un número escaso de familias quienes las presentan. Por el contrario, las especies de las regiones templadas presentan tanto perforaciones simples como escalariformes.

Punteaduras en paredes laterales.

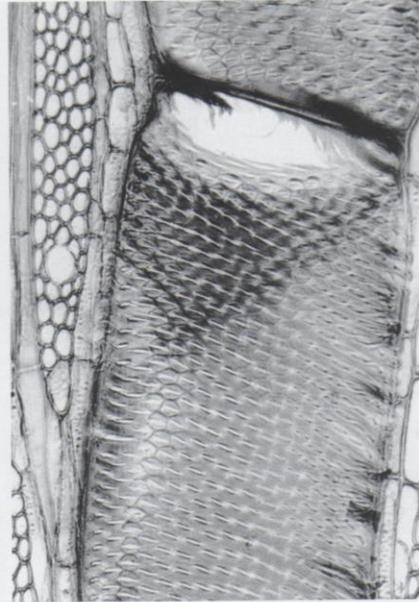
En cuanto a las paredes laterales de los vasos pueden presentar punteaduras o «esculturas». Las punteaduras de las



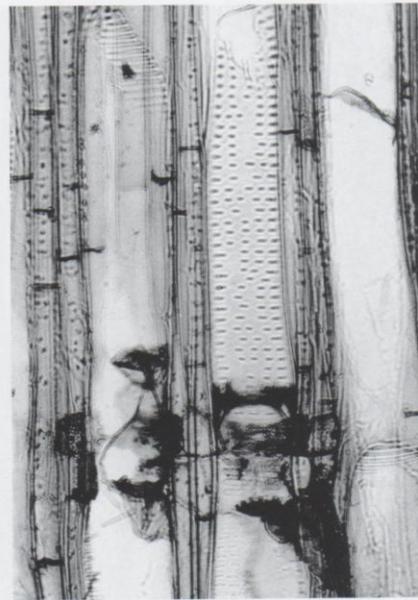
Perforaciones escalariformes en *Laplacea fruticosa*



Perforaciones cribosas en *Oroxylum indicum*



Punteaduras intervasculares alternas en *Antiaris africana*



Punteaduras intervasculares opuestas en *Serrotia ovata*

paredes de los vasos son muy variables en cuanto a forma, dependiendo de las clases de células con las que se ha de efectuar la comunicación. Así, en primer lugar, en la comunicación con elementos prosenquimatosos las punteaduras son con reborde, y cuando se comunican con células parenquimatosas pueden ser con rebordes, semirebordeadas o simples. Por otra parte, las punteaduras de paso entre los vasos y los radios leñosos presentan un aspecto especial, no solamente porque son diferentes en dimensiones y naturaleza, sino por la agrupación que de las mismas se produce. Sin embargo, de todas los elementos de comunicación que se encuentran en las paredes vasales, son las punteaduras intervasculares las más importantes desde el punto de vista analítico, tanto por su naturaleza, como por su disposición o su tamaño.

Bonner y Thomas han establecido que las punteaduras intervasculares están al principio colmatadas por una sustancia de depósito, que en un estado posterior desaparece para dejar paso al intercambio de fluidos. Con el tiempo, y ya perdida su función conductora, esos orificios son de nuevo taponados y pierden su permeabilidad.

Se distinguen los siguientes tipos de punteaduras sobre la pared celular de los vasos:

Punteaduras alternas. Cuando se presentan en alineaciones inclinadas con respecto al eje del vaso, siendo generalmente poligonales. Se presentan en las familias Leguminosae, Meliaceae, Sapindaceae, etc.

Punteaduras escalariformes. Cuando las punteaduras son lineales, con su eje perpendicular al del vaso. Este es otro carácter que señala una especialización

pequeña en la madera, y por consiguiente, la persistencia de estructuras primitivas (*Rhizophora spp.*, *Laurelia spp.*, etc.).

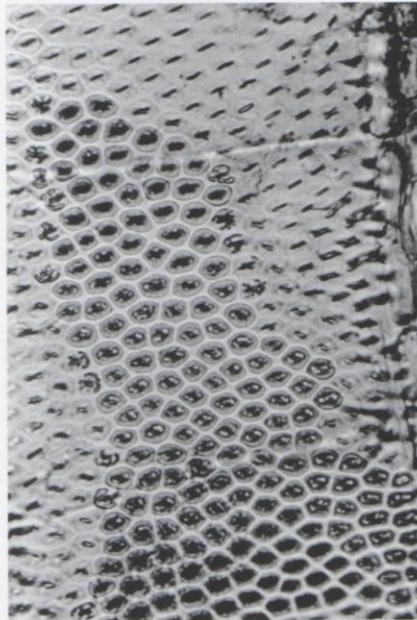
Análogas a estas punteaduras son las de paso entre los vasos y las traqueidas vasculares. En cambio, las que comunican con las fibras libriformes y fibrotraqueidas están distribuidas en alineaciones verticales y son estrechas y casi verticales, aunque existen maderas en las cuales no hay comunicación entre los vasos y las traqueidas.

Punteaduras opuestas. Dispuestas en formaciones horizontales transversales al eje del elemento vasal (*Liriodendron spp.*, *Nyssa ogeche*, etc.).

Punteaduras ornadas. Punteaduras intervasculares con proyecciones en la pared secundaria de la punteadura y/o en el borde de la abertura. Muy comunes en muchas de las especies de las Leguminosae, también se presentan en las Combretaceae, Lythraceae, Myrtaceae y Rubiaceae.

Finalmente, la pared de los vasos puede presentar **engrosamientos helicoidales** con carácter general en todos los vasos o únicamente en alguno de ellos (fig. 3.4). Además, su situación en el vaso aporta un detalle más sobre la pertenencia a una especie u otra, ya que en ocasiones los engrosamientos sólo se ubican en los extremos del vaso de manera constante o por el contrario ocupan la totalidad del mismo. Son típicos en los Tilos (*Tilia spp.*) y en los Arces (*Acer spp.*). En otras maderas, como el Olmo (*Ulmus spp.*), se presentan en los elementos vasculares más pequeños y en las traqueidas vasculares.

Morfología. En cuanto a la forma de los elementos vasculares, esta puede variar desde la forma de tonel o de barril a la ahusada de extremos perforados; es



Punteaduras intervasculares ornadas en *Terminalia ivorensis*



Engrosamiento helicoidal sobre elemento vasal de *Tilia cordata*

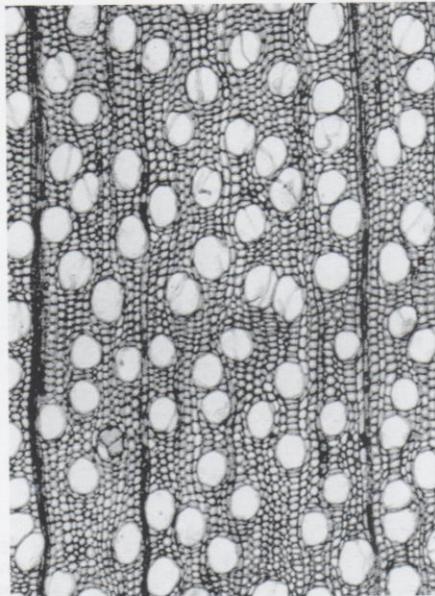


Figura 3.4.
Engrosamiento
helicoidal sobre
elemento vasal

decir, desde dimensiones transversales del mismo orden de magnitud que las longitudinales, hasta la lineal, con una gran diferencia entre las dimensiones longitudinales, mucho más grandes que las transversales. En este último caso, las extensiones liguladas de los extremos son consideradas como restos de la célula inicial no madura.

El crecimiento longitudinal que sufren los elementos o segmentos vasculares, generalmente es muy pequeño respecto a las dimensiones de la célula inicial del cambium. Este hecho hace que exista igualmente una diferencia de longitud apreciable entre los distintos elementos vasculares pertenecientes a diferentes maderas.

Distribución. Los vasos aparecen en la sección transversal, es decir, cortados perpendicularmente a la dirección de su



Vasos
exclusivamente
aislados en
Symplocos amplifolia

eje, bajo el aspecto de un hueco, al que se denomina **poro**. En ocasiones los poros presentan secciones poligonales visibles en dicha sección (*Aextoxicon punctatum*, madera de verano de *Quercus spp.*, etc.).

En función de su distribución sobre la sección transversal, los vasos presentan la siguiente tipología:

Vasos o poros aislados. Cuando cada vaso se presenta sólo y separado de los restantes por tejido diferente. Generalmente estos vasos son de sección redonda u ovalada, con el eje mayor en sentido radial. Al menos el 90% de los vasos deben estar aislados para ser considerado éste carácter en una madera (*Aspidosperma quebracho*, *Caraipa spp.*, *Eucalyptus regnans*, *Malus sylvestris*, etc.).

Vasos o poros múltiples radiales. Cuando se encuentran agrupados dos o más vasos, generalmente en sentido radial. Los vasos intermedios presentan sus paredes tangenciales aplanadas y los extremos del grupo presentan la otra cara redondeada (*Ilex aquifolium*, *Elaeocarpus hookerianus*, *Gambeya excelsa*, etc.). Cuando la frecuencia de este tipo de radios es elevada la distribución recibe el nombre de **formación en rosario o rosario de vasos**.

