

ESTRUCTURA DE LA PARED CELULAR

Como sustancias con valor estructural en la pared de la célula de madera podemos distinguir tres grupos de elementos: celulosa agrupada hasta formar microfibrillas; asociación de celulosa con hemicelulosas y carbohidratos no celulósicos formando la matriz; elementos incrustantes.

Se ha demostrado mediante rayos X, y con el uso del microscopio de polarización, la naturaleza cristalina de la pared celular, pero la organización de las cadenas moleculares de la celulosa en paquetes solo ha podido demostrarse recientemente con la utilización del microscopio electrónico. Anteriormente se resolvían con el microscopio óptico unas agrupaciones groseras que recibían el nombre de fibrillas.

Las llamadas fibrillas elementales son presumiblemente las agrupaciones de fibras de celulosa de menor diámetro posible, aproximadamente 35 Angstroms y que podrían contener unas 40 cadenas de celulosa.

Los agregados de fibrillas elementales forman las microfibrillas, que se presentan en la naturaleza con una gran variación en cuanto a tamaño. Las dimensiones más frecuentes son 100 a 300 Angstroms de ancho y una longitud indefinida. Siguiendo este proceso de agrupación las microfibrillas se agregan formando macrofibrillas, que a su vez forman unas estructuras con forma laminar que están organizadas dentro de las capas de la pared celular. Estas agrupaciones laminares de macrofibrillas se llaman lamélulas.

Dentro de las fibrillas elementales hay zonas en las que las cadenas de celulosa están orientadas de forma que las imágenes producidas por los rayos X son iguales a las que se producen por los retículos cristalinos. Esta parte de las fibrillas se llaman cristalinas y las restantes amorfas.

En cuanto a las capas y láminas de la pared celular hay mucha confusión con respecto a su nomenclatura. Aquí adoptamos la siguiente, debida a Kollman:

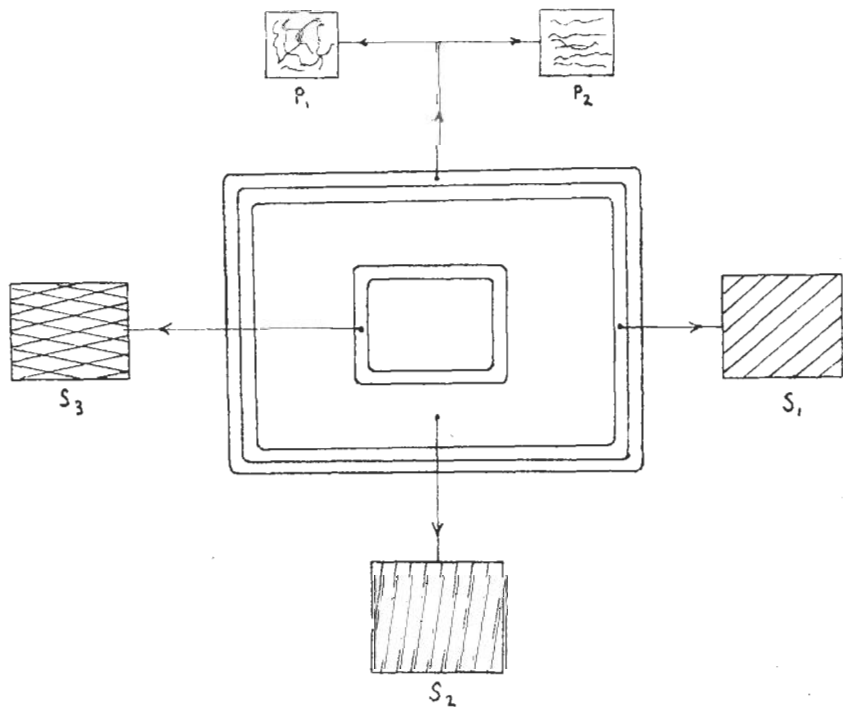
- Laminilla media: sustancia intercelular isotrópica, que separa las células contiguas.
- Pared primaria: pared original de la célula formada en el cambium.

- Pared secundaria: capas de engrosamiento secundario formadas en el interior del lumen celular, formados por la capa primaria.

Las microfibrillas están orientadas dentro de las capas que forman la pared celular, así se forman subdivisiones en las capas principales que hemos señalado, con base a la orientación que las microfibrillas tengan en ellas:

La pared primaria tiene dos capas (P_1 y P_2), la exterior en la que las fibras celulósicas están desordenadas, y la interior en la que aparece un principio de orden entre las microfibrillas.

La pared secundaria aparece con tres capas principales y dos más de transición entre ellas:



● **Capa S_1 :** exterior de la pared secundaria, en la que las fibras forman un ángulo de 50-70° con respecto al eje de la célula.

● **Capa S_2 :** capa media de la pared secundaria, con un ángulo de 10-30° respecto del eje de la célula.