También se pueden disponer en líneas en zig-zag o flameadas (*Lithocarpus edulis*, *Mesua ferrea*, *Eucalyptus diversicolor*, *E. obliqua*, etc.).

Vasos agrupados. En estas agrupaciones cada vaso conserva su individualidad. Dentro de este tipo de distribución, se distinguen tres agrupaciones relacionadas con la disposición de los vasos. La **puntiforme** recibe su nombre debido a que la agrupación de los vasos se reparte a modo de pequeños grupos distribuidos puntualmente en toda la sección (*Gleditsia triacanthos*, *Gymnocladus dioica*, *Ailanthus altissima*, etc.), y las

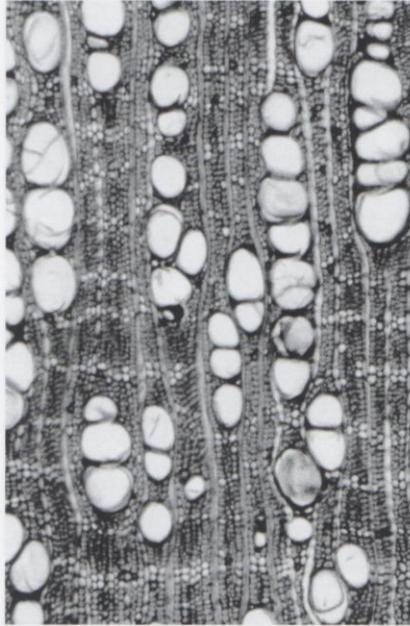
formaciones de vasos, cuya distribución obedece a agrupaciones **tangenciales** (*Pittosporum tobira*, *Kalopanax pictus*, *Maclura pomifera*, etc.) y en **zig-zag o flameadas** (*Rhus armatica*, *Rhamnus cathartica*, *Bumelia lenuginosa*, etc.).

Por último, la observación macroscópica del corte transversal de una madera de frondosas con pocos aumentos (x10 a x25), hace que puedan distinguirse tres tipos de distribución de vasos:

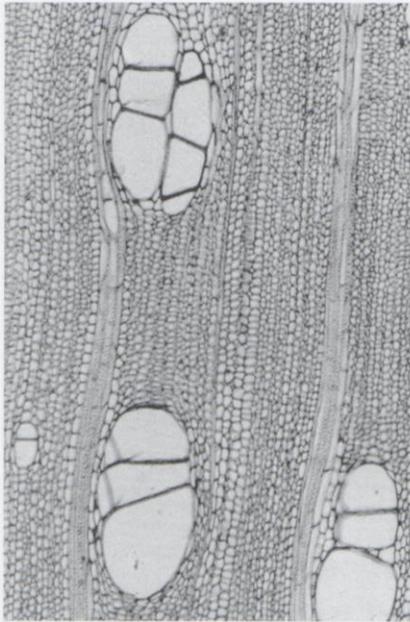
En **anillo poroso**, cuando el diámetro de los vasos de primavera es marcadamente mayor que los formados en la madera de verano (*Quercus robur*, *Fraxinus excelsior*, *Ulmus americana*, etc.). El anillo de crecimiento tiene una zona que aún a simple vista tiene un aspecto poroso, fácilmente observable por su diferente aspecto o colorido. En **anillo difuso**, cuando los diámetros de los vasos formados en primavera sean aproximadamente igual a los formados en verano (*Acer spp.*, *Populus spp.*, *Swietenia spp.*, *Enterolobium spp.*, etc.). En **anillo semiporoso**, cuando el diámetro de los vasos desde la madera formada en primavera hasta la formada en verano decrece de manera progresiva (*Juglans regia*, *J. nigra*, *Pterocarpus indicus*, *Cedrela odorata*, etc.).

Por otro lado, el término **abundancia**, se refiere al número de poros por mm², interviniendo tanto a madera de primavera como a madera de verano. Es muy variable en las diferentes especies y por tal razón en las claves de identificación se fijan umbrales que sean determinantes para el análisis. Los más comunes por mm² son:

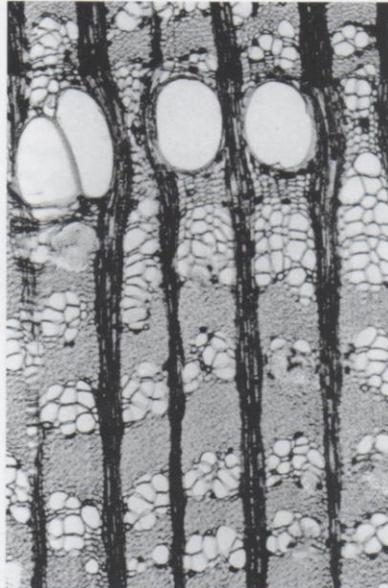
- Vasos en número menor o igual a 5.
- Vasos en número entre 5 y 20.
- Vasos en número entre 20 y 40 .
- Vasos en número entre 40 y 100 .
- Vasos en número mayor o igual a 100.



Vasos múltiples radiales en *Manilkara bidentata*



Agrupación de vasos puntiforme en *Solanum psychophanta*



Agrupación de vasos tangencial en *Ulmus campestris*



Agrupación de vasos en zig-zag en *Rhamnus alaternus*

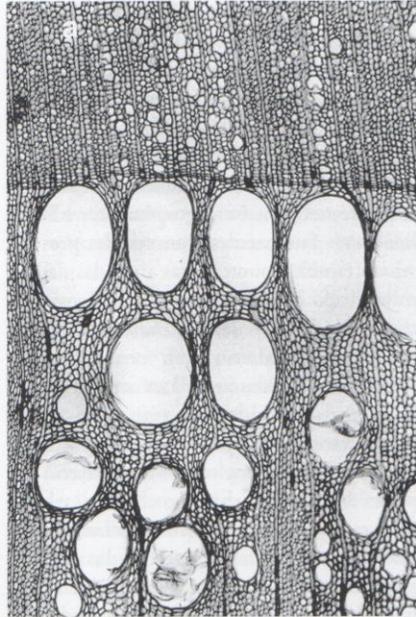
Particularidades anatómicas. Los vasos en ocasiones tienen obstruido el lumen del elemento vascular debido a la penetración de las células que los rodean, a través de las aberturas de las punteaduras. Esto se explica por la diferencia de presión existente entre la célula viva de parénquima, que se encuentra en estado de turgencia y el segmento vascular, ya muerto, que ha cesado o está a punto de cesar en sus funciones conductoras. La membrana de la punteadura se dilata y arquea, penetrando dentro una parte del protoplasma de la célula libre en la cavidad o hueco formado, constituyendo lo que se conoce con el nombre de **thyllos**. Son comunes en especies como (*Robinia pseudoacacia*, *Strombosia pustulata*, *Eucalyptus acmenoides*, *Castanea sativa*, *Quercus spp.*, etc.). Generalmente son de paredes delgadas, aunque en ocasiones las paredes se lignifican recibiendo el nombre de **thyllos escleróticos** (*Brosimum guianense*, *Chaetocarpus schomburgkianus*, etc.).

Cuando las formaciones thyllósicas son muy abundantes, impiden la penetración de líquidos, pero no aumentan, por regla general, la durabilidad de la madera. Sin embargo, es un carácter muy importante a tener en cuenta en los procesos de impregnación, ya que ésta se ve notablemente dificultada.

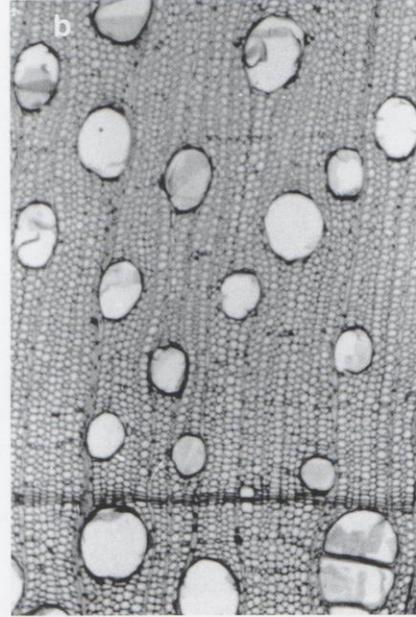
La thyllosis debe entenderse como una parte más del proceso de duraminización de algunas maderas.

Otras inclusiones que pueden presentarse son los **depósitos gomosos** o **calizos**. Su presencia debe ser analizada con cuidado con el fin de no ser confundida con los thyllos escleróticos.

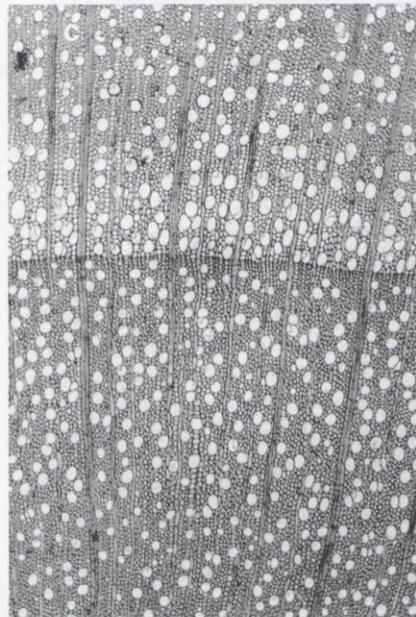
b. Traqueidas vasculares. Las traqueidas vasculares son consideradas por algunos autores como elementos vascu-



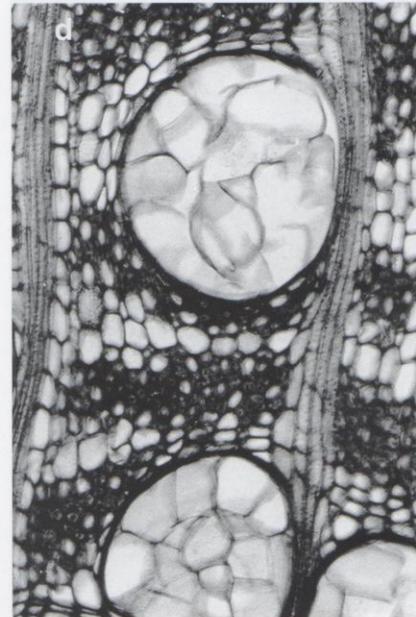
a. Distribución en anillo poroso en *Quercus petraea*



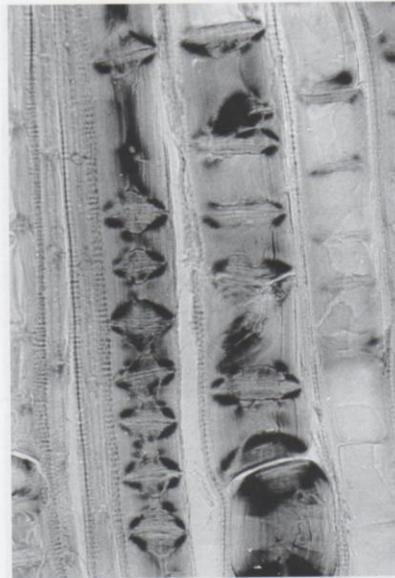
b. Distribución en anillo semiporoso en *Juglans nigra*



c. Distribución en anillo difuso en *Sorbus domestica*



d. Thyllos en *Cordia platythyrsa*



Thyllos escleróticos en *Pouteria cladantha*



Depósitos gomosos en *Guibourtia demeusei*

lares imperfectos o degenerados (fig. 3.5). Colocadas en series longitudinales tienen toda la apariencia de un vaso, del que se diferencian por no tener sus extremos perforados, como sucede en los elementos vasculares, y por la presencia de punteaduras areoladas. Su pared interior suele tener frecuentemente engrosamientos helicoidales. Sus paredes transversales presentan también punteaduras areoladas del mismo tipo que las de sus paredes longitudinales (*Celtis occidentalis*, *Sambucus nigra*, *Sophora japonica*, etc.).

Las traqueidas vasculares con engrosamientos helicoidales se presentan en los géneros *Ulmus* y *Celtis*. En las secciones transversales se confunden con poros de pequeño diámetro.

c. Traqueidas vasicéntricas. Las traqueidas son células no perforadas con punteaduras rebordeadas. Pues bien, su morfología es diferente de las traqueidas vasculares. Generalmente son muy abundantes en las maderas con anillo poroso, en las proximidades de los vasos de primavera, como sucede en los robles y castaños. Muchas veces están asociadas con el parénquima longitudinal, del que se diferencia fácilmente por sus punteaduras. La transición de este tejido al fibroso se efectúa de forma continua. No forman alineaciones en series longitudinales. Se presentan con asiduidad en *Castanea spp.*, *Quercus spp.*, *Shorea spp.* y *Eucalyptus spp.*

d. Fibrotraqueidas. Las fibrotraqueidas se presentan ya con los caracteres comunes a fibras y a traqueidas, es decir, son células muy alargadas cuyo crecimiento longitudinal alcanza valores muy elevados. Sus paredes son gruesas, su luz pequeña, sus extremos apuntados y las paredes tienen, al igual que las traqueidas, punteaduras areoladas, aunque muy pequeñas. La principal diferencia

con los otros tipos de traqueidas es su mayor longitud, sus paredes gruesas y su pequeño diámetro (fig. 3.6).

Las fibrotraqueidas sufren en las frondosas diversas modificaciones; unas veces aparecen tabiques transversales que dividen la fibrotraqueida, dando lugar a las **fibrotraqueidas septadas**, y otras, sus paredes tienen **engrosamientos helicoidales** (fig. 3.7).

Otra transformación de las fibrotraqueidas consiste en la modificación de la capa interior de la pared secundaria, dando lugar a las **fibrotraqueidas gelatinosas**.

Las fibrotraqueidas alcanzan su mayor desarrollo en las frondosas consideradas menos evolucionadas. Tales maderas son de porosidad difusa y se caracterizan además por tener vasos con tabiques de separación entre los elementos vasculares, con perforaciones escalariiformes y radios heterogéneos.

Las experiencias de **Jayme y Azzola**, sobre el estudio de la naturaleza de las punteaduras areoladas en maderas de frondosas, les permitieron afirmar que la diferencia fundamental entre las punteaduras areoladas de las coníferas y de las frondosas no está solamente en la ausencia de toro en las segundas, sino en presentar éstas una estructura más fina en la membrana de la punteadura. Mientras que en el caso de las coníferas, esta membrana está formada por fibrillas radiales dispuestas como los radios de una bicicleta, en el caso de las frondosas, su estructura es la típica de una pared primaria, con microfibrillas dispuestas tangencialmente.

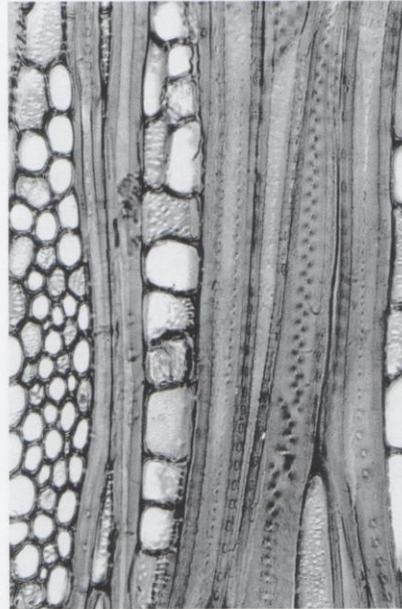
e. Fibras libriformes. Las fibrotraqueidas junto con las fibras libriformes, constituyen el tejido fibroso de las maderas de frondosas. Las fibras libriformes constituyen por excelencia los elementos



Figura 3.5.
Traqueida vascular



Figura 3.6.
Fibrotraqueida normal



Fibrotraqueidas
normales en
Hieronyma laxiflora



Figura 3.7.
Fibrotracheidas
con
engrosamientos
helicoidales

de sostén, por lo que su principal función es de resistencia mecánica, siendo éstos los elementos que sufren mayor alargamiento a partir de las células fusiformes iniciales del cambium. No obstante, su longitud, espesor de pared y diámetro, varían mucho de unas especies a otras, así como la proporción en que entran a formar parte de la estructura de la madera. En algunas especies, junto con las fibrotracheidas, constituyen el 50% del volumen total del tejido leñoso.

Por otra parte, la cantidad de tejido fibroso presente en una muestra de una especie determinada, varía mucho según la estructura de la madera y sobre todo con las condiciones de crecimiento; es decir, si su crecimiento ha sido rápido o lento y si la especie tiene anillo poroso o no. La mayor o menor existencia de tejido fibroso es, por otra parte,

un indicativo de la resistencia de la madera. Las fibras libriformes se diferencian de las fibrotracheidas en que poseen punteaduras simples frente a las areoladas de éstas. También se caracterizan porque tienen sus paredes generalmente muy gruesas y su luz es muy pequeña, aunque esta característica la presentan algunas fibrotracheidas.

Las fibras libriformes pueden presentarse distribuidas de manera dispersa en el tejido celular, como sucede en el **abedul**, o agrupadas con los vasos de la madera de verano, como sucede en el **olmo**.

En ocasiones las fibras al igual que las fibrotracheidas presentan tabiques transversales de separación que confieren al elemento el carácter de **septado** (*Aucoumea klaineana*, *Elaeocarpus spp.*, etc.).

La mayor parte de las claves de identificación incluyen en sus entradas como carácter analítico el espesor de la pared celular del tejido fibroso, haciendo referencia a tres estados diferenciados: fibras de paredes delgadas (*Tilia spp.*), fibras de paredes delgadas y gruesas (*Ilex spp.*, *Salix alba*, etc.) y fibras de paredes muy gruesas (*Strombosia pustulata*, *Rhizophora mangle*, etc.).