● **Capa S_3 :** capa interior de la pared secundaria. Las microfibrillas de esta capa forman un ángulo de 60-90° con la dirección del eje de la célula.

Entre las capas S_1 y S_2 y entre S_2 y S_3 hay algunas fibras con orientaciones intermedias.

El conjunto de la estructura está representado en el esquema de la página anterior.

El número de lamélulas que compone cada capa es variable de una a otra especie, siendo sus valores medios los siguientes:

● **Capa S_1 :** 4 a 6 lamélulas.

● **Capa S_2 :** 30 a 150 lamélulas.

● **Capa S_3 :** 0-6 lamélulas.

En las esquinas de las células la pared primaria tiene a veces un refuerzo a lo largo de toda la célula, como una costilla, que incrementa su rigidez.

La distribución de lignina en la célula no es uniforme, pues existe una fuerte concentración en la laminilla media y en la pared primaria, que contiene en las frondosas el 60 % de toda la lignina y el 90 % en las coníferas.

Esta estructura en capas perfectamente orientadas se modifica radicalmente en los puntos donde se forman las punteaduras. Estas son una recesión de la pared secundaria, formada doblemente, pues en realidad no se produce una punteadura sino dos, pues para que exista comunicación entre las células debe existir una punteadura en cada pared celular. También existen punteaduras ciegas cuando no existe correspondencia en la célula contigua.

La membrana de separación entre las dos mitades que forman

una punteadura completa es la pared primaria de cada célula y la laminilla media que comparten. Esta membrana se encuentra más o menos reabsorbida.

En las células de paredes delgadas (madera de primavera) de células de prosénquima el reborde forma una cúpula cuya altura es superior al grueso de la pared secundaria y en el centro se encuentra la apertura. Si las paredes son gruesas (madera de verano) esta proyección no es tan marcada y la cúpula sobresale poco.

La punteadura empieza a delimitarse antes de formarse la capa secundaria, pues las microfibrillas se depositan concéntricamente delineando la punteadura. En el caso de coníferas a la vez que se forma el resto de la pared secundaria se modifica también la pared primaria, mediante la formación de un engrosamiento central llamado toro, que también está compuesto por microfibrillas, pero dispuestas en forma circular. Finalmente se modifica la pared primaria, apareciendo fibras radiales que sustentan el toro, a la vez que se forma la comunicación entre las dos células por disolución de sustancias que rodean las microfibrillas de la pared primaria en la punteadura, apareciendo canaliculos específicos.

En el caso de las frondosas también tenemos punteaduras con reborde, de aspecto muy similar al de las coníferas, aunque existan diferencias notables entre ellas. En el caso de frondosas no existe toro en las punteaduras con reborde, dado que la membrana es la pared primaria sin crecimiento secundario. En el caso de frondosas la membrana primaria no es aspirada hacia una de las aperturas para efectuar el cierre en el proceso de duraminización, como ocurre en el caso de las coníferas.

En el caso de frondosas no se producen canaliculos específicos entre las microfibrillas de la membrana, aunque si se produce

el paso de líquido por filtración a través de la membrana.

Las punteaduras sin reborde son de constitución similar en las frondosas y en las coníferas siendo particularmente interesante en la madera de coníferas el caso de la unión entre una célula de parénquima radial y una traqueida longitudinal. Recibe el nombre de campo de cruce y tiene importancia para la clasificación la parte de esta punteadura que pertenece a la traqueida, que por lo tanto tiene reborde. En otros casos esta parte de la punteadura perteneciente a la traqueida no tiene reborde, como es el caso de los pinos españoles *P. pinaster*, *P. halepensis*, *P. canariensis* y *P. pinea*.

En algunas especies aparecen unos engrosamientos helecoidales en la pared de las traqueidas. La opinión más extendida es que forman parte de la capa S_3 de la pared secundaria, aunque también hay autores que piensan que es una nueva capa que se forma con independencia de la secundaria. La formación de engrosamientos dentados, por el contrario, se hace a costa de la pared secundaria y aparecen en las traqueidas radiales de algunas coníferas.

Finalmente vamos a referirnos a una estructura muy fina que se ha descubierto gracias al microscopio electrónico, pues aunque puede verse con el microscopio óptico, se encuentra en el límite de resolución y para poder observarlo el montaje de la preparación habría que hacerlo con agua, dado que su índice de refracción coincide con el del balsamo de Canadá. Nos referimos a la estructura pilosa, que es una serie continua de rugosidades que alfombra el interior de la pared celular. Se encuentra esta estructura tanto en frondosas como en coníferas y el tamaño y forma de los pelos que la forman varían mucho, pero dentro de cada especie son bastante constantes. Esta capa se forma cuando desaparece la actividad vital del protoplasma, aunque se desconoce su función.