3.2.1.2. Parenquimatosos

Se entiende por parénquima leñoso el conjunto de células parenquimatosas que se encuentran presentes en la madera. A diferencia de los tejidos prosenquimatosos, que tienen como función principal la de ser tejidos de resistencia y de conducción, los tejidos parenquimatosos son tejidos de almacenamiento y de conducción. Por lo general, son células relativamente cortas, que conservan su vitalidad durante un tiempo



Fibras septadas
en *Guarea cedrata*

mucho mayor que las de los tejidos prosenquimatosos, y además, aún cuando se presentan excepciones, tienen punteaduras simples. Las frondosas como grupo son más ricas en parénquima que las coníferas, aunque existen excepciones como en el caso de **chopos** y **sauces**. Esta mayor abundancia de parénquima se observa tanto en el sentido longitudinal como en el radial.

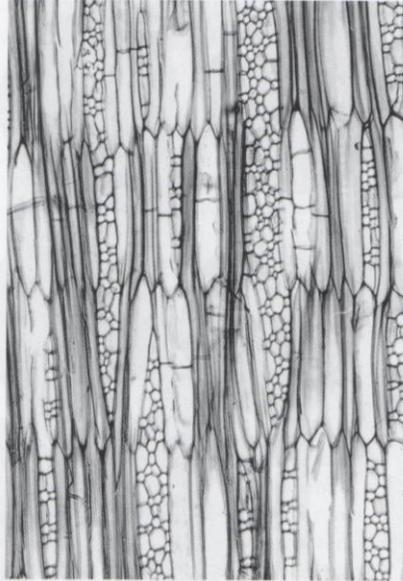
En las frondosas existen dos tipos de parénquima, **fusiforme**, con los extremos de sus células en forma de huso, y en **filas** o **septado**, con paredes terminales transversales.

a. Parénquima de células fusiformes.

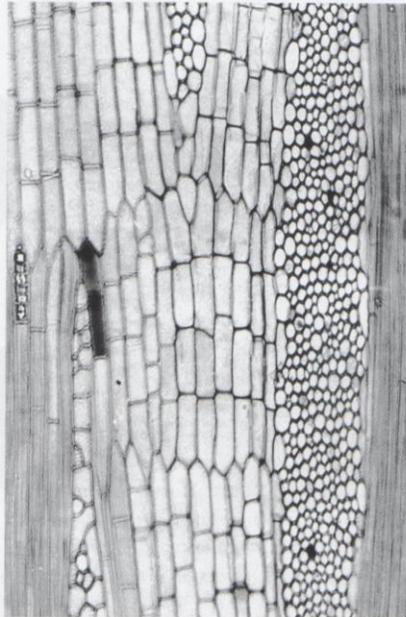
Las células del parénquima longitudinal fusiformes se presentan de forma muy escasa en maderas de especies arbóreas, y siempre con tendencia esporádica (*Capparis spp.*, *Erythrina spp.*, *Lonchocarpus spp.*, *Triplochiton scleroxylon*, *Guaiacum spp.*, etc.). Por el contrario, son más abundantes en maderas procedentes de plantas arbustivas y matorrales. Son células que provienen de las fusiformes iniciales del cambium y no sufren división por tabiques intermedios, como en las células de parénquima septado.

b. Parénquima de células septadas.

El parénquima de células septadas o parénquima en cadena, muchas veces denominado simplemente parénquima leñoso, dado que es el más frecuente en la madera de frondosas, es más abundante en ésta que en la de coníferas. Está formado por células fusiformes del mismo tamaño o poco mayor que las iniciales del cambium del que proceden, que sufren después una división transversal por medio de tabiques normales al eje de la célula. De esta forma, su observación en las secciones tangencial o radial, ofrece el aspecto de una cadena, siendo cada



Parénquima longitudinal de células fusiformes en *Triplochiton scleroxylon*



Parénquima longitudinal de células septadas en *Sterculia rhizophetala*

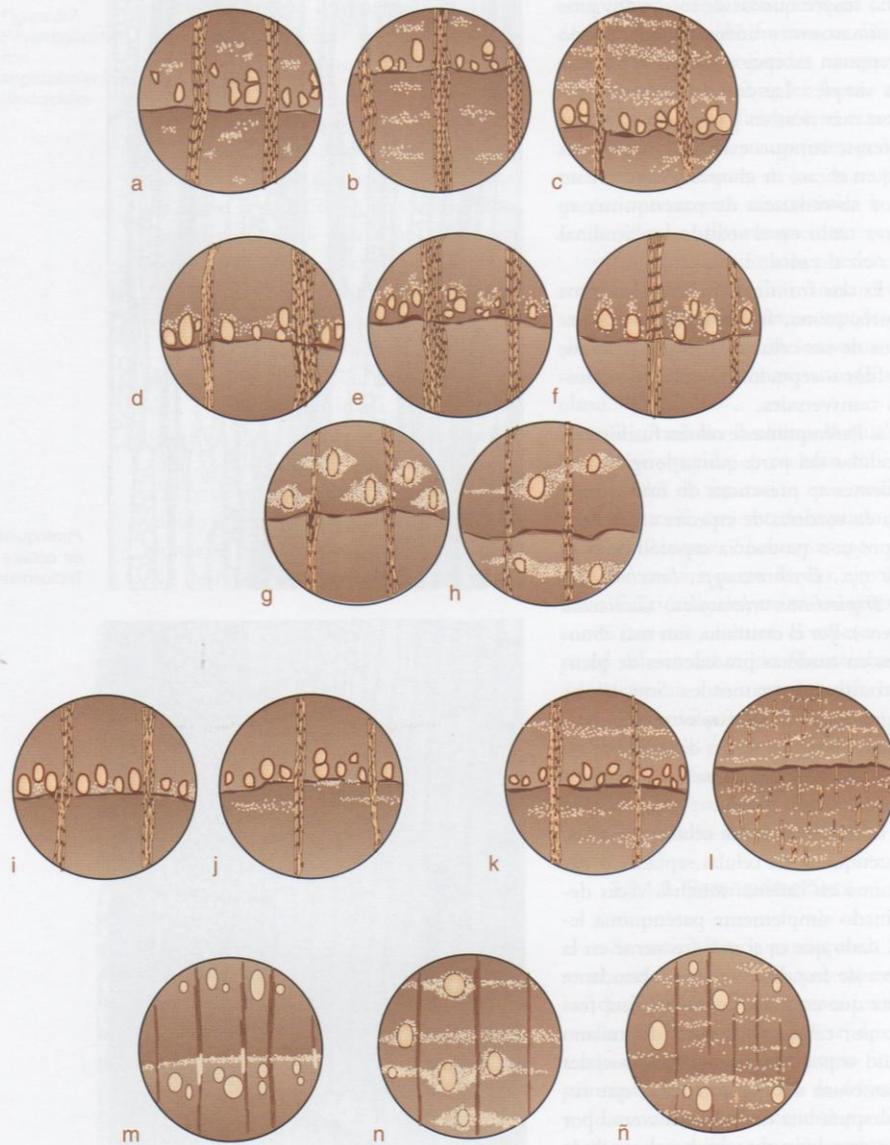


Figura 3.12.

Tipos de parénquima longitudinal: **a.** Apotraqueal difuso, **b.** Apotraqueal agregado-difuso, **c.** Apotraqueal concéntrico, **d.** Paratraqueal escaso, **e.** Paratraqueal unilateral, **f.** Paratraqueal vasicéntrico, **g.** Paratraqueal aliforme, **h.** Paratraqueal aliforme confluyente, **i.** Límitrofe inicial, **j.** Límitrofe terminal, **k.** y **l.** Metatraqueal, **m.** Límitrofe, **n.** Metatraqueal de banda estrecha, **ñ.** Escalariforme

uno de los eslabones de forma rectangular, con excepción de los marginales que presentan el tabique interior transversal al eje de la célula, y el otro ahusado. Estos extremos son los mismos de la célula inicial del cambium, del que proceden. Como en las maderas de coníferas, la mejor sección para la observación del parénquima longitudinal es la tangencial.

El número de eslabones es muy variado según las especies y como norma general, superior al que presentan las células de las coníferas. En las maderas con estructura en **empalizada**, las cadenas están formadas por muy pocos elementos, generalmente entre 2 y 4, y en las maderas que no tienen estructura en empalizada su número varía de 5 a 12.

Las claves de identificación establecen umbrales para el número de elementos de cada cadena de parénquima, disponiéndose habitualmente 2 células (*Dalbergia spp.*, *Pterocarpus spp.*, etc.), de 3 a 4 (*Nesogordonia spp.*, *Ligustrum spp.*, *Syringa spp.*, *Terminalia spp.*, etc.), de 5 a 8 (*Nerium oleander*, *Fraxinus spp.*, etc.) y más de 8 (*Lophira spp.*, *Minquartia spp.*).

Las células del parénquima leñoso tienen punteaduras en las paredes laterales, dependiendo su tipo de los tejidos contiguos a las mismas. Cuando están en contacto con otras células de parénquima son simples; su visión frontal ofrece unos pequeños puntos de aspecto agrupado. Si están en contacto con vasos, su forma se ve influida con la correspondiente del vaso, hasta el punto, que muchas veces son lineales y escalariiformes. En las maderas tropicales, el parénquima leñoso suele ser muy abundante, llegando hasta un 50% o más de su volumen. En las frondosas de las zonas templadas varía desde menos de un 1% a un 18 %.

Ocasionalmente el parénquima longitudinal se lignifica apareciendo en la sección transversal bajo el aspecto de bandas de diferente densidad como si se tratase de verdaderos anillos de crecimiento.

Distribución del parénquima longitudinal. Dentro de las maderas de frondosas la presencia de parénquima es bastante común; sin embargo existen algunas familias en las que dicha presencia es rara o sencillamente no tiene lugar (*Berberidaceae*, *Punicaceae*, *Violaceae*, etc.) (fig. 3.8).

Por otro lado, cuando el parénquima forma parte del tejido leñoso, teniendo en cuenta las distintas formas de presentarse en la sección transversal, se distinguen las siguientes distribuciones:

Apotraqueal. Se llama así el parénquima que no se encuentra asociado ni a vasos ni a traqueidas vasculares. Dentro de esta clase se encuentran tres tipos:

Difuso. Las células parenquimatosas se encuentran repartidas de manera dispersa por el tejido fibroso (*Alnus glutinosa*, *Crataegus spp.*, *Cornus mas*, *Santalum album*, etc.).

Agregado-difuso. Se presenta en forma de células aisladas y en pequeñas agrupaciones lineales tangenciales, generalmente formadas por muy pocas células (*Durio spp.*, *Hura crepitans*, *Ongokea gore*, *Strombosia pustulata*, etc.).

Concéntrico. Las células parenquimatosas se encuentran distribuidas formando grupos paralelos a los anillos de crecimiento.

Paratraqueal. El parénquima leñoso se encuentra asociado a los vasos y/o a las traqueidas vasculares. Dentro de esta clase se encuentran los siguientes tipos:

Escaso. Se presenta en forma de células aisladas junto a los vasos (*Pistacia vera*, *Dillenia pulcherrima*, *Laurus nobilis*, etc.).

TIPO	Número de radios por mm
Muy espaciados	< 4
Normalmente espaciados	4 a 12
Bastante juntos	>12

Tabla 3.2. Espaciamiento o frecuencia de radios

Unilateral. El parénquima forma capas, vinculándose a una región del vaso (*Aspidosperma desmanthum*, *Caraipa grandiflora*, *Peltogyne confertiflora*, etc.).

Vasicéntrico. Se presenta formando un halo alrededor del vaso (*Phoebe porosa*, *Khaya grandiflora*, *Olea europaea*, etc.).

Aliforme. Cuando el parénquima vasicéntrico se presenta con extensiones laterales, en forma de alas. Dentro de este tipo se distinguen dos subtipos: el **aliforme de aspecto romboidal** sin prácticamente extensiones de las alas (*Albizia lebbek*, *Microberlinia brazzavillensis*, *Qualea rosea*, etc.), y el **aliforme con extensiones laterales** pronunciadas (*Terminalia superba*, *Brosimum spp.*, *Gonystylus spp.*, etc.).

Confluente. También conocido por **anastomosado**, se llama así cuando el parénquima enlaza los vasos contiguos. Si además el enlace se produce por la prolongación de las alas del parénquima aliforme, recibe el nombre de **aliforme confluente** (*Chlorophora tinctoria*, *Vatairea guianensis*, etc.). El **confluente en bandas** presenta el aspecto de una banda continua, pero pierde el espesor de la misma cuando abandona la influencia del vaso.

Metatraqueal. Cuando el parénquima se encuentra formando agrupaciones en bandas, que pueden intervenir o no en sus asociaciones a los vasos. A diferencia del confluente en bandas, mantiene un espesor homogéneo a lo largo de la banda, no disminuyendo cuando pierde la influencia del vaso. En las claves de identificación se suelen diferenciar umbrales de ancho de banda.

Dentro del parénquima en bandas o metatraqueal se distinguen tres tipos:

Reticulado. El aspecto que este tipo de parénquima ofrece se basa en una malla o retícula formada por los radios leñosos y las bandas de parénquima, de manera que unos y otras tienen aproximadamente el mismo espesor y la distancia entre unos y otras es semejante (*Diospyros discolor*, *Cariniana spp.*, *Couratari guianensis*, etc.).

Escalariforme. El parénquima se distribuye en finas líneas o bandas tangenciales rectas o arqueadas situadas entre los radios leñosos, que generalmente se distancian entre sí más que las propias bandas de parénquima (*Juglans regia*, *Onychopetalum spp.*, etc.).

Limitrofe. Cuando el parénquima se presenta en los límites del anillo recibe el nombre de limitrofe (*Juglans regia*, *Cryptocarya moschata*, *Rhopalocarpus spp.*, etc.).

3.2.2. Elementos transversales

3.2.2.1. Parenquimatosos

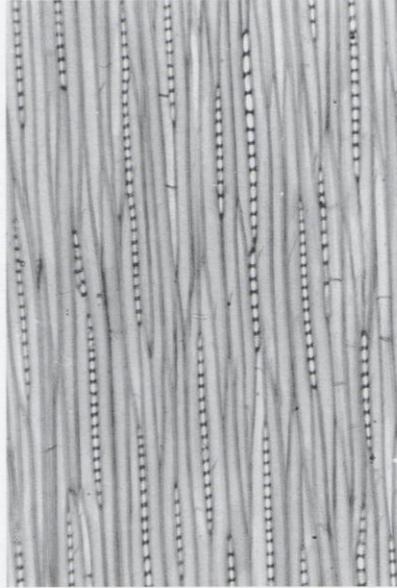
a. Radios leñosos. Son tejidos que se extienden transversalmente al eje del árbol. Se originan a partir de las células iniciales radiales del cambium, cuya forma es completamente distinta de las fusiformes, que son las que originan los distintos tipos de células a que hemos hecho referencia. Son una estructura típica del crecimiento secundario. Se extienden a todo lo largo del leño, terminando en el tejido primario, penetrando algunos en la médula, recibiendo entonces el nombre de **radios primarios**. Esta circunstancia ha motivado que algunos autores utilizaran erróneamente el término **radios medulares** para denominar a los radios leñosos.

Por la dirección radial que siguen los radios, se van separando, cada vez más, unos de otros. Cuando la distancia entre dos de ellos es muy grande, aparece otro intermedio, conservándose la distancia interradianal aproximadamente constante.

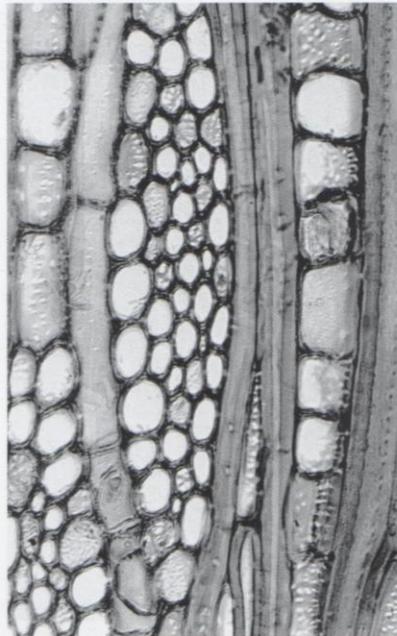
Las dimensiones de los radios leñosos son muy variables, principalmente en altura y anchura. Su longitud es indeterminada y se extienden en el sentido radial del tronco a medida que se produce el crecimiento en diámetro.

En cuanto a su anchura, pueden presentarse constituidos por una sola línea de células, radios **uniseriados** (*Castanea sativa*, *Populus spp.*, *Terminalia superba*, etc.), o por varias líneas de células, radios **multiseriados**. Dentro de estos últimos se establecen habitualmente intervalos de número de células de anchura; por ejemplo de 1 a 3 células (*Aucoumea klaineana*, *Dialium guianense*, *Albizzia saman*, etc.), de 4 a 10 (*Acer saccharum*, *Khaya anthotheca*, *Celtis sinensis*, etc.), más de 10 células (*Quercus spp.*, *Platanus spp.*, etc.). En ocasiones, la porción multiseriada del radio tiene la misma anchura que la uniseriada, debiéndose tener en cuenta como carácter analítico diferenciador (*Caryocar costaricense*, *Strombosia pustulata*, etc.). Mientras que los radios uniseriados son poco abundantes en las frondosas, los multiseriados son los más frecuentes, siendo los de 3 a más series los más abundantes, ya que los biseriados son también poco frecuentes.

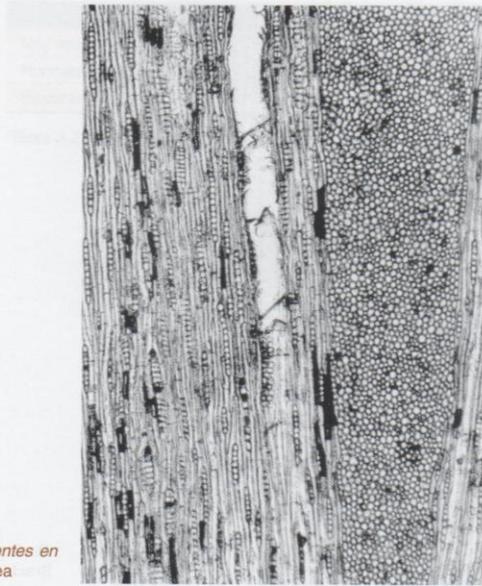
Los caracteres uniseriados y multiseriados, en muchas maderas se presentan de forma conjunta, hasta el punto de ser tan **netamente diferentes en anchura** que entran a formar parte de un carácter de clave (*Quercus spp.*, *Ilex aquifolium*, *Poga oleosa*, etc.)



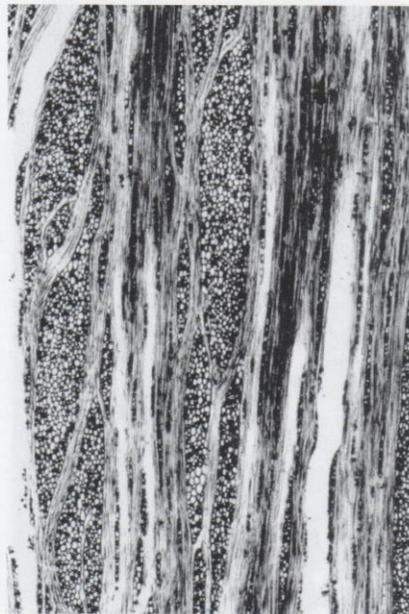
Radios uniseriados en *Brachystegia laurentii*



Radios multiseriados en *Hieronyma laxiflora*



Radios de dos anchuras diferentes en *Quercus faginea*



Agrupación de radios en *Casuarina equisetifolia*

La forma de los radios vistos en la sección tangencial es ahusada, con sus extremos generalmente rematados por una sola línea de células. Su altura, de la misma manera que la anchura, es muy variable, aunque en la mayoría de las claves de identificación éste carácter sólo se tiene en cuenta cuando los radios superan 1 mm de altura (*Guateteria schomburgkiana*, *Anisoptera laevis*, *Uapaca guineensis*, etc.).

Algunas especies observadas en su sección transversal ofrecen el aspecto de poseer radios leñosos multiseriados de gran anchura. Sin embargo, una observación de su sección tangencial ofrece un empaquetamiento o **agrupación de radios** de menos células de anchura que el total como consecuencia de una agrupación tanto longitudinal como transversal. Este hecho que en principio podría parecer circunstancial, sin embargo no lo es, siendo utilizado como carácter diferenciador en muchas claves de identificación. Algunas de las especies que lo presentan son: *Alnus spp.*, *Carpinus spp.*, *Casuarina spp.*, *Castanopsis spp.*, etc.

Por otro lado, algunas especies de frondosas carecen de tejido horizontal, estando constituido su tejido leñoso exclusivamente por elementos axiales. Esta singularidad sólo se presenta en un pequeño número de familias según Carlquist (*Chenopodiaceae*, *Nyctaginaceae*, *Scrophulariaceae*, etc.).

Por otra parte, el porcentaje que el volumen de los radios ocupa es de gran importancia en las características físico-mecánicas de la madera.

En cuanto a su composición, la madera de frondosas presenta dos tipos de células parenquimatosas; unas alargadas colocadas en posición horizontal, es decir, con su eje mayor horizontal, que reciben el nombre de células **procum-**

bentes, y otras que tienen su eje mayor en sentido vertical, que reciben el nombre de células erectas. Dentro de estas últimas, se incluyen las células cuadradas, muy próximas a las erectas, pero diferenciadas de éstas por ser de ejes longitudinal y transversal similares. No existen células prosenquimatosas.

Según Krib, los radios leñosos de las frondosas se clasifican en: (fig. 3.9)

Homogéneos.

Radios uniseriados. Compuestos únicamente de células procumbentes, en una sola alineación.

Radios multiseriados. Compuestos únicamente de células procumbentes, en varias alineaciones.

Heterogéneos.

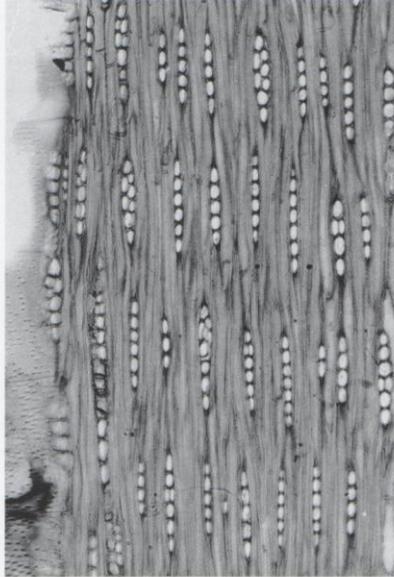
Radios uniseriados. Compuestos de células procumbentes y erectas marginales, en una alineación.

Radios no exclusivamente uniseriados. La madera presenta en su estructura simultáneamente radios uniseriados y multiseriados.

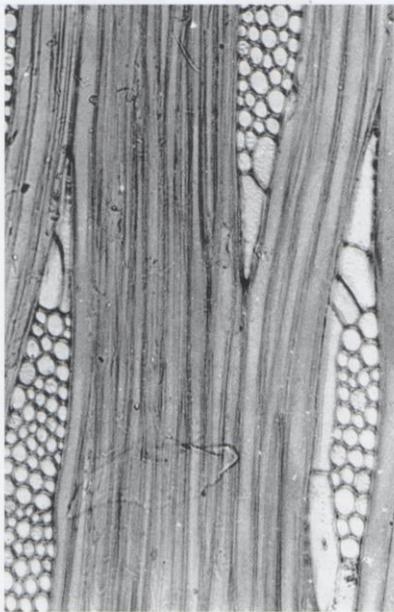
Heterogéneos del tipo I. Los uniseriados están compuestos exclusivamente por células erectas, y los multiseriados compuestos por una parte central multiseriada, constituida por células procumbentes, y una parte uniseriada, más larga que la multiseriada, compuesta exclusivamente de células erectas.

Heterogéneos del tipo II. Los uniseriados están constituidos por células erectas y procumbentes, ocupando unas y otras tanto posiciones marginales como diseminadas. Los radios multiseriados están formados por una parte uniseriada muy corta de células erectas y otra parte multiseriada, mayor que las uniseriadas, formada por células procumbentes.

Heterogéneos del tipo III. Presentan dos tipos de radios uniseriados: unos



Cardas en
Pterocarpus pedatus



Células en forma
de vaina en
Didymopanax morototoni

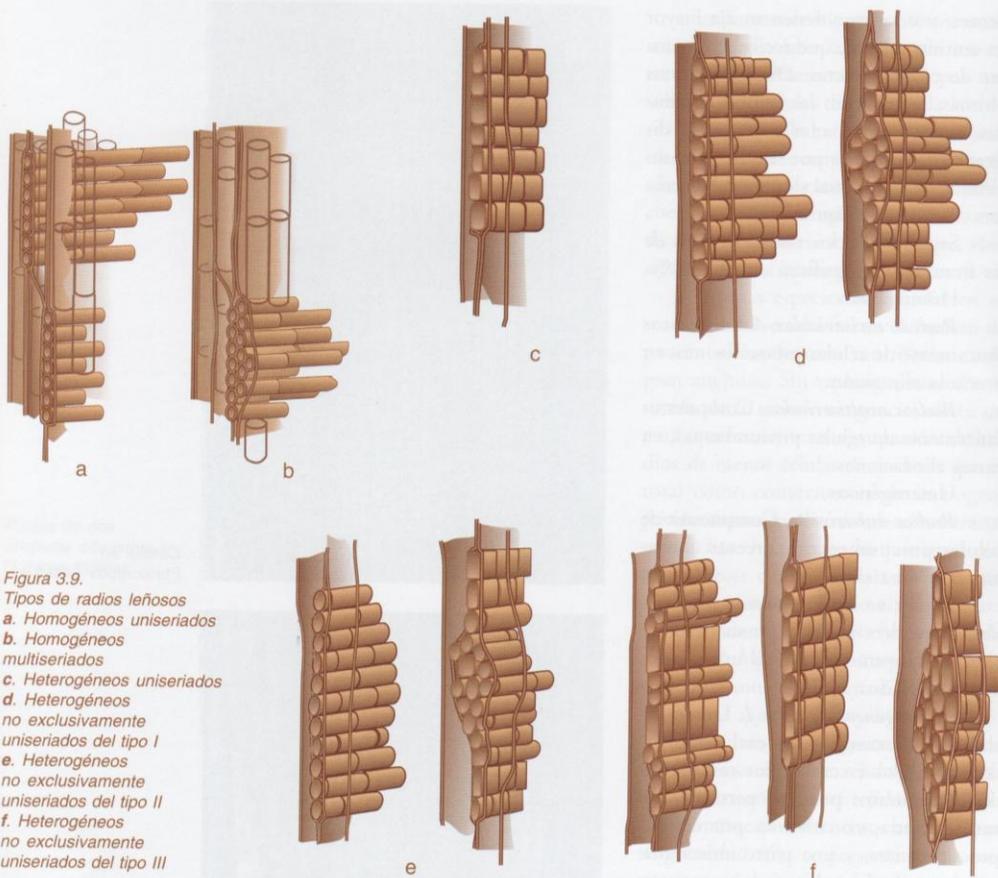


Figura 3.9.
Tipos de radios leñosos
a. Homogéneos uniseriados
b. Homogéneos multiseriados
c. Heterogéneos uniseriados
d. Heterogéneos no exclusivamente uniseriados del tipo I
e. Heterogéneos no exclusivamente uniseriados del tipo II
f. Heterogéneos no exclusivamente uniseriados del tipo III

formados por células procumbentes únicamente y otros por células erectas solamente. Los multiseriados se presentan generalmente con una sola línea de células erectas, generalmente marginales muy grandes, y otras erectas interiores cuadradas.

Atendiendo a la disposición de los radios en la sección tangencial, estos se pueden alinear en estratos o pisos, recibiendo el nombre de formaciones en car-

das, o por el contrario de manera alterna. Este hecho supone que el primer caso sea considerado como carácter identificativo de las maderas que lo poseen ya que su presencia es constante. Algunos ejemplos de maderas con cardas son: *Dalbergia bariensis*, *Pterocarpus santalinoides*, etc. En ocasiones, esa disposición estratificada de los radios se ve acompañada por una disposición, también en cardas, de elementos fibrosos (*Octomeles sumatrana*, *Quas-*

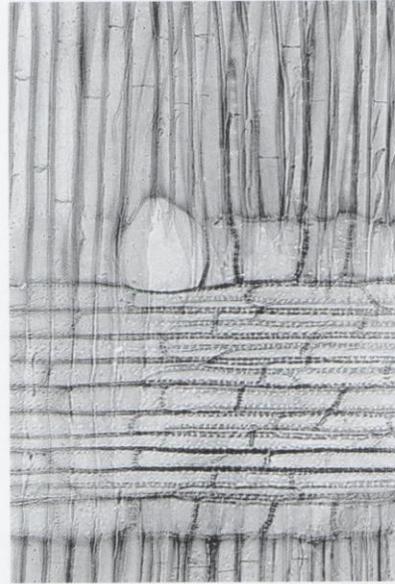
sia amara, etc.) o parenquimatosos y/o vasales (*Balanites aegyptiaca*, *Tamarix spp.*, etc.). Una situación intermedia entre las cardas y la disposición alterna es la que presentan algunas maderas de las Leguminosae (*Monopetalanthus spp.*, *Tetraberlinia spp.*) o de las Meliaceae (*Entandrophragma cylindricum*), al disponerse sus elementos siguiendo formaciones oblicuas.

b. Otras células pertenecientes a los radios leñosos.

Células en forma de vaina. Se presentan en la periferia de los radios leñosos multiseriados (más de tres células de anchura) y tienen el aspecto de células más anchas y altas que las interiores. No deben confundirse con las células uniseriadas de los radios cuya parte pluriseriada es de la misma anchura que la uniseriada. Ejemplo de células en vaina son las maderas de *Ceiba pentandra*, *Cordia alliodora*, *Sambucus nigra*, etc.

Células en forma de teja. Es un tipo especial de células erectas que se sitúan en series horizontales entre las filas de procumbentes, presentando el aspecto de células vacías. No se han encontrado en radios uniseriados, y sólo se han descrito en el orden de las Malvales.

Células radiales perforadas. Algunas maderas presentan células radiales perforadas con el mismo tipo de perforación que las de los elementos vasales, es decir, simple, foraminada, reticulada o escalariforme. No obstante, no tienen necesariamente que ser coincidentes unas y otras dentro del mismo elemento. Son células de las mismas dimensiones que las adyacentes o en ocasiones algo mayores, y suelen presentarse comunicando dos vasos entre las dos caras del radio (*Combretum leptostachium*, *Richeria racemosa*, etc.).



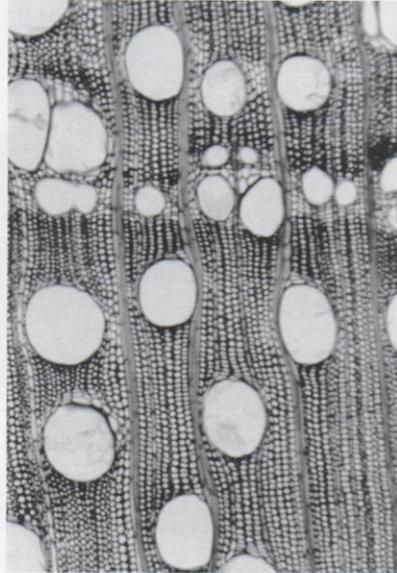
Células de aceite en *Phoebe porosa*

3.3. Otras estructuras anatómicas de las maderas de frondosas

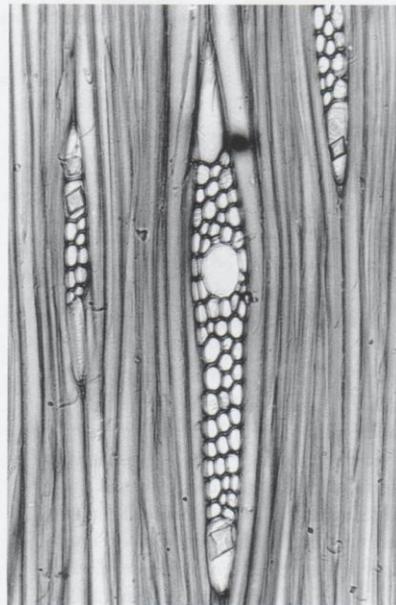
Para terminar el estudio de la estructura microscópica de las frondosas, sólo nos quedan por abordar los caracteres que se presentan invariablemente en algunas maderas de frondosas confiriéndolas gran valor analítico.

3.3.1. Células de aceite y/o mucilagos

Se encuentran presentes en los elementos longitudinales y transversales de las maderas de frondosas. La única diferencia entre unas y otras es la naturaleza de la sustancia que contienen, aceite o mucilagos. Las células de aceite se suelen presentar en los extremos de los radios leñosos, diferenciándose del resto de las células parenquimatosas radiales



Canales intercelulares axiales en *Hopea* spp.



Tubos laticíferos en *Chlorophora excelsa*

por su excepcional tamaño (*Nectandra grandis*, *Phoebe porosa*, *Talauma* spp., etc.). Las células mucilaginosas, también idioblastos parenquimatosos como las células de aceite, pueden ocupar las mismas posiciones que estas últimas, es decir, entre las fibras, asociadas al parénquima axial o al parénquima radial (*Persea* spp., *Endlicheria* spp., etc.).

3.3.2. Canales intercelulares

Los canales en las frondosas tienen el mismo origen que en las coníferas y se presentan igualmente de dos tipos: longitudinales y transversales. Estos últimos se incluyen en los radios leñosos, adquiriendo la típica morfología ahusada. Los canales gomosos forman parte de la estructura normal de muchas frondosas pertenecientes a **Dipterocarpaceae** y **Leguminosae**. Algunos géneros de las familias **Anacardiaceae** y **Burseraceae** presentan únicamente canales transversales (*Pistacia* spp., *Bursera gummifera*, *Tapiria guianensis*, etc.). Al contrario de lo que sucede con las coníferas, normalmente no se presentan juntos los dos tipos de canales, longitudinales y transversales.

También pueden presentarse en las frondosas los canales traumáticos longitudinales y transversales, de origen esquizógeno o lisígeno, aunque debido a su estructura defectuosa no se puede distinguir su origen (*Terminalia procerca*, *Liquidambar styraciflua*, *Carapa procerca*, etc.). Los primeros se originan por separación de las células por sus laminitas medias, dejando el hueco donde aparece el canal, y los segundos por un proceso de disolución del tejido celular, que deja igualmente el vacío que constituye el canal. En definitiva, los canales intercelulares constan de un tejido epitelial que

rodea interiormente el canal y que se encarga de segregar las sustancias que caracterizan su naturaleza, resinas, gomas, etc.

Atendiendo a su distribución, los canales se pueden situar en largas filas siguiendo o no la trayectoria de un anillo de crecimiento (*Dryobalanops spp.*, *Hopea spp.*, *Parashorea spp.*, *Pentacme spp.*, *Shorea spp.*, etc.), o por el contrario, en cortas líneas también tangenciales (*Dipterocarpus spp.*, etc.). Incluso en ocasiones se dispersan entre el tejido longitudinal distribuyéndose de manera difusa (*Prioria copaiifera*, *Anisoptera spp.*, *Upuna spp.*, etc.)

3.3.3. Tubos laticíferos y taníferos

Los tubos son series de células de longitud indeterminada, dispuestos horizontal o verticalmente, conteniendo únicamente dos tipos de sustancias, látex o taninos.

En el caso de los tubos laticíferos, el látex puede ser de color amarillo claro a marrón. Se encuentran con facilidad en las maderas de Apocynaceae, Asclepiadaceae, Campanulaceae, Caricaceae, Euphorbiaceae y Moraceae.

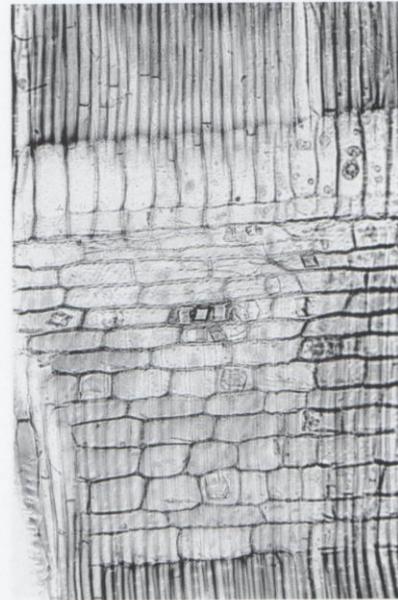
Los tubos taníferos son de color pardo rojizo. En los radios sólo se han localizado en las Myristicaceae. Son muy difíciles de diferenciar del resto de las células del radio en la sección tangencial, por el contrario en la radial ofrecen una dimensión mayor que las células radiales normales.

3.3.4. Floema incluido

Es una característica muy poco frecuente y responde a variaciones cambiales, dando distribuciones difusas (*Strychnos nuxvomica*) o concéntricas



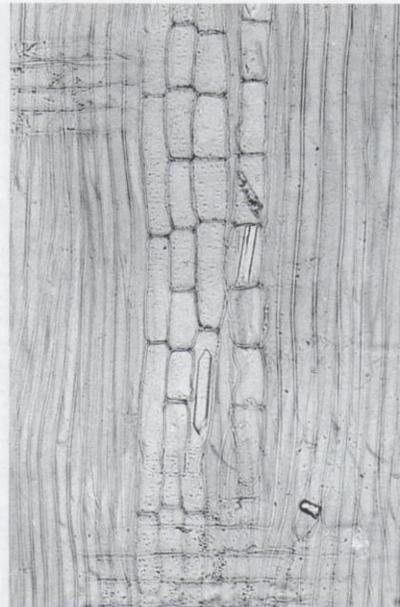
Drusas en
Hibiscus siliacens



Parénquima
cristalífero radial en
Tetragastris altissima



Ráfidas en parénquima longitudinal de *Dillenia ovata*



Estiloides en parénquima longitudinal de *Terminalia superba*

(*Avicennia spp.*). Es un carácter permanente en las especies que se presenta y nunca debe atribuirse a éste el calificativo de anómalo.

3.3.5. Inclusiones minerales. Cristales

3.3.5.1. Cristales

Las inclusiones cristalinas en las maderas de frondosas son mucho más abundantes que en las coníferas. Esto se explica en parte por las distintas condiciones de crecimiento de las frondosas respecto a las coníferas, y también debido a que las frondosas tienen mucho más parénquima que puede transformarse en cristalífero.

Cualquier elemento del parénquima leñoso, con excepción hecha del parénquima epitelial, puede ser cristalífero. La presencia de cristales es frecuente en el parénquima longitudinal septado y en el radial. Las células cristalíferas sufren generalmente un proceso de aumento de tamaño, que facilita notablemente su observación.

La composición química de los cristales es muy variable, sin embargo, los más frecuentes son de oxalato cálcico, de carácter birrefringente bajo la acción de la luz polarizada, aunque pueden estar constituidos por otras sales de calcio, sílice, o sustancias orgánicas cristalizadas.

La presencia de cristales es un carácter analítico diferenciador que debe ser utilizado con precaución, ya que en algunas claves es usado el carácter madera sin cristales, no siendo recomendable bajo tal denominación. Si la madera dispone de parénquima cristalífero, éste debe ser localizado con precisión sobre la célula en la que se encuentre.

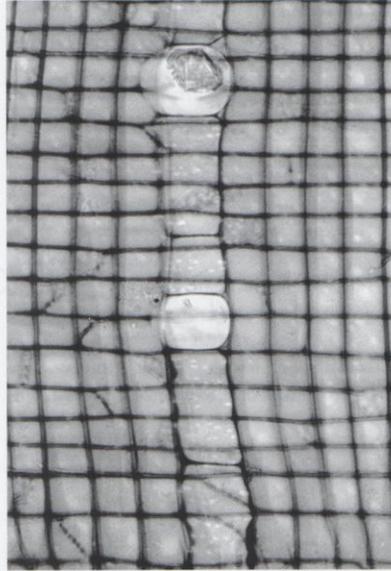
En cuanto a las células radiales, es habitual que los cristales de oxalato cálcico se localicen en las células erectas y/o cuadradas (*Astronium spp.*, *Bursera spp.*, *Khaya anthotheca*, etc.), en las células procumbentes (*Carpinus spp.*, *Anogeissus latifolia*, etc.), en filas horizontales incluidas en las células procumbentes (*Aspidosperma quebracho-blanco*, *Bucida buceras*, *Gonystylus spp.*, etc.) e incluso en las células erectas y/o cuadradas septadas (*Elaeocarpus calomata*, *Fagara flava*, etc.).

Por otro lado, en el parénquima axial, los cristales de oxalato se localizan tanto en las columnas de parénquima normal (*Ochroma spp.*, *Ficus spp.*, etc.), como en las columnas de parénquima septado (*Gilbertiodendron preusii*, *Pentacme contorta*, *Juglans nigra*, *Manilkara spp.*).

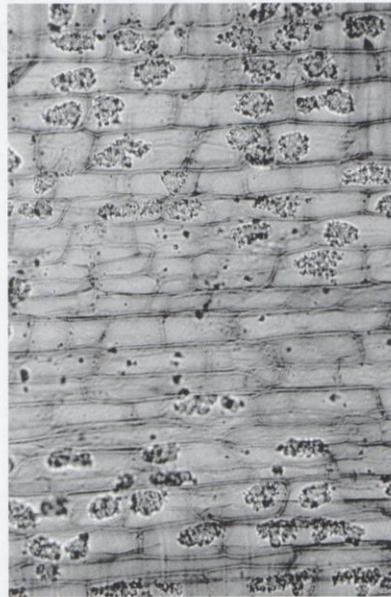
Por último, algunas especies entre las que se encuentra *Punica granatum*, presentan con regularidad cristales en el tejido fibroso.

Además de los cristales bajo la forma de romboedro u octaedro, estudiados hasta aquí, existen otros que por su forma especial reciben otros nombres, es el caso de las **drusas**. En esencia son agregados de cristales en forma de estrella. Se llama **crystal en erizo** cuando el agregado tiene el aspecto de las espinas de un erizo. Se presentan tanto en las células del parénquima radial (*Gleditsia triacanthos*, *Macaranga barteri*, *Celtis paniculata*, etc.), como en el parénquima axial (*Dacryodes edulis*, *Terminalis catappa*, etc.), en las fibras (*Combretum fruticosum*), e incluso en células radiales septadas (*Macaranga occidentalis*, *Banara regia*, etc.).

De morfología distinta son las **ráfidas**, ya que son cristales aciculares que se encuentran agrupados en haces. Se presentan en especies como *Dillenia reticulata*, *Tetracera boliviana*, *Vitis vinifera*, etc.



Cristales en idioblastos en *Hopea* spp.



Sílice en parénquima radial de *Shorea bracteolata*

De la misma naturaleza pero sin agruparse en haces son los **cristales aciculares**. Se suelen presentar en *Cryptocarya glaucescens* y *Gmelina arborea*. Los **estiloides** son cristales alargados, normalmente cuatro veces más largos que anchos, con sus extremidades puntiagudas o cuadradas (*Terminalia amazonica*, *Gonystylus bancanus*, *Ligustrum vulgare*, etc.).

Además de las tipologías expuestas, en las maderas de frondosas pueden aparecer cristales con otras morfologías que por sus características no se puedan englobar en ninguna de las precedentes, recomendándose por esta razón la inclusión de éstos en las claves generadas para identificación de frondosas en un carácter que englobe la presencia de cristales. En algunas especies los cristales se incorporan a células de tipología especial, como es el caso de los **idioblastos** (*Carpinus carolinianum*, *Juglans nigra*, *Pyrus communis*, *Zelkova serrata*, etc.). Incluso se depositan en los thyllos (*Chlorophora tinctoria*, *Astronium graveolans*, etc.), y en ocasiones, aunque lo normal es que los cristales que ocupan un septo sean del mismo tamaño, también pueden tener dimensiones diferentes (*Gonystylus bancanus*).

En muy pocas familias, **Acanthaceae**, **Hernandiaceae** y **Opiliaceae**, se localizan los llamados **cystolitos**. Son una masa globosa de cristales alrededor de un núcleo orgánico, unido a la pared celular por un pedúnculo celulósico impregnado de carbonato cálcico.

3.3.5.2. Silice

La presencia de partículas de dióxido de silicio es frecuente en maderas procedentes de regiones tropicales. Se sitúan en las células radiales (*Licania leptostachya*, *Shorea lamellata*, etc.), en el parénquima

axial (*Bombax nervosum*, *Dialium guianense*, etc.), e incluso en las fibras (*Canarium burserifolia*, *Ocotea puberula*, etc.). El uso de pocos aumentos (x4 a x10) nos permite comprobar que su aspecto es el de unas partículas oscuras pequeñas no birrefringentes. Cuando los aumentos utilizados se sitúan entre x25 y x40 pueden tener una apariencia vítrea.